



**III CONVENCIÓN INTERNACIONAL  
CIENCIA Y CONCIENCIA**  
"Universidad-Sociedad y Desarrollo Sostenible"

**UNIVERSIDAD  
DE ORIENTE**

# **TECNOLOGÍAS, PRODUCCIONES Y PROCESOS INDUSTRIALES PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE**

**SIMPOSIO 7**

**Dr. C. Angel Luis Brito Sauvanell**  
Compilador

# **Tecnología y procesos industriales para el desarrollo sostenible**

(Simposio 7)

**Dr. C. Angel Luis Brito Suavanell**

# **Tecnología y procesos industriales para el desarrollo sostenible**

(Simposio 7)

**Dr. C. Angel Luis Brito Suavanell**



Edición: Departamento de ediciones UO

Composición: Yanet García Preve y Yoel Cipriano Castelnaux

Diseño de cubierta: Lic. Wilkie Villalón Sánchez

© 978-959-207-715-7, 2023

© Sobre la presente edición:

Ediciones UO, 2023

ISBN: 978-959-207-715-7 (Volumen 7)

ISBN: 978-959-207-713-3 (Obra Completa)

Ediciones UO

Ave. Patricio Lumumba No. 507, e/ Ave. de Las Américas y Calle 1ra,

Reperto Jiménez. Consejo Popular José Martí Norte.

Santiago de Cuba, Cuba. CP: 90500

Telf.: +53 22644453

e-mail: [jdp.ediciones@uo.edu.cu](mailto:jdp.ediciones@uo.edu.cu)

[edicionesuo@gmail.com](mailto:edicionesuo@gmail.com)

Este texto se publica bajo licencia Creative Commons Atribucion-NoComercial-NoDerivadas (CC-BY-NC-ND 4.0).

Se permite la reproducción parcial o total de este libro, su tratamiento informático, su transmisión por cualquier forma o medio (electrónico, mecánico, por fotocopia u otros) siempre que se indique la fuente cuando sea usado en publicaciones o difusión por cualquier medio. Se prohíbe la reproducción de la cubierta de este libro con fines comerciales sin el consentimiento escrito de los dueños del derecho de autor. Puede ser exhibida por terceros si se declaran los créditos correspondientes. El sello editorial Ediciones UO no se responsabiliza por el contenido de los trabajos, los autores son responsables de la información presentada.

## Prólogo

El desarrollo sostenible es aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones, garantizando el equilibrio entre el crecimiento económico, el cuidado del medio ambiente y el bienestar social. Ese desarrollo sostenible está basado en la aplicación de las tecnologías sostenibles.

Las tecnologías sostenibles son aquellas que buscan hacer mejor uso de los recursos naturales, con la intención de generar un menor impacto durante la vida útil de los aparatos o dispositivos tecnológicos, ya que propone utilizar métodos innovadores para la creación de productos respetuosos con el medio ambiente, desde el momento de la extracción de la materia prima hasta la respectiva disposición final.

Estos conceptos justifican la inclusión del Simposio 7 “Tecnologías, Producciones y Procesos Industriales para el Desarrollo Sostenible” en la III Convención de Ciencia y Conciencia de la Universidad de Oriente.

Entre los beneficios de la **tecnología sostenible** se puede mencionar que disminuye los efectos del calentamiento global por reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, se preservan los recursos vitales como el agua y la electricidad, y se generan menores costos de mantenimiento, lo que reduce los costos operativos y generales a largo plazo.

En el simposio se presentaron 79 trabajos, todo fueron aprobados, de ellos se presentaron de forma presencial 14 y el resto en forma virtual. Se presentaron ocho de autores extranjeros del Ecuador y Estados Unidos.

Se destacan trabajos en las temáticas de Automática, mecatrónica, robótica, Energías renovables, eficiencia energética y calidad de la energía para el cambio de la matriz energética y el desarrollo sustentable, Diseño mecánico, materiales y procesos tecnológicos con enfoque de sostenibilidad, Gestión de los recursos hidráulicos y sistemas de distribución y operación de agua para las producciones y procesos industriales.

En el marco del simposio se presentaron cinco conferencias que actualizaron al auditorio sobre los retos, las perspectivas que enfrenta a nivel global y en particular Cuba en este tema de las tecnologías sostenibles, destacándose: **Retos y perspectivas del transporte de pasajeros en Cuba, Energía hidráulica. Potencia para el desarrollo local sostenible. Pobreza energética en América Latina: Situación actual, retos y perspectivas, Cambio matriz energética de Cuba, Modelo Cuba linda y 15 años de colaboración de SODEPAZ con Cuba.**

Esperamos que los debates y las presentaciones sean un marco propicio para lograr un desarrollo sostenible en Cuba.

# DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO DE LA PLANTA ARENERA JURAGUÁ DE SANTIAGO DE CUBA

## *Energy diagnosis of the Juraguá sand plant in Santiago de Cuba*

Darien Valdes Seisededodos<sup>1</sup>, Josué Imbert Gonzalez<sup>2</sup>, Beatriz Bu Alba<sup>3</sup>, Elena Gómez Domecq<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Empresa de Materiales de la Construcción, Santiago de Cuba, imbert@uo.edu.cu, 0000-0001-6887-1433

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial, Universidad de Oriente, Cuba, imbert@uo.edu.cu, 0000-0001-8384-3684

<sup>3</sup> Departamento de Planificación, Universidad de Oriente, Cuba, bu@uo.edu.cu, 0000-0002-8776-8463

### INTRODUCCIÓN

El problema energético tiene hoy una importancia crucial, no sólo desde el punto de vista de la satisfacción de la creciente demanda global, sino a lo referido al impacto ambiental y social del sistema energético contemporáneo basado fundamentalmente en el uso de los combustibles fósiles. Por miles de años los primeros hombres solo conocieron la energía calórica que producía el fuego al quemar leña o carbón. Mucho después, entre 1760 y 1830, ocurrió la primera revolución energética con la introducción de nuevas tecnologías, como la máquina de vapor, las textiles y el ferrocarril. Todo gracias al uso del carbón mineral. El segundo gran cambio industrial de las naciones más desarrolladas ocurrió entre 1860 y 1930, periodo en el cual se introdujeron los sistemas eléctricos, la aviación y la siderurgia. [1]

Según algunos estimados un incremento del 2 % de su consumo anual acortaría la existencia del combustible a solo una centuria. Otras predicciones aseveran que el suministro del crudo sólo alcanzará hasta las primeras décadas del siglo XXI y que son poco probables nuevos descubrimientos e invenciones que amplíen la disponibilidad de petróleo barato mucho más allá de ese periodo [2].

En Cuba la toma de conciencia por parte de la población acerca del uso racional y eficiente de las fuentes no renovables de energía no es posible lograrla si no se cuenta con una sólida educación energética ambiental. Con este propósito, se ha implementado el Programa de Ahorro de Energía en Cuba (PAEC), en cuyo desarrollo y aplicación consecuente están involucrados todos los sectores de la sociedad [3-4].

La batalla por el empleo racional de la energía no se debe dirigir con un enfoque puramente tecnológico, sino que se enmarca en el campo de las ideas y la formación de valores y convicciones, en el cual la labor educativa, mediante la propaganda y la promoción, se debe imponer, como el método más eficaz, para

formar en niños y jóvenes una conducta de ahorro y una adecuada conciencia energético ambiental, pero desde una óptica distinta, cimentada en la protección del medio ambiente y el amor a la naturaleza.

Teniendo en cuenta la tendencia al aumento del consumo de energía eléctrica en Planta de Procesamiento de Arena Juraguá, perteneciente a la UEB Cantera los Guaos, Empresa de Materiales de la Construcción “EMC” de Santiago de Cuba, se hace necesario la búsqueda de la eficiencia y la disminución de los indicadores de consumo [5]

El consumo eléctrico dentro de los portadores energéticos constituye una prioridad para alcanzar una elevación de los parámetros de eficiencia mediante la aplicación adecuada del sistema de gestión energética [6-8].

### MATERIALES Y MÉTODOS

El proceso de lavado comienza con la extracción de la arena en la cantera misma (Yacimiento Juraguá), ubicándose la misma en los alrededores del poblado El Oasis, a 5 km del sector donde se ha definido la ubicación de la planta de lavado de arena. La carga se realiza con el cargador frontal Loadres B-160 depositándose en las volquetas que efectúan el transporte del material. La figura 1 presenta el diagrama de flujo productivo Planta de Procesamiento de Arena Juraguá.

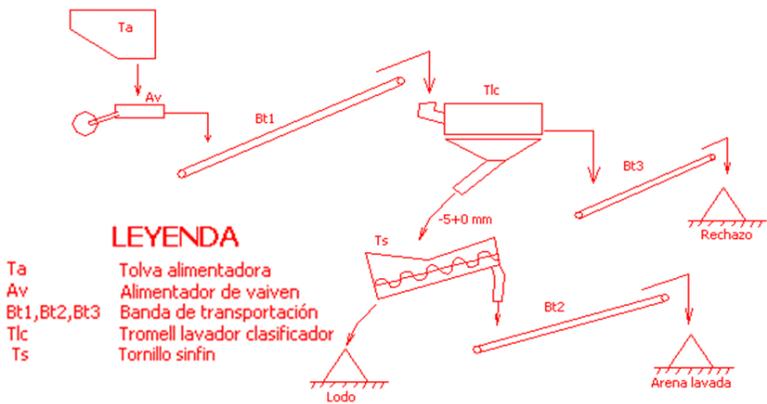


Figura 1. Diagrama de flujo productivo Planta de Procesamiento de Arena Juraguá

Los vehículos que transportan el material llegan a la planta y allí lo descargan dentro de una tolva alimentadora (Ta), dando inicio al proceso de lavado de arena en la planta. En este sitio se efectúa una

primera selección del material al pasarlo a través de unas rejas estáticas dejando pasar material de tamaño máximo de 4". El producto grueso (material de rechazo) es descargado hasta el patio de almacenamiento y venderlo posteriormente.

Este producto previamente seleccionado es conducido hacia la zaranda o alimentador de vaivén (Av) en donde se va a clasificar el material en tamaño menos a 3/8". Con esta granulometría se va a trabajar en el resto del proceso, siendo el material grueso transportado mediante una banda transportadora (Bt1) al patio de descarga para su posterior venta.

La arena con la granulometría adecuada tiene que ser separada nuevamente debido a motivos de productividad de la lavadora, esta tiene una productividad menor a la de la zaranda, y por ende tiene que entrar en el proceso de lavado solamente el volumen para la cual tiene la lavadora capacidad de trabajo. El resto de la arena se transporta hacia el patio de carga donde se va a proceder a su posterior venta como arena de menor calidad que la arena lavada.

El siguiente paso del proceso es el de lavado en sí, el material es conducido hacia el lavador clasificador (Tlc) a través de una banda transportadora (Bt3), a la salida de la lavadora existe otra banda transportadora (Bt2) que va a llevar el producto hasta el patio de carga para su posterior venta. La capacidad de producción de la lavadora es de 25 TM/hora.

El principio de funcionamiento de la lavadora consiste en llenar una piscina que existe dentro de la lavadora con agua, y simultáneamente bombear continuamente agua desde la parte inferior de la piscina mientras se efectúa la descarga de la arena sin lavar en la parte superior de la piscina, de tal manera que las partículas gruesas de la arena se vayan depositando sobre el fondo de la piscina mientras que las partículas más pequeñas van siendo arrastradas por el agua y desalojadas de la piscina por medio del rebose. Las partículas gruesas que se depositan en el fondo son arrastradas por un tornillo sin fin (Ts) y elevadas a un ángulo de 20° para que se produzca el desagüe de la arena.

Adicionalmente, existe una reutilización del agua que sale por rebose de la piscina, la misma que es conducida a una piscina de decantación, para que sedimenten las partículas que trae consigo y luego esta agua clarificada es conducida nuevamente a la piscina de bombeo para ser reutilizada en el proceso de lavado que se efectúa en la piscina de la lavadora de espiras.

### **Situación de la Planta en materia de gestión energética**

Dentro de la estructura de consumo de portadores energéticos la energía eléctrica representa el portador mayoritario con más del 80 % del total del consumo tomando como base los años 2019 hasta septiembre de 2022. Teniendo en cuenta este comportamiento se decide basar el análisis del sistema de gestión energética de la Planta de Procesamiento de Arena Juraguá en la energía eléctrica.

En la Planta de Procesamiento de Arena Juraguá el control de la energía eléctrica se realiza por un operario, o sea, no hay presencia de un especialista en ahorro y uso racional de la energía, el cual pertenece al área de mantenimiento y es el encargado de leer todos los días el metrocontador y mandar el informe de consumo al energético perteneciente a la UEB Cantera Los Guaos.

Aunque se conocen los puestos claves no se realizan acciones para mejorar el desempeño energético de los mismos, no se contrata al personal calificado directamente y al personal que ejerce esta función no se le motiva con respecto a ese tema. Como se explicó anteriormente no se utilizan correctamente índices de consumo, utilizando la intensidad energética de forma global.

- No existen estructuras formales para el trabajo con la eficiencia energética.
- Sistemas de información y planificación energética poco efectivos.
- El banco de problemas no responde a las principales deficiencias en materia de eficiencia energética.
- Carece de un sistema de gestión energética que permita establecer mejoras continuas y reducir los costos energéticos en la empresa.

Las herramientas estadísticas son una parte importante de cualquier sistema de gestión incluyendo la gestión energética [7-8]. Estas permiten valorar, comparar y conocer el comportamiento de la eficiencia energética comparando con otros períodos. Para aplicar estas herramientas estadísticas se tomaron como base el comportamiento de la producción y consumo de electricidad entre los años 2019 y septiembre de 2022.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Consumo de electricidad - producción en el tiempo. La figura 2 presenta el comportamiento del consumo de energía eléctrica contra producción entre los años 2019 y septiembre de 2022.

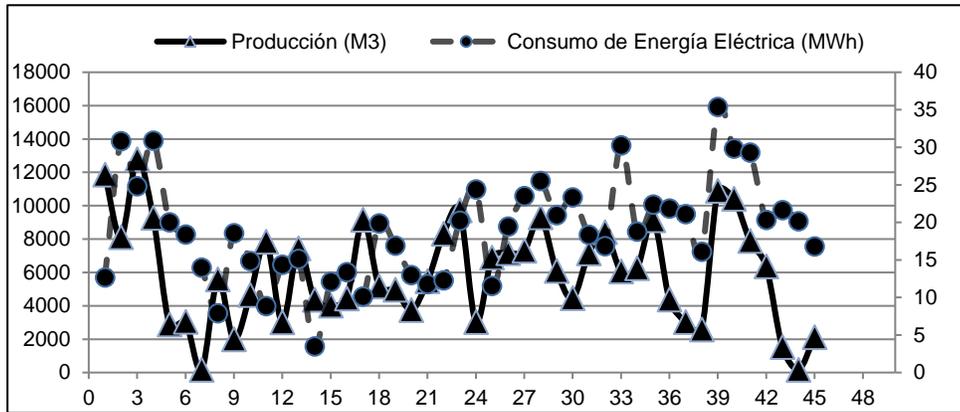


Figura 2: Gráfico de Consumo de Electricidad y Producción vs. Tiempo

Como se observa en la figura 2 no existe una relación adecuada entre la energía eléctrica consumida y la producción obtenida en la planta durante el mes de febrero, septiembre, octubre y noviembre de 2019. Lo mismo ocurre en los meses de mayo y diciembre de 2020, al igual que en junio y septiembre de 2021. Esto se debe a que varios meses se realizaron producciones que no se tuvieron en cuenta a la hora de hacer los informes mensuales, además de que hubo períodos de mantenimiento donde la planta estuvo consumiendo energía eléctrica trabajando en vacío o sea sin producir arena lavada. En los demás meses el consumo de energía eléctrica estuvo correlacionado con la producción obtenida, aunque no totalmente.

Consumo de Electricidad vs. Producción. La figura 3 muestra la correlación que existe entre el consumo de energía eléctrica y la producción obtenida por la Planta de Procesamiento Juraguá durante los años 2019 y septiembre de 2022.

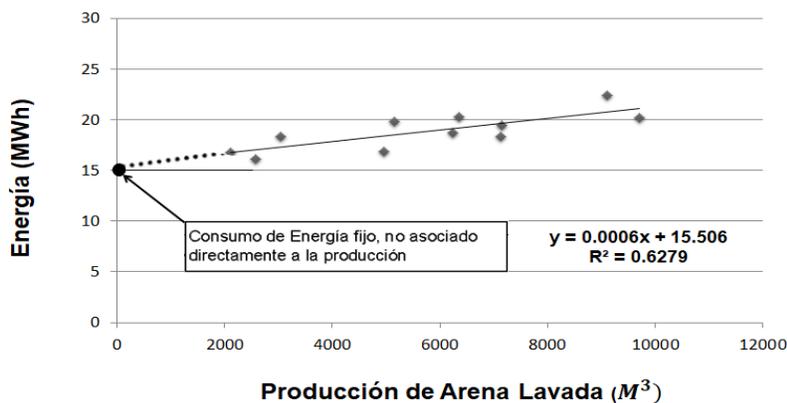


Figura 3: Correlación entre el consumo de Energía Eléctrica y la Producción.

Como se puede observar en la figura 3 existe un coeficiente de correlación entre el consumo de energía eléctrica y la producción igual a 0,62 lo cual demuestra que la correlación es fuerte y positiva aunque moderada. Este tipo de gráfico permitió determinar en qué medida la variación del consumo de energía eléctrica se debe a la variación de la producción y mostró que los componentes del consumo de energía eléctrica y producción están correlacionados entre sí, y por tanto, si el indicador seleccionado es válido. Se pudo determinar además el valor del consumo de energía eléctrica (15,5 MWh) no asociada a la producción

Índice de Consumo vs. Producción. Mediante el gráfico representado en la figura 4 se analizó la influencia del nivel de producción sobre el índice de consumo en la Planta de Procesamiento de Arena Juraguá durante los años 2019 y septiembre 2022.

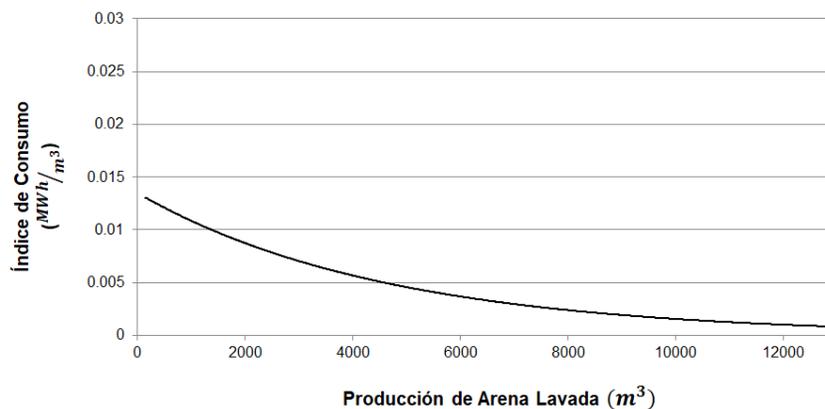


Figura 4. Gráfico de Índice de Consumo vs. Producción

La figura 4 muestra como aumenta el índice de consumo a medida que disminuye el nivel de producción realizada. En la medida que la producción se reduce debe disminuir el consumo total de energía eléctrica, pero el gasto energético por unidad de producto aumenta. Todo lo anterior expuesto se debe a que aumenta el peso relativo de la energía no asociada a la producción respecto a la energía productiva. Por el contrario si aumenta la producción el gasto por unidad de producto disminuye

En el gráfico hay un punto donde el índice de consumo comienza a elevarse significativamente para bajas producciones. En este caso se observa que a partir de 6000  $m^3$  el índice de consumo empieza a aumentar. Las producciones por encima de 6000  $m^3$  no cambian significativamente el índice de consumo.

Luego de realizados los gráficos de control realizados a través de los datos obtenidos entre los años 2019 y septiembre de 2022 y analizados, se pudo identificar las pautas anómalas que presentaba cada gráfico, además de determinar las causas de cada anomalía, verificando que factores de producción variaron en el período de la anomalía y cómo variaron. También permitió establecer acciones o estrategias para eliminar las anomalías que provocan el incremento de los consumos de energía eléctrica.

El diagnóstico constituye una etapa básica dentro de un sistema de Gestión energética. Es una herramienta para saber cuánto, cómo, dónde y por qué se consume la energía. Permite conocer el grado de eficiencia en su utilización, identificar los principales potenciales de ahorro y definir los posibles proyectos de mejora de energía. [8]

### Problemas detectados

Como parte del diagnóstico de recorrido realizado en la Planta de Procesamiento de Arena Juraguá se pudo constatar que existen varios problemas que evidentemente influyen en contra de lograr alcanzar una eficiencia energética en la planta que contribuya al ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica. Por medio de un recorrido por las áreas de la planta [9] y la revisión de la documentación de la instalación se pudo obtener información de los problemas más generales que presenta la misma y conformar un conjunto de propuesta de medidas para sr valoradas por la dirección de la empresa.

Tabla 1. Problemas detectadas y propuestas de medidas

PROBLEMAS	MEDIDAS
Existencia de malas condiciones de trabajo	Proporcionar a los trabajadores medios de protección para realizar su labor con eficiencia (botas para agua, guantes, cascos, orejeras)
Falta de personal calificado para operar la planta de Lavado de arena (ingeniero Mecánico ingeniero Automático, ingeniero eléctrico)	Dentro de la plantilla que trabaja en la planta debe existir personal calificado para la explotación y permitir el mantenimiento y la operación eficiente de los diferentes sistemas.
Falta de un plan de mantenimiento planificado de acuerdo con el proceso de producción	Diseñar y aplicar un plan de mantenimiento preventivo en todos los equipos que se encuentran en la planta
Acumulación de material de desecho en la instalación producto	Diseñar un sistema de desagüe apropiado que permita que los desechos no se acumule en imposibiliten el acceso a las maquinas por parte de los operadores

---

de un correcto sistema de desagüe

---

No existe un método de recopilación de datos donde se exprese toda la producción útil respecto al consumo de energía eléctrica

Desarrollar un sistema que permita llevar un control adecuado del consumo de energía eléctrica contra la producción para evaluar la eficiencia energética de la planta

---

Cables conductores de electricidad colgantes

Colocar los cables conductores de electricidad en canaletas que permitan la protección de los mismos ante la humedad y así evitar los accidentes de trabajo

---

Equipos en mal estado técnico

Sustituir los equipos y maquinarias defectuosas por tecnologías más eficientes

---

Existencia de malas condiciones de trabajo

Proporcionar a los trabajadores medios de protección para realizar su labor con eficiencia (botas para agua, guantes, cascos, orejeras)

---

## CONCLUSIONES

A partir de los elementos desarrollados en este trabajo es posible arribar a las siguientes conclusiones:

1. El diagnóstico en la explotación de la planta objeto de estudio entre los años 2019 y septiembre de 2022, a partir de las herramientas empleadas arrojó anomalías, que se ponen de manifiesto con más claridad en el año 2019. Esto es debido en lo fundamental a que se realizaron producciones que no se tuvieron en cuenta a la hora de hacer los informes mensuales, con incidencia en períodos de mantenimiento donde la planta estuvo consumiendo energía eléctrica trabajando en vacío o sea sin producir arena lavada.
2. De acuerdo con el comportamiento del Índice de consumo de energía eléctrica de la Planta de Procesamiento de Arena Juraguá se obtuvo una ecuación que permite predecir con determinado grado de asertividad el consumo esperado para una determinada producción de arena lavada y la energía no asociada a la producción en la planta.

3. El análisis de los diferentes sistemas en la planta de producción, arrojó un grupo importante de problemas que requieren tratamiento a través de medidas técnicas organizativas que son indispensables para elevar la producción y la eficiencia de la planta.

#### REFERENCIAS

1. Pérez García O., S E González. (2012) La gestión energética en el contexto empresarial cubano. Revista Caribeña de ciencias sociales.
2. España. Ministerio de Economía. (2003). Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética de España 2004-2012. Secretaría de Estado de Energía, Desarrollo Industrial y de la Pequeña y Mediana Empresa, España.
3. Terrero Mendoza R, R. Rivero Rodriguez, N. López León. (2007). ¡Cuidado!: ladrones de energía ocultos. Conferencia en el CIER 2007. Instituto Superior Pedagógico "Blas Roca Calderío", Habana, Cuba.
4. Borroto Nordelo, (2006). Libro de Gestión Energética en el sector Productivo y los Servicios. Cienfuegos: Centro de estudios de energía y medio ambiente (CEEMA).
5. Cuba. Oficina Nacional de Normalización. (2011). Sistema de Gestión de la energía con orientación para su uso (ISO 500001).1 edición, la Habana. Cuba.
6. Borroto Nordelo. (2002). Gestión energética empresarial; CEEMA, PAEC. Universidad de Cienfuegos.
7. Beeman, D. (1966) *Power Systems Handbook*. Editora Revolucionaria, La Habana.
8. Padrón, A.; Borroto, A. (2014) Ahorro de energía en sistemas de suministro eléctrico. Material de Curso de Postgrado. Colegio Regional de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, Guayaquil, Ecuador.
9. López Forero, David, (2001) Inspección de recorrido a las plantas de la Empresa. Tesis de Maestría en eficiencia energética, Universidad de Cienfuegos.

# GESTIÓN DE LA INNOVACIÓN EN EMPRESAS DE INTERFACES CUBANAS: RETOS EN LA CUBA DE HOY

## *Innovation management in cuban interface companies: challenges in cuba today*

Annia Beatriz Liranza Aldana<sup>1</sup>, Pedro Lázaro Romero Suárez<sup>2</sup>, Liber Galbán Rodríguez<sup>3</sup>, Anna María García Dzenzelevskaya<sup>4</sup>.

<sup>1</sup>Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba, annia.liranza@uo.edu.cu, <https://orcid.org/0000-0001-8318-426X>

<sup>2</sup>Instituto de Tecnologías y Ciencias Aplicadas de la Universidad de La Habana, lromerocu@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7895-4715>

<sup>3</sup>Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba, liberg@uo.edu.cu, <https://orcid.org/0000-0002-2377-9008>

<sup>4</sup>Banco de crédito y comercio, Santiago de Cuba, annamariagarciadzenzelevskaya@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3254-6564>

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la palabra “Innovación” se relaciona directamente con el uso de lo último en tecnología, pero se trata de un concepto que va mucho más allá. Innovación es ser capaz de ver las cosas con una mente abierta, es ver el lado distinto de las cosas. Innovación es reevaluar un producto o servicio que lleva años en producción como si fuera la primera vez. Innovación es ser disruptivo, creativo, proactivo, inconformista y arriesgado. Es un proceso que introduce novedades y que se refiere a modificar elementos ya existentes con el fin de mejorarlos, aunque también es posible en la implementación de elementos totalmente nuevos. sirve para innovar algo en el sentido estricto, por otro lado, se dice que de las ideas solo pueden resultar innovadoras luego de que ellas se implementen como nuevos productos, servicios, o procedimientos que realmente encuentren una aplicación exitosa, imponiéndose en el mercado a través de la difusión (Tobias, 2009).

Según Mínguez (2016), existe una forma de innovación consistente en la mejora de la gestión empresarial con nuevos procedimientos, utilización de una tecnología, automatización, mejorando la calidad, definiendo nuevas formas de satisfacer al cliente, son solo algunas ideas de lo que puede ser y conseguir la innovación y ayuda a las empresas a crecer y ser más competitivas. La innovación por tanto, es un factor clave para el desarrollo corporativo y el crecimiento mercantil de los países, aquellos que invierten más en investigación e innovación alcanzan mayor riqueza (VonHippel, 1988). Otra fuente expresa que la innovación es un proceso que consiste en convertir en una solución a un problema o una necesidad, una idea creativa, puede realizarse a través de mejoras y no solo de la creación de algo completamente nuevo. La innovación resulta especialmente importante para el desarrollo de nuevos servicios, como en banca o telecomunicaciones (Villaseca, 2014).

Según Jürgen Hauschildt, citado por Von Hippel (1988), la innovación se trata esencialmente de algo «nuevo»: nuevos productos, nuevos mercados, nuevos modelos, nuevos procedimientos, nuevos procesos, nuevas vías de distribución, nuevas frases publicitarias, etc. El resultado de las innovaciones es algo «novedoso», que se diferencia notablemente del estado anterior dado. Esta novedad debe ser perceptible; una innovación solo puede ser tal para quien la percibe. La novedad consiste en que los propósitos y los medios se enlazan entre sí de una forma que hasta ese momento no se conocía. Ese enlace tiene que validarse económicamente en el mercado o dentro de la empresa.

En el Manual de Oslo (OCDE, 2005) se define la innovación como la introducción de un nuevo, o significativamente mejorado, producto (bien o servicio), de un proceso, de un nuevo método organizativo o de comercialización, en las prácticas internas de la empresa, la organización del lugar del trabajo o las relaciones exteriores. Asimismo, diferencia entre innovaciones de producto, proceso, mercadotecnia y organizacional:

- La innovación de producto consiste en la creación de nuevos productos o servicios, o en la mejora de las características, prestaciones y calidad de los existentes.
- La innovación de proceso supone la introducción de nuevos procesos de producción o la modificación de los existentes, y su objetivo principal es la reducción de costes.
- La innovación de mercadotecnia es la aplicación de un nuevo método de comercialización que implique cambios significativos del diseño o el envasado de un producto, su posicionamiento, su promoción o su tarificación.
- La innovación de organización es la introducción de un nuevo método organizativo en las prácticas, la organización del lugar del trabajo o las relaciones exteriores de la empresa.

Como puede observarse en la literatura internacional existe un gran número de definiciones de innovación, cada autor va asumiendo tendencias generales de la sociedad o empresariales.

Particularmente en el ámbito empresarial, objeto de análisis en esta ocasión, el hecho de innovar e introducir resultados de innovación resulta en opinión de los autores, clave para su éxito en la sociedad contemporánea, se debe orientar la mirada hacia las ventajas comparativas que ofrece en relación a la competencia que se genera en el mercado. Es así como se distingue también innovación de producto, procedimiento, modelo de negocio, de la administración (o gerencia) de la innovación, donde este último concepto aparece como el más promisorio, dado que los administradores (gerentes) son la última instancia de decisión y determinan la forma de distribución de los recursos. Las innovaciones de producto y de procedimiento son en este sentido resultados de las innovaciones de administración (Villaseca, 2014). Es en

este sentido que se manifiesta la necesidad de buscar formas novedosas para gestionar de manera adecuada la innovación en las empresas.

La gestión de la innovación en las empresas tiene un altísimo valor, bien manejada puede llevar a cualquier organización a una posición de liderazgo en su sector. No se trata solamente de crear nuevos productos que cambien el mercado, sino que también se trata de una actitud o filosofía de trabajo que busca siempre ser un referente en la industria.

De manera general, las empresas dedicadas al comercio de bienes y servicios poseen procesos empresariales que permiten introducir los resultados de la innovación que se originan tanto dentro como en otros sectores, lo que facilita en muchos casos para los expertos, la generación de herramientas capaces de integrar los procesos de gestión de la innovación; lo cual es un proceso distinto cuando se trata de servicios que promueven la gestión de nuevas tecnologías, soluciones científico técnicas y transferencia tecnológica que realizan las universidades. En este caso, el proceso tiene que establecer conexiones entre el personal docente e investigativo (diseminado en sus facultades, institutos y centros o formas de gestión de la ciencia) con la estructura administrativa universitaria, y esta con los clientes del sistema de organizaciones externas a la universidad; relación que por lo general lleva implícito actividad de contratación tanto hacia el interior como hacia el exterior y gestión de innovación a través de proyectos, en los que pueden participar de forma multidisciplinaria tanto clientes como investigadores, o investigadores únicamente según se requiera, además pactar las maneras en que se realiza la transferencia de tecnologías; por otro lado se enfrenta a contradicciones internas relacionadas con la administración propia de los procesos docentes y de gestión de infraestructura que se contraponen con los posibles servicios que se prestan para gestionar la innovación hacia el sector empresarial (Figura 1).



**Figura 1.** Sistema de gestión de la innovación y transferencia de tecnologías desde las universidades hacia la sociedad.

Particularmente el contexto cubano de los últimos años, se ha visto marcado por los problemas generados por el ya tradicional bloqueo de los Estados Unidos contra Cuba, además de los que se han suscitado por la crisis internacional pos Covid19, aspectos que refuerzan las decisiones del gobierno cubano destinadas a tomar nuevas alternativas para impulsar el desarrollo del país, establecidas desde el año 2006 con lo que se hizo llamar “Los lineamientos de la política económica y social de la nación”, así como otras herramientas posteriores implementadas por el gobierno encaminadas a impulsar el desarrollo del país, entre ellas las Estrategias de desarrollo local, el Plan Nacional de Desarrollo hasta el 2030 (PNDES) y la creación de los Parques científico tecnológicos. Estas nuevas medidas adoptadas también están en consonancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2030, en los cuales el desarrollo de procesos relacionados con la gestión de la innovación y la transferencia de tecnologías tienen una especial relevancia.

En este contexto surgen las nuevas empresas de ciencia e innovación y transferencia tecnológica, puestas en vigor por el Decreto No. 363/2019, también conocidas como empresas interface en las universidades, instituciones encargadas de gestionar ese intercambio con el sector empresarial e institucional del país, lo que resulta un paso fundamental en pos de explotar de manera eficaz las potencialidades y los recursos existentes en la academia cubana. Empresas responden fundamentalmente a la necesidad de reforzar los vínculos universidad-empresa, aprovechar los recursos científico- tecnológicos de las universidades en función del desarrollo de la nación e impulsar soluciones de ciencia innovadoras con capacidades propias.

Dentro de este tipo de empresas, se ha analizado la necesidad de implementar sistemas integrados que conciben los componentes claves de la gestión de la innovación, entre los que se encuentran: procesos, fin común, personas, recursos y agentes internos y externos.

En la actualidad cubana es muy común hablar de gestión e innovación en las instituciones educativas y especialmente en las universidades que, dedicadas a la educación superior, están comprometidas a no quedarse en la mera transmisión del conocimiento y a estar constantemente siendo punta de lanza en diversas acciones que le corresponden. Para facilitar dichos procesos se gestan hasta la fecha proyectos en distintas modalidades, predominando los que generalmente tienen fuentes de financiamiento gubernamental o de organizaciones sin fines de lucro, quedando en tela de juicio, el financiamiento que puede proveer el sector empresarial e institucional interno para resolver sus necesidades de desarrollo empresarial con la introducción de los avances científico técnicos que se gestiona a partir de las potencialidades internas. Es en este ámbito donde surgen interrogantes que hacen reflexionar sobre los problemas sociales que debe enfrentar la gestión de la innovación en este sector empresarial emergente en las universidades cubanas (económicos, políticos, culturales, educativos, medioambientales, etc.):

- ¿Qué hacer para que los resultados científicos innovadores logrados en las universidades cubanas sean implementados con éxito en el sector empresarial e institucional del país?
- ¿Cómo aprovechar las nuevas tecnologías en función de maximizar la gestión de la innovación de las nuevas empresas de interface con sus clientes?

Resolver estas interrogantes es clave para un país que, apuesta desde la política de gobierno por la ciencia y la innovación como uno de los motores de su desarrollo. Estas circunstancias hacen, que las empresas de interface deban asumir respuestas, desde el punto de vista de la gestión de la innovación, a los distintos problemas sociales que deberán resolver en el transcurso de los próximos años. Es así que surge como problema científico la Necesidad de implementar un sistema de gestión de innovación en las empresas de ciencia, innovación y transferencia de tecnologías que contribuya a resolver, las contradicciones que generan las formas tradicionales de gestión comercial universitaria y las exigencias del nuevo contexto político y económico social del país: así como los problemas sociales que enfrenta e incidir con fuerza en las soluciones de ciencia que requiere la nación.

Las interrogantes actuales del sistema universitario cubano en el que se desarrollan las nuevas empresas de interface, están en correspondencia con la necesidad de dar respuestas a los problemas sociales que enfrentan desde las diversas aristas: educativa, cultural, económica, medioambiental, entre otros. Ello requiere de un análisis que parte de las habilidades y conocimientos de los directivos de estas empresas en emplear de manera efectiva y combinada tanto las herramientas tradicionales como las vinculadas a las

tecnologías de la información y las comunicaciones que impactan en el proceso de gestión de la innovación y la transferencia de tecnologías.

Atendiendo a esta prerrogativa, en el presente trabajo se sigue como objetivo un análisis contextualizado de los problemas sociales que enfrenta la gestión de la innovación en las empresas de ciencia, innovación y transferencia de tecnologías cubanas desde sus distintas aristas. A continuación, se ofrecen algunos criterios al respecto.

## DESARROLLO

Con la reciente creación de las empresas de interface en el país (empresas de ciencia, innovación y transferencia de tecnologías), es relativamente sencillo deducir que sus directivos no poseen las habilidades y conocimientos empresariales que tradicionalmente tienen otros sectores de la sociedad. Estas reflexiones traen a colación el primer gran problema social: poco dominio o conocimiento de la cultura organizacional empresarial para la gestión de la innovación y transferencia de tecnologías, o sea ver este proceso como un negocio.

Esta misma falta de visión está presente en el personal universitario que con preparación científica, hasta la fecha ha realizado acciones de esta índole recibiendo un limitado beneficio económico por sus contribuciones, esto indica falta de motivación para intervenir en estos procesos, uno de los retos que asumen las empresas de interface universitarias en Cuba.

A partir de los criterios vertidos con anterioridad inducen el análisis de problemas económicos que se deben enfrentar por las empresas de interface. En septiembre último durante la reunión del Consejo Nacional de Innovación, el Primer Secretario del Comité Central del Partido y Presidente de la República, Miguel Díaz-Canel Bermúdez, destacó que el Sistema de Gestión de Gobierno basado en Ciencia e Innovación persigue fortalecer el papel de ambos campos en la búsqueda de soluciones creativas a problemas que surgen en el proceso de desarrollo económico y social de Cuba, tanto en la producción de bienes y servicios, como en los ámbitos de la administración pública, las actividades de ciencia, tecnología e innovación, la educación, la cultura u otros.(Perera, 2022)

Subrayó entonces que el referido sistema de trabajo permite situar prioridades y distribuir recursos; promover la presencia del conocimiento experto en la toma de decisiones; respaldar la formulación, seguimiento y evaluación de políticas públicas; promover interacciones y eliminar barreras; extender los escenarios de la innovación a todos los espacios y sectores de la sociedad; generar motivaciones e incentivos en los actores; fortalecer la institucionalidad; así como incentivar los valores y enfoques propios de la innovación entre la población y los cuadros. (Perera, 2022)

Tales prioridades reafirman el concepto de la innovación como aquel proceso que parte de una investigación, de la aplicación de la ciencia y concluye con un resultado económico y social concreto, es decir, medible, objetivo. A su vez debe responder a una necesidad o demanda de la economía y la sociedad.

En el caso de las empresas de interface, este problema pasa por la gestión de contratación de proyectos empresariales y su conexión con especialistas universitarios; así como por la gestión de financiamientos propios para ofrecer soluciones que pueden tener carácter comercializable hacia el sector empresarial. Es una realidad que debido a la crisis económica mundial generada por el impacto de la Covid-19, los fondos públicos de donde proviene el financiamiento de las universidades cubanas que crean estas empresas están limitados.

Desde el punto de vista educativo, se requiere de una cultura organizacional que tenga en cuenta el uso de las herramientas que también ofrecen las nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones.

El uso de distintas herramientas para la gestión de la innovación en las actividades empresariales ha llamado la atención de pequeñas, medianas y grandes organizaciones de todos los sectores económicos en todo el mundo, convirtiéndose así en una tendencia cada vez con mayor aceptación. Estas herramientas han evolucionado en los últimos 50 años gracias a los aportes desde áreas del conocimiento como la Ingeniería de Sistemas, Administración de Empresas y Mercadeo, entre otras (Rosado, 2010). Entre las más conocidas de la actualidad están:

- Técnica de la Cascada (Waterfall).
- Lean Startup.
- Blue OceanStrategy.
- Open Innovation.
- Canvas Business Model.
- DesignThinking.
- Agile.

La dificultad esencial que tienen estos sistemas, es que no conciben en su interior las particularidades del sistema empresarial cubano, regido por leyes y procedimientos propios del sistema social socialista; por lo que se requiere de una manera de gestionar la innovación que incluya esta particularidad.

En primer lugar, deberíamos analizar a qué nos enfrentamos en el camino de la innovación y **si incurrimos en algún riesgo**, con la finalidad de, si no conseguimos eliminarlo, al menos ser capaz de administrarlo y minimizar sus impactos. La primera dificultad a la que se enfrentan las organizaciones decididas a ser innovadoras es que **no es fácil encontrar cuál es el mejor momento** para impulsar la innovación. Sistematizar la innovación en una empresa y crear una cultura de innovación, supone cambiar las formas de hacer las cosas, de actuar; por lo que el día a día de la organización se ve afectado, corriéndose el riesgo de que, el personal, vea en ello una complicación estéril más que una estrategia competitiva. Dado que dicha implantación cuesta tiempo, la resistencia es grande y el retorno no se ve inmediatamente, muchas veces la dirección de la empresa pospone una y otra vez la innovación en sus planes estratégicos (Vicente, 2016).

Otro de los riesgos a los que se enfrentan las empresas que deciden innovar es saber encontrar el **equilibrio adecuado** entre propiciar un clima favorable a la innovación y el cambio, es decir, un escenario con **libertad y agilidad** en la toma de decisiones y el necesario control y supervisión de sus procesos en cada caso. No saber encontrar dicho equilibrio propicia igualmente el permanente aplazamiento de las acciones necesarias para sistematizar la innovación. El **clima de libertad que exige la innovación** es percibido por la dirección como un paso atrás en el control adquirido por las centrales de las empresas. El miedo a perder ese control debe ser superado a través de la implantación de un sentimiento de alto compromiso de los líderes y de todos los empleados con los objetivos de la organización (Vicente, 2016).

La mayor dificultad a la que las empresas se enfrentan en su decisión de innovar es la **resistencia al cambio y la aversión al riesgo**. Las permanentes objeciones (disfrazadas de criterios técnicos) a todo lo nuevo, enmascaran algo mucho más inconfesable por parte de la dirección: **el miedo a lo desconocido**, el temor a dejar sus respectivas zonas de confort, a realizar lo controlado para adentrarse en lo desconocido e incierto (Vicente, 2016).

Es común la creencia de que **la eficacia de la persona consiste en resolver en el día a día los problemas cotidianos**. Las personas (directivos y colaboradores) se sienten bien y reconocidos su nuestro entorno, cuando su trabajo diario consiste en saber solucionar asuntos directamente relacionados con su conocimiento y experiencias del pasado en torno a cuestiones cotidianas de la organización. Entendemos que esa actitud garantiza en cierta medida nuestro éxito personal ya que la probabilidad de equivocarnos es menor y además, visibilizamos de forma inmediata nuestra “utilidad”. Cuando este sentimiento afecta a la alta dirección de la empresa, la sistematización de la innovación no tendrá cabida, ya que ésta requiere poner en segundo plano el corto plazo para colocar en la actividad diaria la creatividad y el pensamiento a largo. Requiere, en conclusión, una **actitud dispuesta a asumir riesgos (principalmente el del fracaso y el de la crítica)** (Vicente, 2016).

Como consecuencia de lo anterior, las empresas interface, deberán resolver el **conflicto** existente **entre** los **pensamientos creativos y los que se centran en la solución del día a día** de la organización. Ambas situaciones **deben convivir**. Por ello, si no consiguiera la máxima agilidad y, en lo posible, la automatización de sus tareas diarias y procesos, no está en el mejor momento de abordar la tarea de sistematizar su gestión en la innovación.

Desde el punto de vista ambiental, estas empresas de interface tienen grandes retos que resolver, pues los problemas generados en Cuba por el consumo de productos industriales con envolturas de plástico, el déficit de sistemas de alcantarillado y drenaje urbano en distintos sectores de los poblados y ciudades cubanas, así como la gestión de la basura tecnológica en rápido proceso de obsolescencia, son aspectos que los investigadores deberán buscar solución en medio de un escenario económico complejo en plena crisis económica mundial; por ejemplo, se observan cambios de todo tipo que nos está trayendo el uso sistemático de los artefactos basados en la electrónica y que no hace más de cincuenta años que han entrado en nuestras vidas, aparatos y equipos que generan una basura tecnológica que está preocupando a los distintos gobiernos a nivel internacional, Cuba no está exenta de este problema. También es cierto que la población cubana se ha incrementado, sobre todo en nuestras ciudades, han aumentado de manera acelerada últimamente (DESA, 2017). En consecuencia, ha ido creciendo la necesidad de recursos de todo tipo cuyo consumo genera una contaminación que trae efectos en la atmosfera, los mares, los ríos y lagos, y los suelos de nuestro planeta. Hoy los problemas del cambio climático también deberán ser atendidos por la gestión de innovación y transferencia de tecnologías que desarrollan estas empresas de interface.

A pesar de que la mayor de las Antillas se enfrenta a un entorno muy agresivo en el cual, el alcance a los adelantos científicos se le dificulta muchísimo, cuenta con un personal y una capacidad innovadora muy alta, ello se evidenció en el enfrentamiento a la Covid-19 cuando fue capaz de producir sus propias vacunas, pero desde hace años a nivel internacional sobresale en los servicios educativos, hospitalarios, meteorológicos y en su sistema de Defensa Civil, sin olvidar que detrás de cada resultado hay mucha ciencia. Las universidades en este sentido y sus empresas de interface tendrán que tomar esta experiencia para visualizar la ejecución de proyectos que estén encaminados a resolver estas situaciones ambientales, ya sea con recursos propios y luego ofrecerlos como productos al sistema empresarial externo, o buscando soluciones a problemas ambientales empresariales solicitados para su gestión de innovación.

La verificación histórica resalta que en Cuba muchas veces las investigaciones se inician en las universidades o centros científicos y cuando se tiene la solución, al transferirlos a la industria o a la empresa, algunas quedan engavetadas. Esto trae problemas de tipo cultural, sobre todo en los empresarios, que en la mayoría de las ocasiones `prefieren importar soluciones y equipamiento, antes que invertir dentro del país aprovechando el desarrollo intelectual y productivo alcanzado. La innovación debe tener una expresión

económica o un impacto social y, desde el diseño de todo proyecto que se desarrolle en las empresas interface, ser atendido este aspecto, además de lograr la efectiva aplicación de las soluciones innovadoras logradas; para ello deberá establecer fuertes mecanismos de contratación financiera y seguimiento de la implementación de los resultados obtenidos, además de impulsar con recursos propios la comercialización de sus productos autóctonos de ciencia, incrementando con ello sus ingresos.

Al menos en Cuba, el encadenamiento productivo deviene una necesidad pues ninguna empresa por sí sola es capaz de innovar, dado que para concretar su ciclo completo requiere de los servicios o bienes en manos de otras entidades. Sin embargo, pese a las intenciones encaminadas a superar los obstáculos que aún subsisten, una de las problemáticas que se describe entorno a la gestión de la innovación está dada en la insuficiente conexión entre las universidades, los centros de investigación y las empresas, aun cuando salen a la luz nuevas figuras económicas como los Parques Científicos-Tecnológicos y las llamadas empresas interfaces, cuya misión no es solamente generar nuevos productos y servicios, su despliegue abarca otros horizontes dentro del complejo, pero fascinante mundo empresarial, se trata de conectar sectores productivos y servicios con la academia; propósito que necesita conciliar con sus actores y representarse esa gestión innovadora a partir de los nuevos escenarios por los caminos del desarrollo económico que cada día se perfecciona y mejora continuamente, con mirada encausada en esa conectividad.

Se considera entonces que la innovación para la empresa interface tiene que ser el futuro, pero este hay que construirlo desde ahora, a partir de una estrategia de ciencia, tecnología e innovación, e integre tanto los nuevos actores económicos como los tradicionales, formando parte de su proceso de desarrollo integral, lo cual sin dudas es una de las debilidades actuales.

Es necesario aclarar que debido a ll poco tempo de funcionamiento de estas empresas en las universidades cubanas, todavía los resultados son discretos, pero se va observando una tendencia al cambio, pues hoy hay una demanda del sector empresarial, del sector productivo de bienes y servicios, y de la propia administración pública, a los centros de investigación y a las universidades, de proyectos de investigación para solucionar estos problemas derivados de las indicaciones gubernamentales de buscar en este tipo de gestión de la ciencia y la tecnología las soluciones a sus problemas internos. Por tanto, es imprescindible intensificar los vínculos o relaciones y cambiar el enfoque de gestión de las empresas de interface hacia sus clientes externos. La actual manera de planificar, organizar, implementar y controlar el proceso de la innovación está por debajo de las expectativas de la actualización del Modelo Económico y Social, cubano y las potencialidades delos territorios.

La innovación, **no puede separarse de otras facetas de las empresas de ciencia, innovación y transferencia de tecnologías gestadas en las universidades cubanas,** sino integrarse. Además, esta debe

alimentarse a través de procesos de información que transiten la creatividad interna, generen nuevas competencias a través del aprendizaje práctico y recopilen experiencias externas e internas sobre nuevas formas de entender procesos vitales dentro de la organización. El error más común es pensar que la innovación está asociada únicamente a empresas de alta tecnología como las TIC o automoción, pero la innovación puede ser incorporada en las organizaciones en cualquier aspecto de su cadena de valor, sea cual sea el negocio al que aquéllas se dediquen. Además, las empresas pueden innovar en otras cuestiones distintas a sus procesos operativos: como en su sistema de comunicación interna o con el cliente; en cómo generan su imagen de marca, etc. **Todo es susceptible de ser objeto de innovación**, y el primer reto que tienen las empresas interface, es decidir qué entienden por innovación y en qué aspectos consideran que tienen más necesidad de enfocar la misma

#### CONCLUSIONES

La gestión de la innovación y la transferencia de tecnología en las empresas de interface universitarias constituyen un gran problema social de incuestionable actualidad en Cuba.

La forma general la gestión de la innovación y la transferencia de tecnología en las empresas de interface universitarias cubanas no satisface las necesidades reales del país, evidenciándose falta de experiencia y conocimiento por sus directivos en temas de comercialización de resultados de ciencia y poca gestión de proyectos empresariales, sobre todo los que aportan soluciones solicitadas por terceros.

Se manifiesta la necesidad de crear una cultura en el uso de las distintas herramientas tecnológicas en función de lograr una gestión de la innovación y la transferencia de tecnología en las empresas de interface universitarias, partiendo de la preparación cognitiva de los administradores y de los especialistas internos.

Se manifiestan distintos problemas sociales desde el punto de vista económico, medioambiental y cultural que estas empresas deben enfrentar, relacionados con la baja o nula gestión de recursos propios para desarrollar proyectos, la necesidad de atender los problemas derivados del cambio climático y la creación de una cultura organizacional en función de la comercialización de estas soluciones innovadoras de ciencia acumuladas.

#### REFERENCIAS

1. Colectivo de autores. (1999). Tecnología y sociedad. Grupo de Estudios Sociales de la Tecnología (GEST). Editorial Félix Varela.

2. Cuba. Asamblea Nacional del Poder Popular. (2019). Decreto No. 363/2019, de los Parques científico-tecnológicos y la creación de las empresas de ciencia, innovación y transferencia de tecnologías. Gaceta Oficial de la República No. 88.
3. DESA. (2017). World Population prospects: The 2017 revision. Key findings and advance tables. United Nations. Department of Economic and Social Affairs. <https://www.un.org/development/desa/publications/world-population-prospects-the-2017-revision.html>
4. Mínguez Fuentes, R. (2016). Innovación y competitividad empresarial. <http://abcblogs.abc.es/riqueza-regiones/2016/05/23/innovacion-y-competitividad-empresarial/>
5. Müller-Prothmann, T. & Dörr, N. (2009). Innovations management. Strategien, Methoden und Werkzeuge für systematische Innovationsprozesse.
6. Perera Robbio, A. (2022). El camino es la innovación. <https://www.presidencia.gob.cu/es/noticias/el-camino-es-la-innovacion>
7. Vicente, N. (2016). ¿Qué es la innovación?: riesgos y dificultades. <https://www.integratecnologia.es/la-innovacion-necesaria/que-es-la-innovacion-riesgos-y-dificultades>
8. Villaseca Morales, D. (2014). Innovación y marketing de servicios en la era digital. ESIC. [https://esic.edu/editorial/editorial\\_producto.php?t=Innovaci%F3n+y+marketing+de+servicios+en+la+era+digital&isbn=9788415986508](https://esic.edu/editorial/editorial_producto.php?t=Innovaci%F3n+y+marketing+de+servicios+en+la+era+digital&isbn=9788415986508)
9. Von Hippel, E. (1988). The Sources of Innovation. Oxford University Press.

# DETERMINACIÓN DE LA FACTIBILIDAD DEL EMPLEO DE UN REACTOR DE MEZCLA PERFECTA A ESCALA DE LABORATORIO PARA LA NEUTRALIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES TEXTILES CON CO<sub>2</sub>

*Determination of the feasibility of using a perfect mix reactor on a laboratory scale for the neutralization of textile wastewater with CO<sub>2</sub>*

Mercedes Arbona Cabrera<sup>1</sup>, Isabel Cabrera Estrada<sup>2</sup>, José Antonio Fabelo Falcón<sup>3</sup>, María Eugenia O' Farrill Pie<sup>4</sup>, María de los Ángeles García Hernández<sup>5</sup>

<sup>1</sup>UCLV, Cuba, marbona@uclv.cu, <https://orcid.org/0000-0003-1096-7648>

<sup>2</sup>UCLV, Cuba, icabrera@uclv.edu.cu, <https://orcid.org/0000-0002-5307-1502>

<sup>3</sup>UCLV, Cuba, fabelo@uclv.edu.cu, <https://orcid.org/0000-0002-2144-6701>

<sup>4</sup>UCLV, Cuba, ofarrill@uclv.edu.cu, <https://orcid.org/0000-0001-6451-3065>

<sup>5</sup>Textilera “Desembarco del Granma”, Cuba, mangeles@texvi.cu, <https://orcid.org/0000-0002-4361-8850>

## INTRODUCCIÓN

La industria textil se encuentra dentro del grupo industrial que mayor contaminación provoca al medio ambiente debido al gran consumo de agua y de productos químicos, los cuales son usados en dependencia del tipo de fibras a teñir, de aquí que sus residuales sean altamente contaminantes. Se conoce que el agua aprovechable para el uso humano y el mantenimiento de los ecosistemas es una cifra realmente baja, y solo alcanza el 0,7 % del volumen total (200 mil km<sup>3</sup> entre superficial y subterránea) según Duque (2018). De aquí se deriva la importancia en el cuidado y control que debe tenerse de la contaminación que puede producirse en los cuerpos receptores.

Entre los tratamientos usados para la depuración de residuales líquidos se encuentran los que involucran microorganismos, como en el caso de la industria textil, por ser muy económicos, eficientes y porque no producen subproductos contaminantes, además de utilizarse en lugares donde se generan (Edwards, 2012).

En la Unidad Básica (UB) textilera “Desembarco del Granma” se genera, como promedio, un caudal de 3600 m<sup>3</sup>/día de agua residual, la cual se trata mediante un sistema de lodo activado. El efluente de la planta de tratamiento debe presentar ciertas características que permitan su reúso a partir de las especificaciones (NC.27, 2012). La neutralización de residuales líquidos alcalinos de dicha industria requiere de ácido

sulfúrico, el cual resulta costoso y debe ser sustituido por otro tratamiento que garantice una neutralización más ventajosa desde el punto de vista técnico, económico y ambiental.

Se ha realizado un estudio para sustituir el ácido sulfúrico por  $\text{CO}_2$  obtenido de las fuentes fijas de la textilera en cuestión. Esto traerá las siguientes ventajas: se disminuirán las emisiones de  $\text{CO}_2$  y a su vez se utilizará ese gas para sustituir un ácido fuerte ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), con lo que se logrará un proceso tecnológico más compatible con el medio ambiente. Además, se reducirán los costos de inversión y operación, pues se eliminarán problemas de corrosión permitiendo diseños de instalaciones de tratamiento con materiales menos costosos. Se eliminarán problemas de dosificación excesiva y se suprimirá el riesgo de una caída brusca del pH por sobre acidificación teniendo límites de neutralización que hacen imposible un pH menor a 5. El objetivo de esta investigación fue determinar la factibilidad del empleo de un reactor de mezcla perfecta a escala de laboratorio para la neutralización de aguas residuales textiles con  $\text{CO}_2$ .

## MATERIALES Y MÉTODOS

La etapa experimental se desarrolló en un reactor modelo mezcla perfecta, en el cual se varió el caudal de alimentación del agua residual. El agua residual presentó inicialmente una DQO de 420 mg/L, una  $\text{DBO}_5$  de 250 mg/L y un pH de 9. El  $\text{CO}_2$  fue suministrado por la Empresa Gases Industriales de Cuba. Se midió el pH de la disolución mediante un pH-metro "HANNA". En la figura 1 se muestra un esquema de esta instalación.

Donde:

- 1: Galón de agua residual
- 2: Bomba
- 3: Tanque de almacenamiento de agua residual
- 4: Rotámetro
- 5: Reactor mezcla perfecta
- 6: Cilindro de  $\text{CO}_2$
- 7: Válvula
- 8: Manómetro

9: Medidor de pH

10: Agitador

11: Difusor

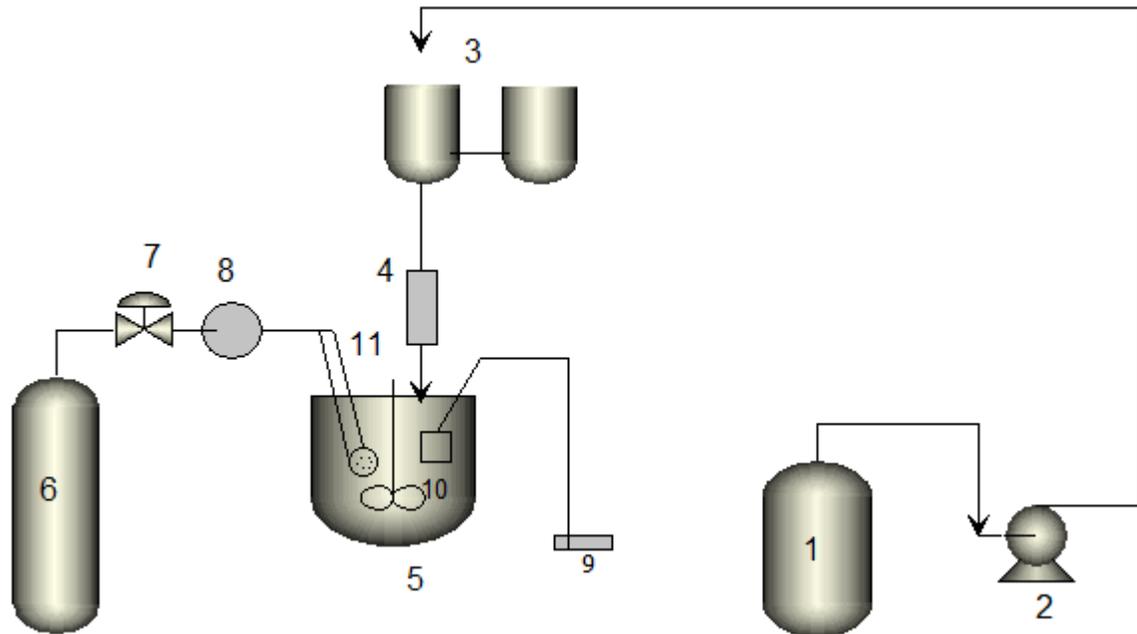


Figura 1. Esquema de la instalación experimental

Para determinar el volumen del reactor de mezcla perfecta se utilizó la ecuación 1.

$$V_T = \frac{\pi * d^2}{4} * h \quad (1)$$

donde:

$V_T$ : volumen del reactor (mL)

d: diámetro del reactor (16 cm)

h: altura del reactor (23 cm)

1cm<sup>3</sup>=1mL

El volumen útil del reactor se halló mediante la ecuación 2.

$$V = 0,8 * V_T \quad (2)$$

Para determinar el tiempo de residencia del reactor se emplea la ecuación 3.

$$\bar{T} = \frac{V}{q} \quad (3)$$

Donde:

$\bar{T}$ : tiempo de residencia (minutos)

V: volumen útil del reactor (mL)

q: flujo (mL/min)

Para el cálculo se consideró el flujo del agua residual porque el CO<sub>2</sub> se disuelve rápidamente en agua, al tener en cuenta el fenómeno de coalescencia presente entre el CO<sub>2</sub> y el agua residual. Curl propuso una medida distinta de la segregación parcial, basado en el modelo de la fase dispersa de gotas que fluyen a través de un tanque con agitación ideal. Todos los elementos grandes se rompen para dar elementos más pequeños por acción de estrechamientos o cambios de dirección (comportamiento laminar) o por la turbulencia originada por agitadores y deflectores. Los elementos pequeños pierden su identidad por la acción de la difusión molecular (Levenspiel, 2004).

En esta investigación se usó el *software* SPSS que proporciona análisis de datos para estadísticas descriptivas y bivariadas, predicciones de resultados numéricos y predicciones para identificar grupos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de la variación del pH en el tiempo para los flujos de 40, 60, 80 y 100 mL de agua residual/min aparecen reportados en la tabla 1.

Tabla 1. Variación del pH en el tiempo para los distintos flujos de agua residual

---

tiempo (s)	Valores de pH para distintos flujos de agua residual			
	40 mL/min	60 mL/min	80 mL/min	100 mL/min
0	9	9	9	9
1	8,93	8,9	8,86	8,72
2	8,89	8,82	8,76	8,61
3	8,76	8,73	8,65	8,5
4	8,7	8,6	8,54	8,41
5	8,63	8,57	8,49	8,3
6	8,61	8,5	8,41	8,21
7	8,6	8,41	8,32	8,11
8	8,57	8,3	8,21	8,04
9	8,55	8,22	8,12	7,96
10	8,54	8,16	8,05	7,9

---

---

11	8,48	8,02	7,88	7,69
12	8,4	7,94	7,7	7,53
13	8,34	7,81	7,58	7,41
14	8,29	7,72	7,47	7,31
15	8,22	7,59	7,35	7,2
16	8,16	7,54	7,25	7,08
17	8,09	7,49	7,09	6,97
18	7,99	7,44	6,98	6,8
19	7,9	7,4	6,86	6,73
20	7,82	7,35	6,74	6,6
21	7,72	7,2		
22	7,63	7,11		
23	7,51	7,02		

---

24	7,4	6,9
25	7,3	6,8
26	7,26	
27	7,22	
28	7,19	
29	7,17	
30	7,15	
31	7,11	
32	7,04	
33	6,99	
34	6,92	
35	6,87	

Se determinó el volumen del reactor de mezcla perfecta, haciendo uso de la ecuación 1, el cual resultó ser de 4622,08 mL, así como el volumen útil del reactor que fue de 3697,66 mL. En la tabla 2 se evidencian los valores calculados de los distintos tiempos de residencia, utilizando la ecuación 3, para cada flujo de agua residual.

Tabla 2. Tiempos de residencia ( $\bar{T}$ ) calculados para cada flujo de agua residual

Flujo de agua residual (mL/min)	$\bar{T}$ (min)
40	92,44
60	61,62
80	46,22
100	36,98

El comportamiento del pH en el tiempo para cada tiempo de residencia aparece en la figura 2.

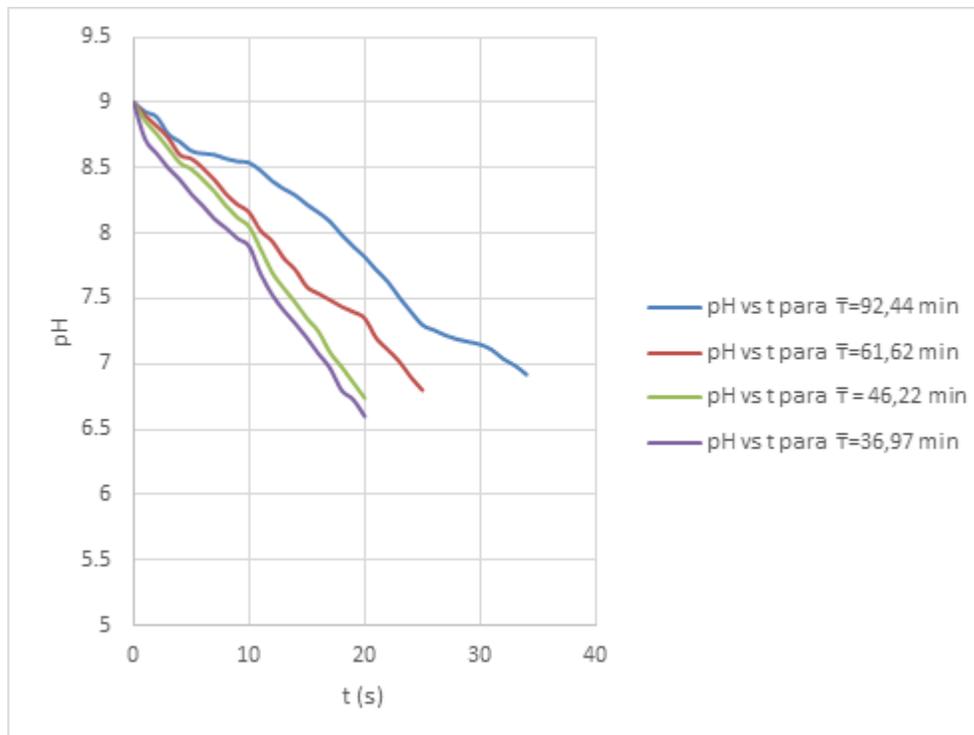


Figura 2. Variación de pH en el tiempo para cada tiempo de residencia calculado

Se alcanza un pH cercano al neutro, con el menor tiempo de residencia, para un flujo de agua residual superior, lo que está dado por el grado de segregación que se logra entre la corriente líquida y la gaseosa.

Se realizó una prueba de hipótesis no paramétrica (muestras independientes) para conocer si existían diferencias significativas entre los valores de pH obtenidos para los diferentes flujos de agua residual en el reactor de mezcla perfecta. Se utiliza el estadígrafo de Kruskal-Wallis.

Con la prueba de hipótesis no paramétrica realizada para el pH, se obtiene un nivel de significación superior a 0,05 (0,939) por lo que se acepta la hipótesis nula, lo que quiere decir que no hay diferencias significativas entre los valores de pH para los distintos flujos de agua residual. Por lo tanto se considera conveniente trabajar con un flujo de agua residual de 100 mL/min porque el tiempo de residencia en el reactor será menor y a la vez se logra un proceso más eficiente.

Se puede predecir el comportamiento de un reactor, si se dispone de una representación completa de la distribución de velocidades del fluido en el interior del mismo. En muchos casos, basta con conocer cuánto tiempo permanece cada una de las moléculas en el recipiente, o más exactamente, la distribución de tiempos de residencia de la corriente de fluido. La distribución de los tiempos de residencia puede determinarse de manera fácil y directa por un método de investigación empleado ampliamente: el método de estímulo-respuesta; con esta técnica se excita al sistema mediante una perturbación y se ve cómo responde a este estímulo. En esta investigación el estímulo (de tipo escalón) fue una inyección de cloruro de sodio (trazador) en el fluido que entraba en el recipiente, mientras que la respuesta fue una representación del mismo a la salida frente al tiempo. El trazador no perturbaba el tipo de flujo en el reactor y se pudo detectar a través de mediciones de conductividad. Los resultados del estudio se muestran en la figura 3.

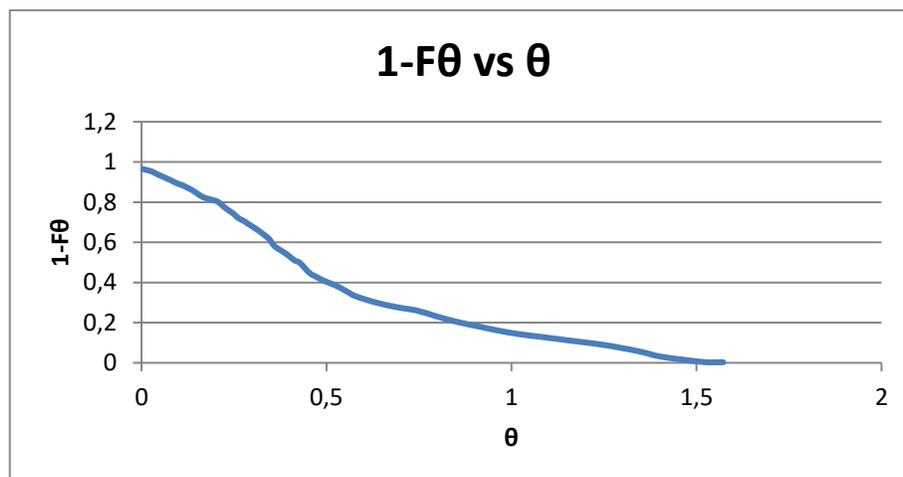


Figura 3. Resultado de la prueba estímulo- respuesta

En la figura 3 se observa que no hay presencia de aguas muertas pues no hay información del trazador para tiempo adimensional ( $\theta$ ) mayor que dos, ni desvíos pues no hay información para  $\theta$  igual cero. El reactor se asemeja al comportamiento ideal por lo que no influye el grado de segregación en este sistema.

En la textilera “Desembarco del Granma” existe un reactor que se asemeja al reactor de mezcla perfecta en la etapa de neutralización del agua residual. Teniendo en cuenta los datos obtenidos en esta investigación, que complementan los estudios cinéticos ya realizados, se podrá verificar la factibilidad del empleo del reactor instalado para lograr la sustitución del ácido sulfúrico por dióxido de carbono. El tratamiento del agua residual será llevado a cabo de una manera más compatible con el entorno ya que se mitigará el impacto negativo de las emisiones de CO<sub>2</sub>, al ser empleado este gas en la reacción de neutralización de las aguas residuales, lo que tributa a la mitigación del cambio climático contribuyendo al cumplimiento de la tarea 8 del Plan del Estado (Tarea Vida). El agua tratada podrá ser reutilizada en la agricultura de la comunidad aledaña.

#### CONCLUSIONES

El aprovechamiento del gran volumen agua residual de la textilera, una vez depurada, es una necesidad actual, para lo cual se debe garantizar un proceso de neutralización eficiente. El flujo en el reactor estudiado se asemeja al ideal ya que no hay presencia de aguas muertas, ni desvíos y el grado de segregación no influye en el sistema. Es factible el empleo de un reactor de mezcla perfecta a escala de laboratorio para la neutralización de aguas residuales textiles con CO<sub>2</sub> para las condiciones estudiadas.

#### REFERENCIAS

Duque, J. (2018). El agua en Cuba: un desafío a la sostenibilidad. *Ingeniería hidráulica y ambiental*, XXXIX(2) 46-59. <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v39n2/riha04218.pdf>

Edwards, J. (2012). *Methods of waste water treatment*. <http://www.fibre2fashion.com/industry-article/market-research-industry-reports/waste-water-andits-treatment/waste-water-and-its-treatment2.asp>

Levenspiel, O. (2004). *Ingeniería de las reacciones químicas*. LimusaWiley.

NC.27. (2012). Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones. Oficina Nacional de Normalización, Cuba.

# IDENTIFICACIÓN DE ESPECIES FORESTALES UTILIZADAS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA EN LA PROVINCIA DE ESMERALDAS, ECUADOR

*Identification of forest species used for energy generation in the province of Esmeraldas,  
Ecuador*

Damarys García Céspedes<sup>1</sup>, Digmar Alfredo Lajones Bone<sup>2</sup>, Raúl Alfonso Camacho Marín<sup>3</sup>, Gualvis Machado Carcáces<sup>4</sup>, Digmar Javier Lajones Ruano<sup>5</sup>

1-3,5Universidad Técnica "Luis Vargas Torres" de Esmeraldas, Ecuador

4Universidad de Oriente, Cuba

## INTRODUCCIÓN

El Ecuador es considerado uno de los países con mayor diversidad en el mundo, debido a su ubicación geográfica, además de poseer múltiples ecosistemas los cuales se asocian a una serie de diversidad florística y faunística, dando origen a diferentes paisajes naturales, siendo el bosque unos de los recursos más importantes para el país (MAE, 2016).

El uso energético de la biomasa es reconocido como respetuoso con el medio ambiente, investigaciones actuales sobre fuentes de energía renovables han alcanzado mucha importancia debido a que las energías fósiles (carbón, petróleo, gas natural, entre otras) no cumplen con los principios de sostenibilidad y respeto al medio ambiente para el bienestar de la humanidad (Raffaeli, 2022).

Los datos referentes a la matriz energética del Ecuador indican que la producción nacional de energía primaria se encuentra concentrada en el petróleo (85,8 %) y gas natural (4,4 %), quedando relegadas a 9,8 % las demás alternativas energéticas de origen renovable, como es el caso de la energía de la biomasa (Ministerio de Energías y Minas, 2022).

El término bioenergía se refiere a todos los tipos de energía derivados de los biocombustibles, son combustibles que se derivan de materias de origen biológico, o biomasa. La transformación de la biomasa forestal ya sea por la utilización directa de las partes de la planta o procedente de residuos de poda es susceptible de ser aprovechada como fuente de energía posibilitando la obtención de productos comercializables en el mercado energético.

La biomasa forestal dentro de un contexto energético hace referencia al conjunto de elementos renovables de origen orgánico o sus derivados, cuya energía procede de la radiación solar que es transformada en energía química de enlace durante el proceso de fotosíntesis realizado por las especies vegetales (Manzano et al., 2012).

Los productos leñosos han sido la primera fuente de energía renovable utilizada por el hombre hasta la revolución industrial, parte de la humanidad, especialmente en los países más desfavorecidos, constituye la principal fuente de energía, usada como combustible. Según su origen se clasifican en combustibles de madera directos (biomasa forestal primaria), están constituidos por madera y productos leñosos extraídos directamente de terrenos forestales, los combustibles de madera indirectos que agrupan subproductos derivados de industrias primarias de la madera que procesan directamente el árbol o tronco y secundarias que procesan la madera elaborada en las industrias de primera transformación, los combustibles de madera recuperados, son los derivados de todas las actividades económicas y sociales ajenas al sector forestal (Velázquez, 2018).

La provincia de Esmeraldas se encuentra ubicada al extremo noroeste del Ecuador, conocida como la provincia verde por su exuberante vegetación (Serrano, 2016). Aproximadamente el 70 % de su territorio es plano con pequeñas colinas que alcanzan hasta los 300msnm. Su territorio es atravesado por las estribaciones de Cayapas y Toisán, mientras que, al oeste, se eleva un cordón montañoso de poca altura conocido como las Montañas de Cojimés, así como las montañas de Muisne y Atacames.

La superficie total de la provincia es de 15.824.52 km<sup>2</sup> las condiciones de territorio y su uso. Se determina que la cobertura dominante es de “Bosque” ocupando aproximadamente 52,2 % de los cuales el 17,6 % es ocupada por bosques nativos. La variabilidad climática permite el desarrollo de bosques tropicales húmedos y muy húmedos con pluviosidades que varían entre los 800 a 1200 milímetros anuales, aumentando la humedad tanto hacia el norte, al sur y al interior, con una temperatura promedio de 25°C (PDOT, 2015-2025). Se caracteriza por su alta biodiversidad, endemismo y belleza escénica en un contexto donde la colonización y la explotación de madera avanzan, por lo que ha sido catalogada como una de las áreas más biodiversas y amenazadas del mundo, por las altas presiones hacia sus recursos naturales (Proaño, 2019).

La presente investigación tuvo como objetivo identificar las especies forestales utilizadas para la generación de energía en la provincia de Esmeraldas, Ecuador.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Basados en estudios previos con características similares; para esta investigación se estimó la aplicación de estadística descriptiva, tal como lo desarrolló Moreno (2019) a través de la agrupación de especies, así se

llevó a cabo un análisis estadístico univariado, con la intención de establecer características comunes en relación con las zonas de mayor incidencia y aprovechamiento. Esto permitió, identificar y realizar la caracterización de las diferentes especies forestales empleadas para la generación de energía en la provincia de Esmeraldas, Ecuador.

En este orden de ideas, esta investigación tiene un enfoque mixto, debido al manejo de datos cuantitativos y cualitativos, ya que estos permitieron establecer condiciones y características asociadas a las especies, desde sus valores numéricos en base al rendimiento y aporte energético, así como también a las condiciones ambientales y ecológicas que promueven su desarrollo y aprovechamiento. Es por ello, que la investigación abarcó la revisión de fuentes de información primaria y secundaria, permitiendo así obtener conclusiones sobre posibles combinaciones de agrupación.

El análisis estadístico se llevó a cabo en tres etapas: la primera de ellas consistió en la depuración de la información y la organización de los datos, según las condiciones que se deben manejar al utilizar el Excel, para luego iniciar el proceso de análisis estadístico descriptivo. Así finalizar, considerando los resultados obtenidos sobre la presencia de especies forestales con fines energéticos en cada uno de los cantones correspondientes a la provincia de Esmeraldas-Ecuador.

En relación con la delimitación espacial, este estudio se realizó con datos recolectados en las 57 parroquias rurales de los siete cantones de la provincia de Esmeraldas: San Lorenzo, Río Verde, Esmeraldas, Eloy Alfaro, Quinindé, Atacames y Muisne.

El muestreo se diseñó con base a la información del Censo de Población y Vivienda de 2010, enfocándose en las parroquias rurales, el porcentaje de bosques en cada una de ellas, así como el número de habitantes y los pobladores que evidencian relación con las actividades forestales del bosque. El universo del estudio abarcó 161.439 personas, distribuidas en aproximadamente 59 viviendas rurales. Para el cálculo de la muestra se aplicó la fórmula para población conocida, obteniendo los siguientes resultados:

$$n = \frac{N * Z_{1-\alpha/2}^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_{1-\alpha/2}^2 * p * q}$$

---

<b>Marco muestral</b>	N =	<b>161439</b>
-----------------------	-----	---------------

---

<b>Alfa (Máximo error tipo I)</b>	α =	0,050
-----------------------------------	-----	-------

<b>Nivel de Confianza</b>	$1 - \alpha/2 =$	0,975
<b>Z de (1-<math>\alpha/2</math>)</b>	$Z (1 - \alpha/2) =$	1,960
<b>Prevalencia del fenómeno</b>	$p =$	0,900
<b>Complemento de p</b>	$q =$	0,100
<b>Precisión</b>	$d =$	0,050
<hr/>		
<b>Tamaño de la muestra</b>	$n =$	138,18
<hr/>		

En este sentido, las encuestas se realizaron a través de un muestreo aleatorio simple a 138 personas voluntarias, donde el criterio de selección fue que se encontraran en edades comprendidas entre 30 y 60 años, ya que poseen conocimiento de las de especies forestales y realizan esta actividad. Las mismas se efectuaron entre los meses de febrero a octubre del año 2022. El criterio aunado a las parroquias rurales fue tomado en consideración, debido a que poseen distintos tipos de bosques aledaños a las viviendas y no cuentan con acceso a gas o electricidad.

La aplicación de la encuesta estructurada se realizó al 5 % de la población rural que evidenciaron su relación con las actividades forestales para conocer aspectos como: especies forestales que emplean para la generación de energía, forma de utilizar las especies forestales como fuente de calor, especies forestales de mayor consumo, forma de abastecimiento del material vegetal, áreas dónde realizan la recolección, forma de traslado del material vegetal, usos fundamentales.

Para la identificación de las especies forestales empleadas para la generación de energía se realizaron visitas *in situ* a las áreas de recolección señaladas por los habitantes, acompañados de informantes clave de la comunidad. Se recolectaron muestras botánicas que fueron llevadas para la respectiva identificación de acuerdo con Little y Dixon (1983). Se realizaron tomas fotográficas, así como registros de información de la localidad y de las características morfológicas visibles de las especies objeto de estudio.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Mediante las entrevistas realizadas a los 138 pobladores rurales de los siete cantones de la provincia de Esmeraldas que emplean especies forestales para la generación de energía se pudo constatar que existen variaciones en el uso de las especies en las diferentes áreas de estudio. Reconocen que emplean 32 especies forestales para la generación de energía (tabla 1)

**Tabla 1.** Especies forestales empleadas para la generación de energía en la provincia de Esmeraldas

<b>Especies forestales empleadas para la generación de energía (nombre común)</b>	<b>Cantones de la provincia de Esmeraldas (con sus parroquias rurales)</b>						
	Esmeraldas	Eloy Alfaro	Muisne	Quinindé	San Lorenzo	Atacames	Ríoverde
<b>Laurel</b>	x	x	x	x	x	X	x
<b>Guabo</b>	x	x	x	x	x	X	x
<b>Chíparo</b>	x	x	x	x	x	X	x
<b>Tangare</b>	-	x	x	x	x	-	-
<b>Pialde</b>	x	x	x	x	x	X	x
<b>Jigua</b>	x	x	x	x	x	X	x

---

<b>Cedro</b>	-	x	x	x	x	-	-
--------------	---	---	---	---	---	---	---

---

<b>Chalviande</b>	x	x	x	x	x	-	x
-------------------	---	---	---	---	---	---	---

---

<b>Cuángare</b>	-	x	x	x	x	-	-
-----------------	---	---	---	---	---	---	---

---

<b>Sande</b>	-	x	x	x	x	-	-
--------------	---	---	---	---	---	---	---

---

<b>Tillo</b>	x	-	x	-	-	X	x
--------------	---	---	---	---	---	---	---

---

<b>Guachapelí</b>	x	-	x	-	-	X	x
-------------------	---	---	---	---	---	---	---

---

<b>Guácimo</b>	x	-	x	-	-	X	x
----------------	---	---	---	---	---	---	---

---

<b>Fernán Sánchez</b>	x	x	x	x	x	X	x
---------------------------	---	---	---	---	---	---	---

---

<b>Moral fino</b>	x	x	x	x	x	X	x
-------------------	---	---	---	---	---	---	---

---

<b>Dormilón</b>	x	-	-	-	-	-	x
-----------------	---	---	---	---	---	---	---

---

<b>Guayacán</b>	x	-	x	-	-	X	x
-----------------	---	---	---	---	---	---	---

---

<b>Mate</b>	x	-	x	-	-	X	x
-------------	---	---	---	---	---	---	---

---

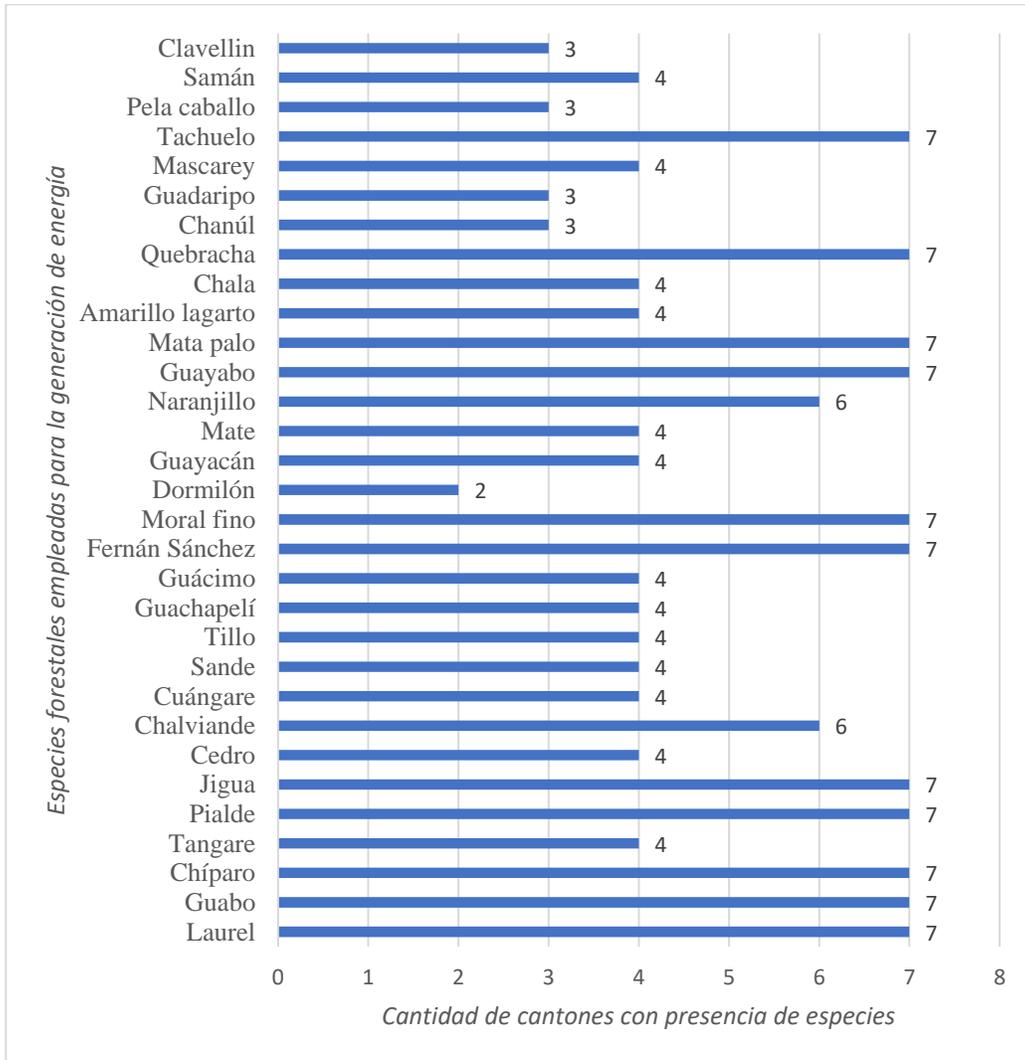
<b>Naranjillo</b>	x	x	x	x	x	-	x
-------------------	---	---	---	---	---	---	---

---

<b>Guayabo</b>	x	x	x	x	x	X	x
----------------	---	---	---	---	---	---	---

---

<b>Mata palo</b>	x	x	x	x	x	X	x
<b>Amarillo</b>	x	-	x	-	-	X	x
<b>lagarto</b>							
<b>Chala</b>	x	-	x	-	-	X	x
<b>Quebracha</b>	x	x	x	x	x	X	x
<b>Chanúl</b>	-	x	-	x	x	-	-
<b>Guadaripo</b>	-	x	-	x	x	-	-
<b>Mascarey</b>	-	x	-	x	x	-	x
<b>Tachuelo</b>	x	x	x	x	x	X	x
<b>Pela caballo</b>	x	-	x	-	-	-	x
<b>Samán</b>	x		x			X	x
<b>Clavellin</b>		x		x	x		
<b>Total, de especies utilizadas</b>	23	21	26	21	21	19	24



**Gráfico 1.** Frecuencia de la presencia de especies utilizadas para la generación de energética por cantón

Se constató que las 138 personas encuestadas declararon que el 100% de las especies forestales empleadas para la generación de energía se utilizan en las parroquias rurales de los siete cantones de la provincia de Esmeraldas, encontrándose especies como: Laurel, Guabo Chíparo, Pialde, Jigua, Fernán Sánchez, Moral fino, Guayabo, Mata palo, Quebracha y Tachuelo, mientras que un 86% de la especie Naranjillo es utilizada con fines energéticos.

La demanda de leña por las comunidades debe ser estudiada a fin de conocer las cantidades que se consumen y proponer acciones de protección, manejo y conservación que serán de gran utilidad en la gestión de los bosques. Consideran que deben desarrollarse especies de rápido crecimiento, propagación a partir de estacas leñosas, tolerar elevadas densidades de plantación, capacidad de generar nuevos rebrotes luego de realizar cortes y se adapten a distintas situaciones edafoclimáticas.

Un 94 % de los encuestados indicaron que los atributos positivos para la preferencia de estas especies como generadoras de energía al ser utilizadas en los hogares están dadas por manifestar características distintivas que favorecen esta actividad como: alta producción de calor, mayor durabilidad del fuego, facilidad para prender, baja producción de humo y cenizas, facilidad para formar brazas o tizones y arder, aunque se encuentre verde.

La leña y el carbón vegetal constituyen las formas de utilizar las especies forestales como fuente de calor, constituyendo la leña el subproducto maderable de mayor uso para autoconsumo familiar, así como la venta y elaboración de carbón, aunque el 65 % de los encuestados señalaron que cada día se hace más escaso este recurso.



**Figura 1.** Forma de arreglo para el transporte de leña

El carbón vegetal representa una importante fuente de ingreso familiar mediante la venta a consumidores de las comunidades cercanas o para las áreas urbanas.



**Figura 2.** Forma tradicional de obtención de carbón vegetal en los cantones de Esmeraldas

Tanto la leña como el carbón vegetal son considerados biocombustibles sólidos. En los bosques se encuentra la biomasa forestal residual que incluye partes o residuos de árboles que quedan en el suelo después de que se han realizado los tratamientos necesarios para un adecuado manejo forestal. La biomasa leñosa en cualquiera de sus formas puede ser utilizada directamente para la generación de calor.

La forma de abastecimiento de las especies vegetales es mediante recolección, corte o restos de poda y la utilización del árbol completo ya sea para leña o carbón vegetal. Ejecutan la recolección de ramas caídas de los árboles, troncos y raíces secos de forma complementaria (65 % de los encuestados). La recolección de la biomasa forestal la realizan en áreas boscosas cercanas a las viviendas especialmente cuando se trata de ramas y maderas muertas (29 % de los encuestados). Sin embargo, el corte de los árboles lo efectúan en áreas de bosques primarios y secundarios que se encuentran a distancias que oscilan entre 3 y 5km respecto a las viviendas (44 % de los encuestados), lo que trae consigo esfuerzo físico y mayor tiempo para realizar la extracción.

El traslado del material vegetal a las viviendas lo realizan de diferentes formas, ya sea directamente en la espalda, en los brazos, en bolsas, carretillas, con animales de atracción o mediante vehículos automotores, para apilarlo y dejarlo secar para ser usado como leña o para la elaboración de carbón vegetal.

Los usos fundamentales lo constituyen la cocción de alimentos y calentamiento de agua para el baño. La cantidad que emplean para estos fines está relacionada con el número de comidas que elaboran, la cantidad de miembros de la familia y el tiempo que mantienen encendido el fogón. Por lo que puede señalarse que la cantidad de leña consumida está relacionada con la diversidad de necesidades que deben ser cubiertas en los hogares.

Las muestras vegetales recolectadas para la identificación coincidieron con los nombres comunes declarados por los pobladores, lo que posibilitó indicar los nombres científicos de cada una de ellas, así como las familias botánicas a las que pertenecen, identificándose 16 familias botánicas entre árboles y arbustos.

**Tabla 2.** Agrupación de especies forestales, por cantidad de familias botánicas presentes en los cantones de la provincia de Esmeraldas

---

<b>Grupo</b>	<b>Familias botánicas con fines energéticos</b>
--------------	---

---

---

**A** Apocynaceae, Boraginaceae, Cecropiaceae, Humiriaceae, Myrtaceae,  
*Una especie por familia* Rutaceae, Sapindaceae, Sterculiaceae

---

**B** Bignoniaceae, Euphorbiaceae, Lauraceae, Meliaceae, Myristicaceae,  
*Dos especies por familia* Polygonaceae

---

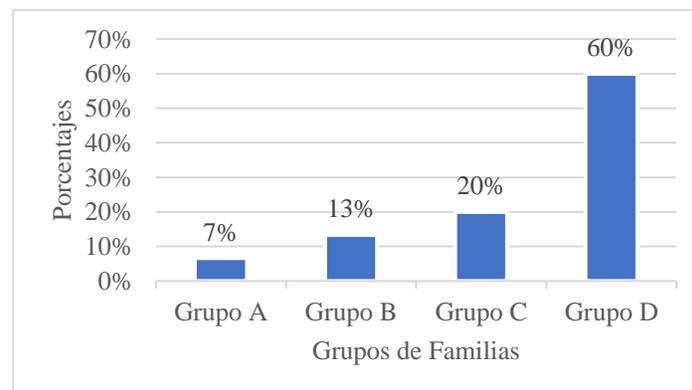
**C** Moraceae  
*Tres especies por familia*

---

**D** Fabaceae  
*Nueve especies por familia*

---

Las especies de la familia Fabaceae constituyen las más representativas dentro de las familias botánicas empleadas con fines energéticos.



**Gráfico 2.** Porcentaje de especies, según la familia botánica empleadas con fines energéticos

Las especies forestales se identificaron de acuerdo con los criterios Little y Dixon (1983) tomando como punto de partida el nombre común de la especie, realizando el análisis y comparación de la anatomía morfológica de las muestras, lo que permitió determinar el nombre científico, la familia botánica, así como la posterior descripción. Se presenta la descripción de las 11 especies de mayor uso para la generación de energía, así como el material fotográfico de cada una de ellas:

**Laurel** (*Cordia alliodora*): árbol caducifolio de 8 hasta 25m de alto, tronco recto, copa globosa y tupida, hojas simples, anchamente aovadas o elípticas de 10 a 24cm de largo por 3 a 10cm de anchos. Brácteas verdosas, de unos 2cm de largo. Frutos globosos a redondeados, verdosos, ásperos, de 10 a 25mm de diámetros. Fisuras angostas y alargadas con una pequeña hendidura (Figura 3).



Figura 3 *Árbol de Laurel*

**Guabo** (*Inga edulis* L.): árbol de copa densa, aparasolada y ancha con ramificaciones, que alcanza hasta 30 m de altura, con diámetros de 30 a 60cm de tronco, hojas compuestas, alternas, paripinnadas, con estípulas deciduas y raquis alado pardo tometoso. Las flores son hermafroditas, con ovario supero de color blanco que llegan a medir entre 3,5 a 4cm de diámetro polar. Los frutos son vainas cilíndricas profundamente estriadas, larga hasta más de 1m, de 3-5cm de diámetro, contienen varias semillas de color negruzco de 3,5 x 1,2cm circundados por un arillo algodonoso. Fisuras largas como pequeños caminos que se desplazan en la corteza, estas son poco profundas (Figura 4).



Figura 4 *Árbol de Guabo*

**Chíparo** (*Zygia dissitiflora*): árbol que mide entre 6 y 10 metros de altura, crece en sitios entre los 0 y 1.400 sobre el nivel del mar, de forma rápida en suelos arenosos, franco-arenosos o limosos, es decir, que se encuentra en bosques húmedos y muy húmedos. Es una variedad arbórea de tronco cilíndrico, ramificado y longevo. La corteza externa es de color pardo-rojizo o pardo-grisáceo, lisa, que se exfolia en escamas más o menos circulares (Figura 5).



Figura 5 *Árbol de Chiparo*

**Pialde** (*Cupania cinérea*): árbol mediano o grande que puede medir hasta 30m de alto con 40cm de diámetro en el tronco. Las raíces pueden ser tablares, bajas y agudas. Hojas pinnadas; folíolos 4–8, obovado-oblongos 10-20cm de largo y 2–7cm de ancho, redondeados a emarginados en el ápice, margen serrado-dentado, glabros en el haz, densamente blanquecino - pubescentes en el envés, coriáceos, nervios en el envés ligeramente prominentes. Flores de 2mm de largo, blancas; con sépalos tomentosos. Fruto en cápsula obovada, redondeada a lobada de 1,5cm de largo y 1 cm de ancho, cubierto de una superficie lanosa de color café claro, cortamente estipitada. Las fisuras de la corteza son largas y forman arcos entre ellas (Figura 6).



Figura 6 *Árbol de Pialde*

**Jigua** (*Nectandra reticulata*): árbol de tamaño mediano a grande de hasta 30m, con un grosor de tronco de 60 cm, copa amplia con ramas y hojas dispuestas hacia abajo. Posee una apariencia escamosa, al realizarse cortes se desprende un olor similar al aguacate maduro, inflorescencia abundante en racimo de color blanco (Figura 7).



Figura 7 *Árbol de Jigua*

**Fernán Sánchez** (*Triplaris cumingiana*): árbol perennifolio o subperennifolio, de 20 a 30m (hasta 45m) de altura, con un diámetro a la altura del pecho de 50 a 90cm y hasta 1,5m. Hojas simples, algo lustrosas por el haz, opacas y con nervios pronunciados por el envés, alternas, con secreción de látex tanto por el tronco como en hojas. Presencia de pequeñas estipulas ocreas que dejan en el fuste y ramas con un anillo que perdura durante toda la vida. Flores pequeñas casi efímeras algo amarillentas. Frutos globosos con una semilla grande carnososa. Corteza que se levanta de arriba para abajo, con fisuras pequeñas poco perceptible, es muy angosta formando entre ellas una figura geométrica (rombo), se observan lenticelas a lo largo de todo el fuste (Figura 8).



Figura 8 *Árbol de Fernán Sánchez*

**Moral fino** (*Maclura tinctoria*): especie dioica con árboles de hasta 25m, fuste recto o algo bifurcado, hojas simples, alternas, borde aserrado con presencia de pelos tanto por el haz como por el envés, flores masculinas agrupadas en cabezuela, frutos de color verde similares a una mora con numerosas semillas pequeñas. Corteza corrugada con presencia de lenticelas que semejan labios humanos, fisuras delgadas con tramos cortos (Figura 9).



Figura 9 *Árbol de Moral fino*

**Guayabo** (*Psidium guajava*): árbol que crece en forma simétrica piramidal con alturas entre 3 y 9m, flores bisexuales con un diámetro de 2,5 a 3cm de reproducción autógena, con autopolinización eminente (60% - 75 %) con contribución de polinización cruzada del 35% (Fischer et al., 2012). El fruto es una baya de forma esférica ovoide o piriforme de acuerdo con la variedad, de color variado desde verde hasta diferentes

tonos de amarillo. La corteza es de color gris que se desescama frecuentemente con presencia de manchas (Figura 10).



Figura 10 *Árbol de Guayabo*

**Mata palo** (*Coussapoa egeersi*): árbol grande que inicialmente crece sobre otro árbol lo abraza y al final lo elimina. Se reconoce por su savia acuosa, muy transparente que se pone negruzca al contacto con la luz. Ramas pubescentes, con estipulas ocreas, puntiaguda, grandes y pilosas. Hojas coriáceas, con presencia de nervios laterales, rectos y paralelos al nervio principal, envés blanquecino, flores dioicas muy numerosas, frutos múltiples (Figura 11).



Figura 11 *Árbol de Mata palo*

**Quebracha** (*Coccoloba obovata*): árbol de hasta 18m de altura, fuste recto con corteza algo áspera, hojas simples abrasadoras en las ramas pequeñas del árbol, semejando antenas de radio, flores pequeñas de color amarillento, agrupadas en racimos, fruto globoso de color negro cuando madura contiene una semilla. La corteza es algo liza, con tenue levantamiento de esta. (Figura 12)



Figura 12 *Árbol de Quebracha*

**Tachuelo** (*Zantoxylum tachuelo*): árbol que alcanza hasta los 20m de altura, con un diámetro a la altura del pecho entre 50 – 60cm. Tronco con abundantes agujones de forma cónica, presenta frecuentemente bambas pequeñas; ramas con agujones, ramas jóvenes glabras, escasamente lenticeladas. Hojas compuestas, alternas, imparipinnadas, con 11-13 folíolos, opuestos, oblongos a elípticos, de 12-27cm de largo, ápice corto-acuminado. Frutos en cápsulas triangulares de 7 mm de largo con fuerte olor resinoso verde-morados, subglobosos de 5 a 8mm de diámetro. Semillas negras oblongas y lustrosas. La madera externa blanco-crema, madera interna color amarillo claro (Figura 13).



Figura 13 *Árbol de Tachuelo*

Ecuador es uno de los países con alta demanda de leña utilizada como combustible en muchos hogares asentados sobre todo en áreas rurales, que circundan áreas de bosques (Caicedo, Vallejo, & Carrasco, 2019). A partir de los productos generadores de energía se desarrollan diversas actividades comerciales y productivas, en: restaurantes, asaderos, ladrilleras, panaderías, criaderos de pollos, entre otras. El uso diario y generalizado de la leña y el carbón en las parroquias rurales de la provincia de Esmeraldas está motivado por factores socioeconómicos.

## CONCLUSIONES

El estudio permitió identificar las especies forestales empleadas para la generación de energía en las 57 parroquias rurales de los siete cantones de la provincia de Esmeraldas, destacándose 11 especies como las más utilizadas para esta finalidad. Aspecto que contribuye a integrar comunidades energéticamente vulnerables y al desarrollo de programas de gestión de los recursos forestales.

## REFERENCIAS

Caicedo, M., Vallejo, M. C., & Carrasco, F. (2019). La pobreza como determinante del consumo doméstico de leña y su efecto en los bosques del Ecuador. *Bosque (Valdivia)*, 40(2), 205-216.

Ecuador. MAE. (2016). Mapa de deforestación del Ecuador 2014-2016.

Ecuador. Ministerio de Energías y Minas. (2022). Balance energético Nacional 2021.

Ecuador. PDOT. (2015-2025). Plan de Ordenamiento y Desarrollo de la Provincia de Esmeraldas 2015-2025.

[http://app.sni.gob.ec/snmlink/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdocumentofinal/0860000160001\\_PDOT%20ACTUALIZACI%C3%93N%202015\\_18-08-2015\\_12-32-18.pdf](http://app.sni.gob.ec/snmlink/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0860000160001_PDOT%20ACTUALIZACI%C3%93N%202015_18-08-2015_12-32-18.pdf)

Little, E y Dixon, G. (1983). Árboles comunes de la provincia de Esmeraldas. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

Manzano-Agugliaro, F., Sánchez-Muros, M. J., Barroso, F. G., Martínez-Sánchez, A., Rojo, S., Pérez-Bañón, C. (2012). Insects for biodiesel production. *Renew. Sustain. En. Rev.*, 16(6), 3744-3753.

Moreno Velásquez, M. (2019). Aplicación de Análisis de Componentes Principales y Conglomerados a datos de Fluorescencia de Rayos X (FRX) en suelos. Fundación Universitaria Los Libertadores.

Proaño, E. (2019). <https://www.goraymi.com/es-ec/esmeraldas/bosque-del-chocoalap17esw>

Raffaeli, N. (2022). Dendroenergía: biocombustibles sólidos derivados de la madera. Libros de Cátedra.

Serrano, C. A. L. (2016). Geografía Turística del Ecuador. Universidad Técnica de Machala. Ecuador.

Velázquez, B. (2018). Aprovechamiento de la biomasa para uso energético. Editorial Universitat Politècnica de València.

# **SELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE FUENTES SEMILLERAS DE ESPECIES FORESTALES COMO BIOCOMBUSTIBLES SÓLIDOS EN LA PROVINCIA DE ESMERALDAS**

## **Selection and Characterization of Seed Sources of Forest Species as Solid Biofuels in the Province of Esmeraldas**

Digmar Alfredo Lajones Bone<sup>1</sup>, Damarys García Céspedes<sup>2</sup>, Amílcar Roldan Ruanes<sup>3</sup>, Digmar Javier Lajones Ruano<sup>4</sup>, Gualvis Machado Carcases<sup>5</sup>

1-2,4Universidad Técnica "Luis Vargas Torres" de Esmeraldas, Ecuador

3,5Universidad de Oriente, Cuba

### **I. INTRODUCCIÓN**

Esmeraldas, es una de las seis provincias de la costa ecuatoriana donde se observa gran cantidad de bosque, paradójicamente, es un área donde se extrae la mayor cantidad de especies maderables del bosque natural, lo que conlleva a la extinción de valiosas especies de importancia comercial; dentro de la provincia, los cantones de mayor extracción de madera son: San Lorenzo, Eloy Alfaro y Quinindé, a esta explotación maderera, se suma la conversión del bosque a tierras agrícolas y pecuarias; actividades mineras y el monocultivo como el de palma aceitera, acciones en conjunto conducen a la pérdida de la cobertura boscosa y de la biodiversidad.

El Ministerio del Ambiente (MAE) muestra que entre 1990 y 2018 el país perdió alrededor de dos millones de hectáreas de bosques naturales. Las provincias más afectadas son lógicamente la Amazonía, Manabí y Esmeraldas registran la mayor cantidad de tala y deforestación, mientras que en la Sierra Norte, Azuay, Chimborazo, Cotopaxi, Guayas, Santo Domingo de los Tsáchilas y Tungurahua es donde se produce la comercialización de la madera ilegal (Sierra, Calva y Guevara, 2021).

En Ecuador varios gobiernos han establecido programas nacionales de reforestación; en el último programa que se aprobó, las personas encargadas de llevar adelante el desarrollo de este no tenían dónde conseguir las semillas que se utilizarían en el mismo, por ello se improvisaron viveros. Las semillas que allí se utilizaron no procedían de árboles y no se controló la procedencia de estas, especialmente de las especies nativas. Los resultados se pueden observar en la actualidad con el desarrollo y crecimiento de árboles de mala forma con características de plus.

El programa en mención se desarrolló en los siete cantones de la provincia, pero paradójicamente, las plantas las transportaban a una distancia de más de 200km, esto implicó más costo en los gastos de plantación y probablemente el ingreso de agentes patógenos causantes de daños en la vegetación existente en la provincia.

Las especies que se utilizan para dendroenergía o también llamadas como combustibles sólidos deben poseer características adecuadas, así como la ubicación de estas para ser consideradas como fuentes semilleras, aspecto que contribuirá a que los gobiernos parroquiales tomen como propuesta al conocer la ubicación de los respectivos árboles que servirán para tener las semillas cuándo la necesidad lo amerite. Se tendrá en cuenta las especies que son más utilizadas para dendroenergía, en cada una de las parroquias, estas deben poseer entre sus características un crecimiento rápido.

Santos (2021), manifiesta que las fuentes semilleras forestales son la base para implementar programas de mejoramiento genético forestal. *Las fuentes semilleras no están disponibles hasta que hayan sido localizadas, identificadas y documentadas.* En cada caso, esto crea una entidad reconocible que puede servir como centro de atención para futuras actividades y financiación facilitando las buenas prácticas de recolección de semillas.

Las fuentes semilleras actuales son árboles aislados en fincas, carreteras y/o parques y avenidas de la ciudad, lo que no asegura el buen estado de las semillas. Por lo tanto, la calidad de las plántulas que se obtienen posteriormente no son los adecuados, imposibilitando posteriormente el desarrollo de huertos clonales para tener fuentes semilleras garantizadas y registradas. Esta situación se manifiesta en la costa y la Región Amazónica (Valladolit et al., 2017).

La investigación se realizó en las 57 parroquias rurales de la provincia de Esmeraldas, con el objetivo de seleccionar y caracterizar fuentes semilleras de especies forestales como biocombustibles sólidos en la provincia de Esmeraldas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La provincia de Esmeraldas con una extensión de 15.824.52 Km<sup>2</sup>, está dividida en siete cantones y estos a su vez, agrupan 57 parroquias rurales (GADPE, 2015). El estudio se realizó en las 57 parroquias rurales de los siete cantones de la provincia de Esmeraldas.

Para el desarrollo de la investigación se utilizaron fuentes primarias y secundaria, considerando la investigación de tipo descriptiva y exploratoria. EL muestreo se diseñó tomando como base la información del Censo de Población y Vivienda (2010). Este diseño se generalizó para las 57 parroquias rurales de la

provincia de Esmeraldas, se tomó en cuenta el porcentaje de bosques en cada una de ellas, así como el número de habitantes y los pobladores que evidencian relación con las actividades forestales del bosque. El universo del estudio abarcó 161.439 habitantes. Para el cálculo de la muestra se aplicó la fórmula para población conocida, obteniendo los siguientes resultados:

$$n = \frac{N * Z_{1-\alpha/2}^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z_{1-\alpha/2}^2 * p * q}$$

Marco muestral	N =	161439
Alfa (Máximo error tipo I)	$\alpha =$	0,050
Nivel de Confianza	$1 - \alpha/2 =$	0,975
Z de (1- $\alpha/2$ )	$Z (1 - \alpha/2) =$	1,960
Prevalencia del fenómeno	p =	0,900
Complemento de p	q =	0,100
Precisión	d =	0,050
Tamaño de la muestra	n =	138,18

Fuente: García & Lajones 2023

El criterio aunado a las parroquias rurales fue tomado en consideración, debido a que poseen distintos tipos de bosques aledaños a las viviendas y no cuentan con acceso a gas o electricidad. La socialización de la investigación se realizó por medio de los presidentes de las juntas parroquiales.

En este sentido, las entrevistas se realizaron a través de un muestreo aleatorio simple a 138 personas voluntarias, donde el criterio de selección fue que se encontraran en edades comprendidas entre 30 y 60

años, ya que poseen conocimiento de las de especies forestales, realizan esta actividad y aprovechan las especies maderables en su totalidad. Las entrevistas se aplicaron entre los meses de febrero y diciembre del año 2022.

La entrevista se encaminó a conocer aspectos como: aceptación para realizar plantaciones de especies que pueden ser utilizadas para proveerse de madera, leña y carbón, tipos de especies que emplean como biocombustibles, características de los árboles que emplean: tipo de crecimiento, diámetro del tronco, número de ramas, disposición para conservar y proveer de semillas a otras áreas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los 138 entrevistados en las 57 parroquias rurales manifestaron su aceptación en realizar plantaciones de varias especies forestales para ser utilizadas como proveedoras de madera, leña y carbón, aspectos que se tomó de referencia para la selección de 16 especies como árboles plus que posteriormente servirán para ser utilizadas como fuentes semilleras (tabla1).

Indicaron que las 16 especies seleccionadas tienen características que las diferencian de las demás especies presentes en la zona por ser altamente productora de madera y de crecimiento rápido. Consideraron además que las mismas se encuentran disponibles en las comunidades, lo que servirá para que el estado o cualquier organización que desarrolle programas de reforestación y así obtener del medio las semillas de las especies necesarias. Manifestaron su disposición en conservar y proveer de semillas a otras áreas.

**Tabla 1.** Especies forestales propuestas por los entrevistados de las 57 parroquias rurales para ser plantadas en cada una de ellas como fuentes semilleras y posteriormente ser utilizadas como biocombustibles sólidos.

#	NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO
1	Laurel	<i>Cordia alliodora</i> (R. &P.) Oken.
2	Chíparo	<i>Zygia dissitiflora</i> Barneby & J.W. Grimes
3	Pialde	<i>Cupania cinérea</i> Poepp.

4	Tangare	<i>Carapa guianense</i> Aubl.
5	Cedro	<i>Cedrela fissilis</i> , Vell.
6	Chalviande	<i>Virola reedi</i> Aubl.
7	Tillo	<i>Brossimum alicastrum</i> Sw.
8	Guachapelí	<i>Albissia guachapele</i> H.B. K
9	Fernán Sánchez	<i>Triplaris cumingiana</i> Fisch. & C.A.Mey
10	Moral fino	<i>Clorophora tinctoria</i> (L.) D. Don.):
11	Dormilón	<i>Phytocellobium arboreum</i> (L.) Urb.
12	Amarillo	<i>Centrolobium paraense</i> var.
13	Mascarey	<i>Hyeronima chocoense</i> Fr. Alem.
14	Samán	<i>Phytocellobium samam</i> var.
15	Sandalo	<i>Myroxilom balsamum</i> L. f.
16	Calade	<i>Nectandra purpura</i> (Ruiz & Pav.) Mez.

En la tabla 2, se presentan las especies forestales propuestas para plantar en los cantones de Esmeraldas como fuentes semilleras para ser utilizadas posteriormente como biocombustibles sólidos. Se registraron las siguientes especies: laurel, se solicitan plantar; en las 8 parroquias de Esmeraldas, 7 parroquias en Eloy

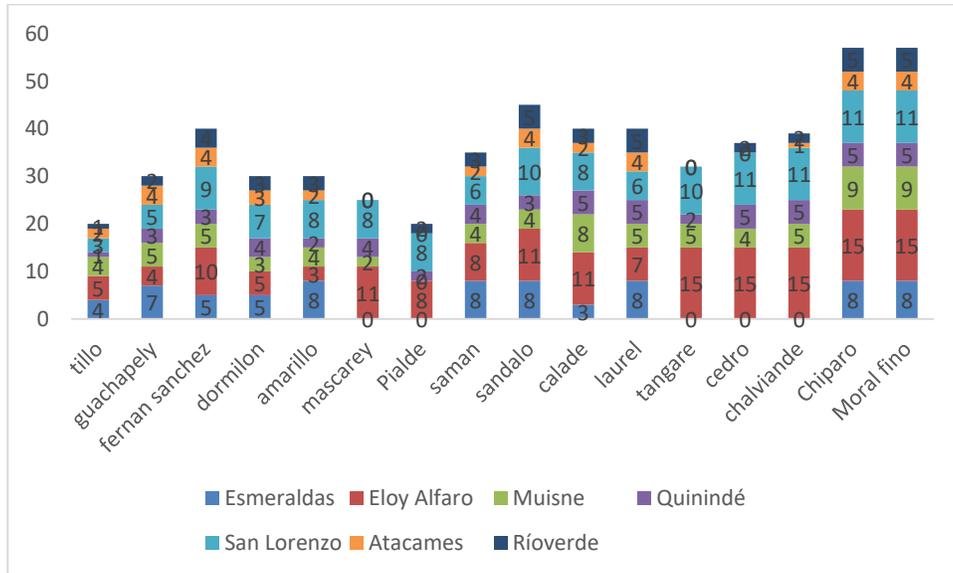
Alfaro, 5 parroquias en Muisne, 5 parroquias en Quinindé, 6 en San Lorenzo, 4 en Atacames, 5 en Rioverde, y así sucesivamente para el resto de las parroquias, etc.

**Tabla 2.** Especies forestales propuestas para plantar en los cantones de Esmeraldas como fuentes semilleras.

<b>Cantones de la provincia de Esmeraldas (parroquias rurales)</b>							
<b>Especies forestales empleadas para la generación energía  (nombre común)</b>	<b>Esmeraldas</b>	<b>Eloy Alfaro</b>	<b>Muisne</b>	<b>Quinindé</b>	<b>San Lorenzo</b>	<b>Atacames</b>	<b>Ríoverde</b>
Laurel	8	7	5	5	6	4	5
Chíparo	8	15	9	5	11	4	5
Tangare	1	15	5	2	10	0	0
Cedro	1	15	4	5	11	0	2
Chalviande	3	15	5	5	11	1	2
Tillo	4	5	4	1	3	2	1
Guachapelí	7	4	5	3	5	4	2

Fernán Sánchez	5	10	5	3	9	4	4
Moral fino	8	15	9	5	11	4	5
Dormilón	5	5	3	4	7	3	3
Amarillo Lagarto	8	3	4	2	8	2	3
Guadaripo	0	8	0	2	8	0	2
Mascarey	0	11	2	4	8	0	0
Samán	8	8	4	4	6	2	3
Sandalo	8	8	4	4	6	2	3
Calade	3	11	8	5	8	2	3

En el gráfico1 se pueden observar las especies forestales aceptadas para plantar en las 57 parroquias rurales objeto de estudio. (los colores representan los cantones)



**Gráfico 1.** Especies forestales propuestas para plantar en las 57 parroquias rurales objeto de estudio. (los colores representan los cantones)

Descripción de las especies forestales propuestas a plantarse en los cantones de Esmeraldas como fuentes semilleras:

- *Cordia alliodora* (R. &P.) Oken. (Laurel): es seleccionada por ser una especie de crecimiento rápido utilizada para la producción de madera, siendo las más utilizadas para construcción de viviendas en toda la provincia.
- *Inga edulis* (Vhl.) Willd (Guabo): a la fecha es una de las especies que se encuentra en todas parroquias, su fruto es muy cotizado, a más de la utilización del suelo que se encuentra bajo estas especies, también como leña que por estar cerca de las viviendas, siendo esta muy inflamable. Se la utiliza en toda la provincia.
- *Zygia dissitiflora* Barneby & J.W.Grimes. (Chiparo): es una de las especies que se encuentra en las riberas de los ríos, protege de la erosión, cada día existe la necesidad de tener mayor protección de la ribera de los ríos, necesidad que obliga a producir suficientes plántulas para poder cubrir las riberas de los ríos y riachuelos.
- *Cupania cinérea* Poepp. (Pialde): especie propia del bosque secundario, se multiplica masivamente, en los bosques, pero no se tienen árboles semilleros que provean de semilla para garantizar la producción de buenas plántulas. Esta especie tiene la propiedad de arder en estado fresco, característica que posibilita mantener el fuego en periodo de invierno.

- *Carapa guianense* Aubl. (Tangare): especie muy utilizada por la producción de madera, se desarrolla en todas las parroquias, aunque actualmente no se la encuentra en los cantones Esmeraldas, Atacames y Ríoverde, años atrás existía en los diferentes sectores muy cercanos a la desembocadura de los ríos. El aprovechamiento acelerado provocó la extinción local.

- *Cedrela fissilis*, Vell. (Cedro). árbol de más de 25 metros de altura, con diámetros de más de 60 cm, corteza con estrías grandes muy visibles, hojas compuestas pinnadas, alternas, flores agrupadas en inflorescencias terminales con flores de color algo amarillas, frutos una capsula que cubren varias semillas y madera muy cotizada. Se encuentra en Colombia, Ecuador y Perú.

- *Virola reedi* Aubl. (Chalviande): árbol de 30m de altura y 60cm de diámetro. Posee hojas simples alternas, angostamente oblongas, haz verde oscuro, envés blanquecino. Panículas florales en la base de las hojas, flores femeninas amarillas. Fruto tipo drupa dehiscente sobre pedúnculo grueso, posee una sola semilla. Esta especie se encuentra en Brasil, Colombia y Ecuador, donde se ubica en la provincia de Los Ríos, Estación Científica Pedro Franco Dávila (Jauneche), en la provincia de Esmeraldas en el bosque húmedo desde Borbón hasta Playa de Oro (Valverde y Joe, 2012).

- *Brossimum alicastrum* Sw. (Tillo): árbol de más de 30m de altura, fuste recto, presencia de lenticelas poco visibles; hojas simples, algo lustrosas por el haz y opacas y con nervios pronunciados por el envés, alternas, con secreción de látex tanto por el tronco como por las hojas, presencia de pequeñas estípulas ocreas que dejan en el fuste y ramas un anillo que perdura durante toda la vida del árbol, flores pequeñas casi efímeras algo amarillentas, frutos globosos con una semilla grande y carnosas. Se encuentra en bosques húmedos y en bosques de transición húmedo seco, aunque en esporádicas ocasiones en bosques secos cerca de fuentes de agua, preferentemente en bosques primario.

- *Albissia guachapale* H.B.K (Guachapely): es un árbol originario de América, cultivado en la costa seca / húmeda y Amazonia en altitudes de 0-800msnm (El Oro, Esmeraldas, Guayas, Los Ríos, Manabí, Sucumbíos y Napo). Se desarrolla en el bosque seco pluviestacional y bosque siempre verde de tierras bajas de la amazonia. Árbol caducifolio de 20 a 25m de altura y 40 a 50cm de DAP, fuste cilíndrico, recto con ramificaciones desde la mitad del tamaño de la planta. Los árboles sirven para sombra en potreros y en cafetales, la corteza externa es de tonalidad grisácea con matices claros, con fisuras verticales que forman placas irregulares alargadas y relativamente ancha, quebradiza, apariencia corchosa con un grosor entre 8 a 15mm.

- *Triplaris cumingiana* Fisch. & C.A.Mey. (Fernán Sánchez): se encuentra ampliamente distribuida por los bosques húmedos tropicales, incluyendo llanuras de ríos y bosques tropofíticos y secos, desde el Oeste del Ecuador en laderas de bosques secos en las provincias de Bolívar, Chimborazo, Los Ríos, Manabí, Morona

Santiago, Pichincha, Guayas, El Oro, Loja y en Esmeraldas en Rioverde, Quinindé y el Rio Guayllabamba desde el nivel del mar hasta los 1500 msnm.

- ***Clorophora tinctoria*** (L.) D. Don.): especie dioica con árboles de hasta 25 m, fuste recto o algo bifurcado, hojas simples, alternas, borde aserrado con presencia de pelos tanto por el haz como por el envés, flores masculinas agrupadas en cabezuela, frutos de color verde similares a una mora con numerosas semillas pequeñas. En bosque seco, aunque en esporádicas ocasiones se observan en bosques húmedos preferentemente en bosques primarios. Se desarrolla muy bien en bosques secundarios, La madera es utilizada para construcción de vivienda. Se utiliza para reforestación por ser especie de crecimiento rápido.

- ***Phytocellobium arboreum*** (L.) Urb. (Dormilón): es un árbol de tamaño grande que alcanza hasta 30 m en altura y 90 cm de diámetro. La copa de este árbol es ampliamente umbelada, follaje claro y abierto, con ramas abundantes, extendidas oblicuamente, ramificadas, con frecuencia cayendo hacia abajo. Troza recta, cilíndrica, con gambas rectas o cóncavas, simples. Su corteza es de color verdoso o amarillo-gris, bastante áspero, fisurada fina y superficialmente, desprendiéndose en piezas escamosas, irregulares pequeñas y delgadas. Las hojas son biparipinnadas, alternas. Flores en cabeza globosa, blanquecinas y muy pequeñas. Madera del dormilón se emplea para la construcción de interiores, pisos, techos, muebles, postes, durmientes y canoas (Xavier Wilfrido, 2016).

- ***Centrolobium paraense*** var. (Amarillo Lagarto): árbol semicaducifolio de hasta 25m de altura y 60-80 cm de DAP. Fuste recto hasta 5-6m, luego se ramifica fuertemente, corteza blanquecina casi lisa. La copa es regular muy frondosa. Hojas compuestas, pinnadas, foliolos grandes de 8-10 cm, elípticos, envés cubierto de pequeñas glándulas anaranjadas. Flores de color amarillas-anaranjadas (similar a flores de arveja), cáliz de cinco sépalos de color verde, corola de cinco pétalos de color amarillento, agrupadas en una inflorescencia en panícula terminal. Fruto una sámara, espinosa, esférica con un ala grande y con varias semillas, color verde cuando está tierno y café cuando está maduro (García, 2006).

- ***Hyeronima chocoense*** Fr. Alem. (Mascarey); árbol más 30 m de altura, fuste recto con corteza algo áspera, hojas simples grandes, alternas, de color verde que al madurar se toman de color rojizo, flores pequeñas de color amarillento, agrupadas en pequeños racimos, frutos globosos que contiene una semilla pequeña.

- ***Phytocellobium samam*** var. (Saman): crece desde Guatemala a Ecuador, cultivado en la costa seca y húmeda del Ecuador, entre 0-800 msnm, prefiere suelos profundos, así como en las provincias de El Oro, Guayas y Manabí (Jorgensen y León-Yáñez 1999). Tipo de bosque: bosque seco pluvioestacional. Árbol perennifolio de 20-25m de altura y 70cm de DAP. Fuste cilíndrico, recto, con ramificaciones desde baja altura. Copa ensanchada, aparasolada, densa, follaje verde intenso. Corteza negra agrietada en tabiques

irregulares. Hojas compuestas, bipinnadas, alternas, foliolos ovalados. Flores con estambres rosados o púrpuras con la base crema agrupadas en una umbela. Fruto una legumbre convexa, de 15-25cm de longitud, mesocarpo pulposo, varias semillas cafés (Elbert L. Little, 1983). Las hojas, flores y frutos tienen diferentes usos: forraje para el ganado, infusión de las hojas como laxante, con la pulpa del fruto se elabora alcohol parecido al de cerezas, en la ornamentación de avenidas y plazas. Especie excelente para SAF (Valverde 1998).

- *Myroxilom balsamum* L. f. (Sándalo): árbol de hasta 35 m de altura y 1m de diámetro normal, con el tronco derecho ramas ascendentes, copa redondeada. Corteza externa lisa, pardo-grisácea JJ con abundantes lenticelas suberificadas y protuberantes. Interna de color amarillento, granulosa, con un olor fragante peculiar, con 10mm de grosor total. Hojas dispuestas en espiral, imparipinnadas, de 8 a 20 cm de largo incluyendo el peciolo; hojas compuestas de 6 a 8 foliolos alternados, oblongo-lanceolados a lanceolados, con el margen entero, ápice acuminado, base redondeada y oscura en el haz, más pálido en el envés, glabros. Especie hermafrodita, las flores en racimos axilares de 10 a 20 cm de largo; flores blancas zigomórficas; cáliz de 6 a 8mm de largo, anchamente tubular o cupular; pétalos insertos cerca de la base del tubo del cáliz (Sanchun, 2017).

- *Nectandra purpura* (Ruiz & Pav.) Mez. (Calade): árbol de más de 25m de altura, fuste recto, hojas simples, alternas, algo lustrosas, en la ramita de esta especie se observa como si se conformara cuadrangularmente, flores con pétalos de color blanquecino agrupadas en racimos, paniculiformes, frutos, una drupa de color negro cuando madura y con una semilla ubicada internamente, Se desarrolla en bosques primarios, pero se lo encuentra también en bosque algo alterados, pero que sean húmedos, o en transición de húmedo a seco. Corteza de color café, suave que con facilidad de manera circular se desprende, fisuras algo alargadas y angosta. La madera se utiliza en construcción de viviendas, las semillas son alimento para la fauna silvestre.

## CONCLUSIONES

Esta investigación permitió conocer el interés que tienen los entrevistados de las 57 parroquias rurales de los siete cantones de la provincia de Esmeraldas, para plantar o recuperar el bosque utilizando especies que aprovechan cotidianamente. Las 16 especies forestales que manifestaron plantar son consideradas necesarias para la producción de madera, leña, carbón como alternativa fundamental de biocombustibles sólidos a partir de las cuales realizan las actividades del hogar y comercialización para su subsistencia. Aspecto que posibilitará la siembra y conservación de semillas a partir de fuentes semilleras garantizando el desarrollo de las actividades en las parroquias rurales.

## REFERENCIAS

- Campbe, B. M. (1987). The use of wild fruits in Zimbabwe. *Economic botany*, 41(3), 375-385.
- GADPE (2015). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la provincia de Esmeraldas 2015 – 2025.
- García, J. (2006). Especies Forestales Útiles del Bosque Petrificado de Puyango. H. *Mancomunidad del BPP. Loja*,
- INEC. (2010). Resultados del Censo de Población y Vivienda en el Ecuador.
- Jørgensen, P. M., Neill, D. A. y León-Yáñez, S. (1999). Catálogo de las Plantas Vasculares del Ecuador.
- Little, E y Dixon, G. (1983). Arboles comunes de la provincia de Esmeraldas. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).
- Sanchún, A. (2017). [http://www.especiesrestauracionuicn.org/data\\_especie\\_img.php?sp\\_name=Myroxylon%20balsamum](http://www.especiesrestauracionuicn.org/data_especie_img.php?sp_name=Myroxylon%20balsamum)
- Santos, R. P. (2021). Proyecto-Fuentes Semilleras Agroforestales para la Restauración y Conservación Genética.
- Sierra, R., Calva, O., & Guevara, A. (2021). La deforestación en el Ecuador, 1990-2018. Factores promotores y tendencias recientes. Ministerio de Ambiente y Agua del Ecuador, Ministerio de Agricultura del Ecuador, en el marco de la implementación del Programa Integral Amazónico de Conservación de Bosques y Producción Sostenible.
- Valladolid Ontaneda, J. S., León Mejía, Á. R., & Paredes Tomalá, D. (2017). Selección de árboles semilleros en plantaciones forestales de la península de Santa Elena. Ecuador.
- Valverde, F. D. M. (1998). Plantas útiles del litoral ecuatoriano. Ministerio de Medio Ambiente.
- Xavier Wilfrido, J. O. (2016). Dinámica de crecimiento de siete especies forestales de la quinta y sexta fase de la colección de los Ríos, Ecuador.

# TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN EN IMAGENOLOGÍA Y RADIOLOGÍA

## *Information and Communication Technologies in Imaging and Radiology*

Sabrina Rodríguez García

Universidad Metropolitana del Ecuador, Ecuador, [sabrina.rodriguez@umet.edu.ec](mailto:sabrina.rodriguez@umet.edu.ec)

### INTRODUCCIÓN

Las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) han cambiado la forma en que el mundo se comunica, interactúa y realiza negocios. Desde la aparición de la primera computadora hasta la actualidad, las TIC han evolucionado a pasos agigantados, revolucionando la forma en que se vive en la cotidianidad (Ayala, & Gonzales, 2015).

Las TIC se definen como un conjunto de herramientas, recursos y tecnologías que se utilizan para crear, capturar, almacenar, procesar, compartir, recibir y transmitir información digital de diversas formas (Luz, 2018). Algunas de las tecnologías más comunes incluyen la informática, las redes de comunicaciones, los sistemas de información geográfica, los sistemas de información empresarial, las tecnologías móviles, internet, los dispositivos móviles, las redes sociales, la inteligencia artificial y la realidad virtual (Laudon: Laudon & Ramos, 2012; Prendes & Cerdán, 2021). En conjunto, estas tecnologías permiten una mayor eficiencia y productividad en la gestión de la información y en la comunicación, así como una mayor accesibilidad a la información y los servicios. (Bernal & Rodríguez, 2019). El uso de las TIC permite la automatización de procesos y la optimización de la gestión de la información, lo que contribuye al desarrollo de la economía y al bienestar social (Rodríguez, 2004).

A partir de la década de 1960, se produjo un rápido avance en la tecnología de la informática, con la invención de los circuitos integrados, la creación del primer lenguaje de programación de alto nivel, FORTRAN, y el desarrollo del sistema operativo UNIX. Estos avances permitieron la creación de las primeras computadoras personales en la década de 1970, como el Apple I y el Altair 8800 (González, s.f.).

Según Pérez (2023), en la década de 1980, la popularización de las computadoras personales permitió la creación de software y aplicaciones para una amplia variedad de tareas, desde la edición de texto hasta el diseño gráfico y la gestión de bases de datos. Se produjo un avance significativo, con la creación de la red de comunicaciones por paquetes ARPANET, precursora del actual internet (Cañedo, 2004).

De acuerdo con la Oficina de Comunicación y Mercadeo (2016), en la década de 1990, la popularización de internet permitió el acceso a una amplia variedad de servicios y recursos en línea, como el correo electrónico, la búsqueda de información, la compra en línea y la comunicación en tiempo real. Se produjo un avance significativo en la tecnología de los dispositivos móviles, con la creación de los primeros teléfonos móviles y agendas electrónicas (Alonso, Artime, Rodríguez & Baniello, 2011).

Para Martínez, Marotias & Amado (2012), en la década de 2000, se produjo un aumento significativo en el uso de tecnologías de la comunicación, como las redes sociales y las aplicaciones de mensajería instantánea, el desarrollo de los dispositivos móviles, con la creación de los primeros smartphones, que permitieron la integración de múltiples funciones en un solo dispositivo (López & López, 2018).

En la actualidad, las TIC siguen evolucionando a pasos agigantados, con la creación de nuevas tecnologías como la inteligencia artificial, la realidad virtual y aumentada, la blockchain y la computación cuántica. Estas tecnologías tienen el potencial de transformar la forma la vida cotidiana y de generar nuevas oportunidades en el ámbito de los negocios y la economía (Suarez, 2019).

## II. DESARROLLO

### Áreas y campos de aplicación de las Tecnologías de la Información y la Comunicación

Además de las tecnologías que ya son ampliamente utilizadas, como la informática y las redes de comunicaciones, existen tecnologías emergentes que poseen el potencial de transformar aún más la forma en que se interactúa con el mundo. Algunas de estas tecnologías incluyen la inteligencia artificial, la realidad aumentada y la tecnología blockchain. (Pombo, Gupta & Stankovic, 2018).

Realidad aumentada (AR) y realidad virtual (VR): son tecnologías que posibilitan la interacción con entornos digitales simulados. AR permite la superposición de objetos virtuales sobre el mundo real, mientras que VR crea un mundo completamente nuevo. Ambas tecnologías tienen aplicaciones en áreas como la educación, el entretenimiento, la medicina y la publicidad (Mariscal, García, Urías, Duarte & Pérez, 2020).

Blockchain: esta tecnología es un sistema de registro digital que permite el almacenamiento y la transmisión segura de información en una red descentralizada. Es utilizada principalmente en transacciones financieras y de criptomonedas, pero también puede ser aplicada en otros campos como la gestión de identidad y la gestión de la cadena de suministro (Nofer, Gomber, Hinz, & Schiereck, 2017).

Nube: la computación en la nube es una tecnología de las TIC que ha crecido en popularidad en los últimos años. Posibilitando el acceso a datos y aplicaciones desde cualquier lugar y en cualquier momento, a través

de internet, sin la necesidad de almacenar los datos en dispositivos físicos. Esto ha permitido la creación de nuevos modelos de negocio, como los servicios de almacenamiento de archivos en línea y las soluciones de software como servicio (SaaS) (Naser & Concha, 2014).

Internet de las cosas (IoT): se refiere a la conexión de dispositivos y objetos cotidianos a internet, lo que permite recopilar y compartir datos. Tiene el potencial de revolucionar la forma en que se interactúa en los hogares, automóviles y ciudades (Salazar & Silvestre, 2016).

Ciberseguridad: se refiere a la protección de los sistemas y datos en línea contra ataques y amenazas. A medida que la tecnología evoluciona, la ciberseguridad se convierte en una preocupación cada vez más importante para individuos, empresas y organizaciones gubernamentales (Aguilar, 2011).

Tecnologías educativas: las TIC tienen un impacto significativo en el ámbito educativo, pueden incluir desde el uso de software educativo hasta la educación en línea y los entornos de aprendizaje virtual. Estas tecnologías permiten una mayor accesibilidad a la educación y una mayor flexibilidad en la forma en que los estudiantes aprenden (Sancho, 2001).

E-commerce: el comercio electrónico se refiere a la compra y venta de productos y servicios a través de internet. Esta forma de comercio ha experimentado un rápido crecimiento en los últimos años, y ha transformado la forma en que las empresas venden y los consumidores compran (Laudon & Traver, 2009).

Big data: se refiere al procesamiento y análisis de grandes conjuntos de datos para extraer información útil y patrones. Esta tecnología ha permitido a las empresas tomar decisiones informadas y mejorar la eficiencia en áreas como la logística, la atención al cliente y la publicidad (Mayer & Cukier, 2013).

Para Graells (2000), el desarrollo de las TIC en la sociedad abarca diversos aspectos de la vida cotidiana. Han mejorado la eficiencia de diversos procesos, lo que ha permitido la creación de nuevas empresas y el aumento del empleo. Las TIC han mejorado la calidad de vida de las personas al facilitar el acceso a servicios como la educación, la salud y el entretenimiento transformado la forma en que las personas se comunican, interactúan y colaboran.

Uribe (2008), señala que, en el ámbito de la educación, las TIC han revolucionado la forma en que se enseña y se aprende. El uso de tecnologías como la computadora, internet y las aplicaciones móviles ha permitido el acceso a una amplia gama de recursos educativos, tanto en línea como fuera de línea. Las TIC han facilitado la educación a distancia, permitiendo que las personas puedan estudiar desde cualquier parte del mundo, sin tener que desplazarse físicamente a un aula de clase.

Las TIC también tienen un impacto importante en la economía global. El uso de estas tecnologías ha impulsado el crecimiento y la innovación en diferentes sectores económicos, lo que ha llevado a una mayor eficiencia y productividad. Las TIC han dado lugar a la creación de nuevos modelos de negocio y han permitido la expansión de las empresas a nivel mundial. Tienen el potencial de reducir la brecha digital y mejorar la inclusión económica de los países en desarrollo (Codina & Vela, 2015).

Las TIC tienen numerosas ventajas en la vida diaria, tales como la reducción del tiempo y el costo de las comunicaciones, la automatización de tareas que antes eran manuales, la mejora de la precisión y la velocidad de los procesos, la facilitación del trabajo colaborativo, la democratización de la información y la creación de nuevas oportunidades de empleo y negocio (Castro, Guzmán & Casado, 2007).

Sin embargo, Morrissey, (2008), señala que, a pesar de los beneficios de las TIC, también existen desafíos y preocupaciones asociadas con su uso. Uno de los principales problemas es la brecha digital, que se refiere a la desigualdad en el acceso y uso de estas entre diferentes grupos de personas y regiones geográficas. La brecha digital puede agravar la desigualdad económica y social, ya que aquellos que no tienen acceso a las TIC pueden quedar rezagados en términos de educación, empleo y oportunidades económicas (Duarte, 2008).

Otro problema es la privacidad y la seguridad en línea. A medida que las TIC han evolucionado, también lo han hecho las amenazas a la seguridad en línea, como el robo de identidad, el fraude en línea y los ataques cibernéticos. Es importante que las empresas y las organizaciones tomen medidas para proteger la información confidencial de sus usuarios y clientes, y para evitar que sus sistemas sean vulnerados por hackers y cibercriminales (Remolina & Cortesi, 2018).

#### Impacto de las Tecnologías de la Información y la Comunicación en la salud

En el ámbito de la salud, las TIC han permitido la creación de nuevas soluciones y servicios que mejoran la atención médica (Ramos, 2007). La telemedicina permite la prestación de servicios médicos a distancia, lo que facilita el acceso a servicios de salud a personas que viven en áreas remotas o que tienen dificultades para desplazarse (Ibáñez, De Cadena, & Zea, 2007). Las TIC han permitido la creación de nuevas herramientas de diagnóstico y tratamiento, lo que ha mejorado la calidad de vida de las personas que padecen enfermedades crónicas o graves. Han tenido un gran impacto en el área de la salud en las últimas décadas, tanto en la atención médica como en la investigación médica (Vega, Mora, & Badilla, 2020).

Por su parte la puesta en práctica de los registros médicos electrónicos (RME) basados en sistemas de información que permiten el almacenamiento y gestión de datos médicos de pacientes de manera electrónica

han mejorado la eficiencia y precisión en el almacenamiento y acceso a datos médicos, lo que ha llevado a mejores diagnósticos y tratamientos (Dawidowski, Toselli, Roberto, Oberti, Soto, & González, 2007).

El desarrollo de la telemedicina se basa en la prestación de servicios de atención médica a través de tecnologías de comunicación y la información, como videollamadas o chats. Aspecto que ha posibilitado a los pacientes recibir atención médica en tiempo real, especialmente en áreas remotas o rurales donde la atención médica es limitada (Ibáñez, De Cadena & Zea, 2007).

Así los sistemas de información de gestión hospitalaria permiten la gestión de datos y procesos en hospitales y clínicas. Estos sistemas han mejorado la eficiencia en la administración de hospitales y la gestión de recursos (Fernández, 1995). Mientras que los dispositivos médicos conectados a la red, como monitores de frecuencia cardíaca y medidores de glucosa, han permitido la recopilación de datos en tiempo real de pacientes con afecciones médicas crónicas. Lo que posibilita un mejor seguimiento de la salud de los pacientes y una atención personalizada (Kaschel & Pérez, 2014).

Las aplicaciones móviles de salud se utilizan para ayudar a los pacientes a controlar su salud y bienestar. Las mismas pueden ayudar a los pacientes a realizar un seguimiento de su dieta y actividad física, controlar la presión arterial y la glucemia, y proporcionar recordatorios de medicamentos. Por otra parte, la informática biomédica analiza grandes cantidades de datos médicos y descubre patrones que pueden ayudar en la investigación médica (Alonso & Mirón, 2017).

### Tecnologías de la Información y la Comunicación en la Imagenología y Radiología

La imagenología y la radiología son ramas de la medicina que se encargan del diagnóstico y tratamiento de enfermedades utilizando imágenes médicas (Heurck, s.f.). Los avances en las TIC han mejorado significativamente la capacidad de la imagenología y la radiología para diagnosticar y tratar enfermedades, y han llevado al desarrollo de nuevas técnicas y herramientas para la atención médica (León & López, s.f.).

Los avances en la tecnología de la imagenología y la radiología han revolucionado el campo de la medicina, permitiendo una mejor comprensión del cuerpo humano y una mayor precisión en los diagnósticos y tratamientos. En particular, las TIC han desempeñado un papel crucial en el desarrollo de estos avances, lo que ha llevado a una mayor eficiencia y una mejora en la calidad de la atención médica (León, & López, s.f.).

El uso de las imágenes en medicina se remonta a la antigüedad, cuando los médicos usaban imágenes de la anatomía humana para enseñar a los estudiantes y describir enfermedades. Con el paso del tiempo, la

radiología se ha convertido en una especialidad médica compleja que utiliza una amplia gama de tecnologías para producir imágenes de alta calidad del interior del cuerpo humano (Heurck, s.f.).

La imagenología médica ha evolucionado a lo largo de los años, comenzando con técnicas de imagenología tradicionales como la radiografía, que ha sido utilizada desde principios del siglo XX (Sosa & Borjas, 2015). A medida que la tecnología ha avanzado, se han desarrollado técnicas de imagenología más sofisticadas como la tomografía computarizada (TC) y la resonancia magnética (RM), que proporcionan imágenes detalladas y precisas del cuerpo humano (Huérfano, Vera, Del Mar, Chacón, Vera, Bautista & Bravo, 2016). Los autores señalan además que la imagenología ha evolucionado para incluir técnicas de imagenología funcional, como la tomografía por emisión de positrones (PET) y la imagenología por resonancia magnética funcional (MRI). Estas técnicas permiten la visualización de la actividad en el cerebro y otros órganos, lo que puede ayudar en el diagnóstico de enfermedades y trastornos.

Para Canevaro (2009), las TIC han tenido un aporte considerable en la radiología intervencionista, rama de la radiología que utiliza técnicas de imagenología para guiar procedimientos terapéuticos mínimamente invasivos, donde se han desarrollado técnicas de imagenología que permiten guiar los procedimientos de manera más precisa y segura, han permitido el desarrollo de técnicas de imagenología en tiempo real, lo que ha mejorado significativamente la seguridad y eficacia de los procedimientos.

El aporte de la tecnología de la imagenología no se limita solo a la calidad de las imágenes, también han permitido mejorar la gestión y almacenamiento de las imágenes médicas. Anteriormente, las imágenes se almacenaban en películas y archivos físicos, lo que dificultaba el acceso y la transmisión de los datos. Con la llegada de las imágenes digitales, las imágenes médicas actualmente se pueden almacenar en servidores y bases de datos digitales, lo que facilita la recuperación y el intercambio de datos (Vega, López, Ramírez & Orellana, 2020).

La digitalización de las imágenes médicas ha sido uno de los avances más importantes en la imagenología y la radiología. Antes de la digitalización, las imágenes se obtenían en películas de rayos X o películas de RM, lo que dificultaba el acceso a las imágenes y la comparación entre diferentes estudios. Esta ha permitido un acceso más fácil y rápido a las imágenes, mayor resolución y claridad, lo que ha mejorado la eficiencia en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades (Calvet, s.f.).

La TC, la RM y el PET son dos tecnologías de imagenología que han sido mejoradas significativamente por la digitalización de las imágenes médicas. La TC utiliza rayos X y una computadora para producir imágenes de secciones del cuerpo. Este método de imagenología ha reformado significativamente la precisión y la eficiencia de los diagnósticos, ya que las imágenes resultantes son mucho más detalladas que las producidas

por la radiografía. Las TIC han permitido la creación de TC de dosis baja, que reducen el riesgo de exposición a la radiación (Durán, 2004).

La RM, utiliza ondas magnéticas y una computadora para producir imágenes detalladas de los tejidos blandos del cuerpo. Es especialmente útil para el diagnóstico de enfermedades neurológicas y musculoesqueléticas. La RM ha evolucionado con el tiempo, con nuevas técnicas que permiten imágenes en tiempo real y una mayor resolución. Mediante los avances de las TIC, se han desarrollado algoritmos de procesamiento de imágenes que permiten mejorar la calidad de las imágenes obtenidas con la RM (Durán, 2004).

La Tomografía por emisión de positrones (PET) es una técnica de imagenología que utiliza trazadores radiactivos para visualizar el funcionamiento de los órganos y tejidos del cuerpo humano, se emplea en la detección temprana del cáncer, la evaluación de enfermedades cardiovasculares y la evaluación de enfermedades neurológicas. La tecnología PET de última generación permite una mayor precisión y sensibilidad en la detección de enfermedades. Las TIC han permitido el desarrollo de nuevas técnicas de imagenología por PET que permiten obtener imágenes funcionales y moleculares del cuerpo humano (Durán, 2004).

La imagenología de alta resolución ha revolucionado la forma en que se interpretan las imágenes. La alta resolución de las imágenes es cuatro veces mayor que la resolución de las imágenes convencionales. Esto significa que los detalles más pequeños y precisos de la anatomía se pueden visualizar con mayor claridad. Esta se utiliza en la detección temprana del cáncer, la evaluación de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica y la evaluación de la enfermedad cardiovascular. La tecnología de imagenología de alta resolución se ha mejorado considerablemente debido las TIC. La capacidad de procesamiento de datos, la mejora de los algoritmos de procesamiento de imágenes y la capacidad de almacenamiento de datos han permitido la interpretación de imágenes de alta resolución con mayor precisión (Huérfano, Vera, Del Mar, Chacón, Vera, Bautista & Bravo, 2016).

Otro avance importante en la imagenología y la radiología ha sido la integración de la inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático (AA). La IA y el AA pueden procesar grandes cantidades de datos de imágenes médicas para ayudar en la interpretación y diagnóstico de enfermedades. Los algoritmos de aprendizaje automático, la IA puede ser entrenada para detectar patrones en las imágenes médicas que pueden indicar la presencia de una enfermedad o lesión, lo que puede ayudar a los médicos a identificar y tratar los problemas de manera más rápida y efectiva (del Barrio, Fernández, Bellón, Iglesias & González, 2022).

El AA también puede ser utilizado para mejorar la calidad de las imágenes médicas. Por ejemplo, el ruido en las imágenes de la TC y la RM puede reducir la calidad de la imagen y dificultar su interpretación. Sin embargo, el AA puede reducir el ruido en las imágenes para mejorar la calidad de la imagen y facilitar el diagnóstico (del Barrio, Fernández, Bellón, Iglesias & González, 2022).

La radioterapia guiada por imagen (IGRT) es una técnica de radioterapia que utiliza imágenes de alta resolución, TC o MRI, para guiar la administración precisa de radiación en el cuerpo del paciente. La TIC desempeña un papel fundamental en la IGRT, desde la adquisición y procesamiento de imágenes hasta el control de la máquina de radiación y el seguimiento del tratamiento. Aspecto que ha permitido un tratamiento más preciso y efectivo de los tumores, lo que ha mejorado las tasas de supervivencia de los pacientes (Romero, Villafranca, Rico, Manterola, Vila & Domínguez, 2009).

La imagenología 3D y 4D es otra área en la que las TIC han tenido un gran impacto. La imagenología 3D permite a los médicos visualizar la anatomía del cuerpo en tres dimensiones. La imagenología 4D, por otro lado, permite la visualización de la anatomía en tiempo real. La imagenología 3D y 4D se utiliza en la planificación de intervenciones quirúrgicas, la evaluación de la anatomía fetal y la evaluación de enfermedades cardiovasculares. Las TIC han mejorado notablemente la tecnología de imagenología 3D y 4D al permitir la visualización en tiempo real y el procesamiento de grandes cantidades de datos (Carbelo, Sosa & González, 2019).

### III. CONCLUSIONES

Las TIC constituyen una herramienta fundamental para promover la innovación y el crecimiento en diversas áreas. Constituyen una herramienta poderosa que puede transformar la forma en se vive y se trabaja, por lo que su potencial debe aprovecharse para crear un mundo más justo y sostenible.

Han permitido mejorar significativamente la atención médica, la informática biomédica y la calidad de vida de las personas a través de la telemedicina, registros médicos electrónicos y nuevas técnicas de imagenología y radiología. Estas tecnologías han mejorado la eficiencia y precisión en el almacenamiento y acceso a datos médicos, lo que ha llevado a desarrollar mejores diagnósticos y tratamientos. En el futuro, las TIC desempeñarán un importante papel en la mejora de la atención médica y la calidad de vida de las personas.

También han incidido grandemente en los avances obtenidos en la imagenología y la radiología permitiendo una mejor comprensión del cuerpo humano y una mayor precisión en los diagnósticos y tratamientos. Las técnicas de imagenología tradicionales se han desarrollado aún más, incluyendo técnicas de imagenología

funcional y técnicas de imagenología en tiempo real en la radiología intervencionista, lo cual ha revolucionado la manera en que se tratan ciertas enfermedades, con procedimientos mínimamente invasivos.

#### IV. REFERENCIAS

Aguilar, L. J. (2011). Introducción. Estado del arte de la ciberseguridad. Cuadernos de estrategia, (149), 11-46. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3837217.pdf>

Alonso, A. B., Artime, I. F., Rodríguez, M. Á., & Baniello, R. G. (2011). Dispositivos móviles. EPSIG Ing. Telecomunicación Universidad de Oviedo, 12.

Alonso-Arévalo, J., & Mirón-Canelo, J. A. (2017). Aplicaciones móviles en salud: potencial, normativa de seguridad y regulación. Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud, 28(3), 0-0.

Altés, J. (2013). Papel de las tecnologías de la información y la comunicación en la medicina actual. Seminarios de la Fundación Española de Reumatología, 14(2), 31-35. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1577356613000067>

Arbeláez Gómez, M. C. (2014). Las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) un instrumento para la investigación. Investigaciones Andina, 16(29), 997-1000.

Ayala, E., & Gonzales Sánchez, S. (2015). Tecnologías de la Información y la Comunicación.

Bernal-Jiménez, M. C., & Rodríguez-Ibarra, D. L. (2019). Las tecnologías de la información y comunicación como factor de innovación y competitividad empresarial. Scientia et technica, 24(1), 85-96. <https://www.redalyc.org/journal/849/84959429009/84959429009.pdf>

Cañedo Andalia, R. (2004). Aproximaciones para una historia de Internet. Acimed, 12(1), 0-0. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1024-94352004000100005](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-94352004000100005)

Canevaro, L. (2009). Aspectos físicos e técnicos da radiologia intervencionista. Revista Brasileira de Física Médica, 3(1), 101-115.

Carbelo, M. Á., Sosa, L. E., & González, C. R. (2019). Historia y desarrollo del ultrasonido en la Imagenología. Acta Médica del Centro, 13(4), 601-615. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=90162>

Castells, M. (2002). Tecnologías de la información y la comunicación y desarrollo global. <http://rabida.uhu.es/dspace/handle/10272/422>

Castro, S., Guzmán, B., & Casado, D. (2007). Las Tic en los procesos de enseñanza y aprendizaje. *Laurus*, 13(23), 213-234. <https://www.redalyc.org/pdf/761/76102311.pdf>

CEPAL, N. (2010). Salud y TIC. [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36894/newsletterelac12spa\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36894/newsletterelac12spa_es.pdf)

Cervera, M. G. (1999). Las Tecnologías de la Información y la Comunicación como favorecedoras de los procesos de autoaprendizaje y de formación permanente. *Educación*, 25, 53-60. <https://educar.uab.cat/article/view/v25-gisbert>

Codina, J. B., & Vela Quintero, J. H. (2015). Impacto de las TICs en la Gestión de Negocios Internacionales. *Revista Daena (International Journal Of Good Conscience)*, 10(3).

Dawidowski, A. R., Toselli, L., Roberto Luna, D., Oberti, P. F., Soto, M. A., & González Bernaldo de Quirós, F. (2007). Modificaciones en las perspectivas de los médicos sobre el registro médico electrónico: investigación cualitativa longitudinal. *Gaceta Sanitaria*, 21(5), 384-389.

del Barrio, A. P., Fernández-Miranda, P. M., Bellón, P. S., Iglesias, L. L., & González, D. R. (2022). Inteligencia artificial en Radiología: introducción a los conceptos más importantes. *Radiología*, 64(3), 228-236. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0033833822000972>

Duarte, E. S. (2008). Las tecnologías de información y comunicación (TIC) desde una perspectiva social. *Revista electrónica educare*, 12, 155-162. <https://www.redalyc.org/pdf/1941/194114584020.pdf>

Durán, B. B. (2004). Imagenología molecular. *Anales de Radiología*, 3(2), 63-64. <http://bernardo.boleaga.com/Imagenologia%20Molecular.pdf>

Fernández, R. S. (1995). Sistemas de información en la organización y gestión informatizada de un servicio hospitalario (Doctoral dissertation, Universidad Complutense de Madrid). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=10082>

González, A. C. (s.f.). Informática. Desarrollo científico del ordenador. <http://imagenes.mailxmail.com/cursos/pdf/5/informatica-desarrollo-cientifico-ordenador-25315-completo.pdf>

Graells, P. M. (2000). Las TIC y sus aportaciones a la sociedad. Departamento de pedagogía aplicada, facultad.

[https://www.academia.edu/download/35318330/LAS\\_TIC\\_Y\\_SUS\\_APORTACIONES\\_A\\_LA\\_SOCIEDAD.pdf](https://www.academia.edu/download/35318330/LAS_TIC_Y_SUS_APORTACIONES_A_LA_SOCIEDAD.pdf)

Grande, M., Cañón, R., & Cantón, I. (2016). Tecnologías de la información y la comunicación: evolución del concepto y características. *IJERI: International Journal of Educational Research and Innovation*, (6), 218-230. <https://www.upo.es/revistas/index.php/IJERI/article/view/1703>

Heurck, H. (s.f.). Conceptos Básicos. Enfermería Radiológica, 13. <http://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/1593/Libro%20Enfermeria%20Radiologica.pdf?sequence=1#page=13>

Huérffano, Y., Vera, M., Del Mar, A., Chacón, J., Vera, M., Bautista, N., & Bravo, A. (2016). Imagenología médica: Fundamentos y alcance. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, 35(3), 71-76.

Ibáñez, C. R., De Cadena, Á. Z., & Zea, A. T. (2007). Telemedicina: introducción, aplicación y principios de desarrollo. *Ces Medicina*, 21(1), 77-93.

Kaschel Cárcamo, H., & Pérez Bahamondes, J. (2014). Monitoreo ubicuo de salud en tiempo real con WBSN. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 22(2), 169-176.

Laudon, K. C., Laudon, J. P., & Ramos, A. N. (2012). *Sistemas de información gerencial* (Vol. 12, p. 68). Naucalpan de Juárez: Pearson Educación.

Laudon, K., & Traver, C. G. (2009). *E-commerce*. Pearson educación. [http://courseware.deadcodersociety.org/csis3241-e\\_commerce/ch1.pdf](http://courseware.deadcodersociety.org/csis3241-e_commerce/ch1.pdf)

León, N. G., & López, C. C. (s.f.). Incidencia y repercusión de la digitalización en un Servicio de Radiología en la calidad, formación y organización. [http://www.conganat.org/seis/is/is45/IS45\\_94.pdf](http://www.conganat.org/seis/is/is45/IS45_94.pdf)

López, E. V., & López, G. B. (2018). El avance en la tecnología móvil y su impacto en la sociedad. *Explorador Digital*, 2(4), 5-19. <https://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/exploradordigital/article/view/337>

Luz, C. G. M. (2018). *Educación y tecnología: estrategias didácticas para la integración de las TIC*. Editorial UNED.

Mariscal, G., García, E. J., Urias, M. D. V., Duarte, S. R., & Pérez, S. M. (2020). Virtual reality simulation-based learning. *Education in the knowledge society (EKS)*, (21), 11. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7403961>

Martín, A. M. (2007). *Tecnologías de la Información y la Comunicación*. Fundación Formación y Empleo Miguel Escalera. [http://www.iesaguadulce.es/gestiona/datos/programaciones/BACH\\_HUMA\\_1/TIYC\\_94802633/2016\\_17/programacion\\_843192.pdf](http://www.iesaguadulce.es/gestiona/datos/programaciones/BACH_HUMA_1/TIYC_94802633/2016_17/programacion_843192.pdf)

Martínez, S. L., Marotias, A., & Amado, S. (2012). Inclusión digital en la educación pública argentina. El Programa Conectar Igualdad. *Revista Educación y Pedagogía*, (62), 205-218. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/revistaeyp/article/view/14204/>

Mayer-Schönberger, V., & Cukier, K. (2013). *Big data: la revolución de los datos masivos*. Turner.

Morrissey, J. (2008). El uso de TIC en la enseñanza y el aprendizaje. Cuestiones y desafíos. [https://www.academia.edu/download/53183306/El\\_uso\\_de\\_las\\_TIC\\_en\\_la\\_ensenanza\\_y\\_el\\_aprendizaje.pdf](https://www.academia.edu/download/53183306/El_uso_de_las_TIC_en_la_ensenanza_y_el_aprendizaje.pdf)

Naser, A., & Concha, G. (2014). Rol de las TIC en la gestión pública y en la planificación para un desarrollo sostenible en América Latina y el Caribe. <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/35951>

Nofer, M., Gomber, P., Hinz, O., & Schiereck, D. (2017). Blockchain. *Business & Information Systems Engineering*, 59, 183-187. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12599-017-0467-3>

Oficina de Comunicación y Mercadeo, T. D. C. (2016). *Internet en todo momento y lugar*. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/6959>

Peña, B. E., & Sanz, I. A. (2002). El desarrollo de las tecnologías de la información y la comunicación: un nuevo reto para el mercado de trabajo. *Scripta Nova: revista electrónica de geografía y ciencias sociales*, (6), 74. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=631529>

Pérez-Montoro, M. (2023). Visualización de información y tecnología. Irrupción de la IA y avances en propuestas comerciales y de código. *Anuario ThinkEPI*, 17. <https://thinkepi.profesionaldelainformacion.com/index.php/ThinkEPI/article/view/91579>

Pico Melo, J. E. (2018). *Radiología convencional Tomo 1*. <https://digitk.areandina.edu.co/handle/areandina/3375>

Pombo, C., Gupta, R., & Stankovic, M. (2018). Servicios sociales para ciudadanos digitales: oportunidades para América Latina y el Caribe. Inter-American Development Bank.

Prendes Espinosa, M. P., & Cerdán Cartagena, F. (2021). Tecnologías avanzadas para afrontar el reto de la innovación educativa. RIED. Revista Iberoamericana de Educación a Distancia. <https://redined.educacion.gob.es/xmlui/handle/11162/231709>

Ramos, V. (2007). Las TIC en el sector de la salud. bit, 163, 41-45. [https://www.academia.edu/download/47324335/Las\\_TIC\\_en\\_el\\_sector\\_de\\_la\\_Salud.pdf](https://www.academia.edu/download/47324335/Las_TIC_en_el_sector_de_la_Salud.pdf)

Remolina, N., & Cortesi, S. (2018). Privacidad. Jóvenes, transformación digital y formas de inclusión en América Latina. <https://digital.fundacionceibal.edu.uy/jspui/handle/123456789/262>

Rodríguez, G. S. (2004). Gobierno electrónico: hacia la modernización y transferencia de la gestión pública. Revista de Derecho, (21). <https://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/derecho/article/view/2952>

Romero, P., Villafranca, E., Rico, M., Manterola, A., Vila, M. T., & Domínguez, M. A. (2009). Radioterapia guiada por imagen: Impacto clínico. In Anales del Sistema Sanitario de Navarra (Vol. 32, pp. 33-37).

Salazar, J., & Silvestre, S. (2016). Internet de las cosas. Techpedia. České vysoké učení technické v Praze Fakulta elektrotechnická. [https://psm.fe.i.stuba.sk/pages/95/LM08\\_F\\_ES.pdf](https://psm.fe.i.stuba.sk/pages/95/LM08_F_ES.pdf)

Sancho, J. M. (2001). Para una tecnología educativa. HORSORI. <https://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/174474>

Severin, E. (2014). Tecnologías de la Información y la Comunicación, TIC, para el aprendizaje. <http://repositorio.minedu.gob.pe/handle/20.500.12799/4916>

Sinisterra, O. O. L. Las TIC y su Impacto en la preservación ambiental. Los recursos de aprendizaje en la educación a distancia, 91. <https://virtualeduca.org/documentos/observatorio/2014/los-recursos-de-aprendizaje.pdf#page=91>

Sosa Rivera, A. M., & Borjas, L. (2015). Historia y evolución de la radiología en Centroamérica. Rev. fac. cienc. méd. (Impr.), 30-40.

Suarez Chirinos, G. (2019). La evolución de las TIC. <https://ade.edugem.gob.mx/handle/acervodigitaledu/52991>

Uribe, C. H. M. (2008). La educación a distancia: sus características y necesidad en la educación actual. *Educación*, 17(33). <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/educacion/article/view/1532>

Vega Izaguirre, L., López Cossio, F., Ramírez Pérez, J. F., & Orellana García, A. (2020). Impacto de las aplicaciones y servicios informáticos desarrollados por la Universidad de las Ciencias Informáticas para el sector de la salud. *Revista cubana de informática médica*, 12(1), 58-75.

Vega, M. Á., Mora, L. M. Q., & Badilla, M. V. C. (2020). Inteligencia artificial y aprendizaje automático en medicina. *Revista médica sinergia*, 5(8), e557-e557.

# **APLICACIÓN DE BASES TEÓRICAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DE FACTORES EN LA INVESTIGACIÓN DEL FRENADO PARA OBTENCIÓN DE MÉTODOS GRÁFICOS**

**Application of theoretical bases for the establishment of factors in the investigation of braking to obtain graphic methods**

**Diana Rosa González Castillo<sup>1</sup>, Carlos E. Alfaro Rodriguez <sup>2</sup>, Antonio H. Gonzalez Danger<sup>3</sup>, Juan A. Pajarin Rodriguez<sup>4</sup>, Luis Orlando Caballero Rivera<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Universidad de Oriente, Cuba

<sup>2</sup>Universidad de Oriente, Cuba, alfa@uo.edu.cu

<sup>3</sup>Universidad de Oriente, Cuba, tony@uo.edu.cu

<sup>4</sup>Universidad de Oriente, Cuba, pajarin@uo.edu.cu

<sup>5</sup>Universidad de Oriente, Cuba, lcaballero@uo.edu.cu

## **INTRODUCCIÓN**

El automóvil apareció a finales del Siglo XIX, hace más de un centenar de años, como una consecuencia inmediata y directa de la posibilidad de utilizar motores de combustión interna. El diseño de los automóviles evolucionó rápidamente desde los carros tirados por caballos, después de que durante miles de años el sistema de transporte terrestres evolucionara de forma mucho más lenta a partir de los primitivos carruajes y cuadrigas militares. En la época en la que el automóvil entra en escena, dichos carros ya disponían de sistemas de suspensión, muy necesaria por aquel entonces debido a las pésimas condiciones de los caminos y carreteras, pero existía un interés manifiesto por aumentar la confortabilidad de la marcha.

En el tránsito de vehículos es necesario considerar diversos aspectos relacionados con la seguridad, con la operación y el funcionamiento, así como la compatibilidad de las capacidades del vehículo con la infraestructura carretera. Por ello, una forma de armonizar estos aspectos es a través de la legislación del transporte (leyes, reglamentos y normas), cuyos argumentos deben ser sustentados técnicamente para garantizar el empleo adecuado de los vehículos de acuerdo a sus capacidades y las características del entorno.

La presente Ley de Transito se denomina Código de Seguridad Vial y tiene como objetivo regular integralmente la actividad vial y del tránsito, establecer sus principios básicos y definir en relación con esta materia las funciones de los ministros de Transporte y del Interior como sus organismos rectores. Algunas de estas son:

- Se prohíbe al conductor de un vehículo en marcha realizar su detención de manera rápida o violenta, excepto en caso de fuerza mayor y haciendo la señal adecuada. Se prohíbe establecer competencias de velocidad en la vía, excepto en los casos autorizados por el Ministerio del Interior.
- LANT recomienda mantener una distancia mínima de 3 metros entre vehículos en el mismo carril y una distancia lateral de 1.5 metros. Aunque esto puede variar según la velocidad a la que vaya manejando y las condiciones del clima. Recuerda siempre calcular tus maniobras para evitar accidentes.
- Igualmente, remarca que el recorrido hacia atrás, como maniobra complementaria de la parada, el estacionamiento o la incorporación a la circulación, no podrá ser superior a 15 metros ni invadir un cruce de vías.

El auto es un móvil que se desplaza bajo control del conductor. Es acelerado con la fuerza (torque) y potencia del motor y desacelerado con la resistencia del mismo, pero sobre todo con la aplicación de los frenos, el sistema primordial de seguridad. Un auto es una mole que pesa entre unos 800 y 2500 Kg. (según su tamaño y equipamiento) cuya inercia varía con la velocidad; para controlarla, disminuirla o anularla, se utilizan los frenos instalados en cada una de las cuatro ruedas.

Los frenos deben responder lo más exactamente posible a la solicitud del conductor. Deben ser al mismo tiempo sensibles y graduales para modular la velocidad, y asegurar la detección completa y la inmovilización total del vehículo.

Los frenos trabajan por rozamiento entre una parte móvil solidaria a las ruedas y otra parte fija solidaria a la estructura del auto. Al aplicarse los frenos, la parte fija se aprieta a la parte móvil y por fricción se consigue desacelerar el auto. Esta fricción emite calor y absorbe la energía de la inercia (a 120 Km/h un auto de 1.200 Kg aplica una potencia de frenado de más de 200 HP, lo que disipará calor hasta en una temperatura de 800°C). Para que los frenos sean más eficaces, las superficies en rozamiento deben asegurar un máximo contacto.

Los frenos están diseñados para desacelerar (retardar) y parar el vehículo, o para facilitar su aparcamiento en una cuesta. Constituyen, por tanto, un equipo extremadamente esencial en los automóviles para la seguridad de la conducción.

La solución del problema de la selección o construcción del sistema de frenos para los automóviles actuales, presenta cada vez mayor importancia. Una de las principales condiciones para que el automóvil pueda trabajar sin peligro, tanto en su movimiento en ciudad y como fuera de ella, es prácticamente de que el mismo este equipado con un eficiente sistema de frenos. Las exigencias para este sistema, tanto desde el punto de vista de su construcción, forma de investigación y efectividad, están analizadas y formuladas por diferentes comisiones internacionales que se dedican al estudio de los problemas de transporte.

Por lo que se define como objetivo General

Recopilar toda la información posible relacionada con los frenos y el proceso de frenado del automóvil.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Estudio de las ecuaciones para los frenos**

#### **Fuerzas de frenado en el sistema de frenos principal**

El sistema de frenos principal del vehículo es el encargado de bloquear el giro de los neumáticos de manera intermitente a través del sistema ABS para posteriormente debido a la adherencia entre rueda-piso el automóvil se detenga.

El circuito de frenos posee un sistema de mando cuyo fin es transmitir el esfuerzo desarrollado por el conductor, que puede ser producido enteramente por él, o bien con la ayuda de un sistema de asistencia.

El sistema principal de frenos es activado por un pedal situado en el interior del vehículo, por el conductor.

El esfuerzo ejercido sobre el pedal es transmitido a los elementos frenantes, zapata-tambor o pastilla-disco, a través de un circuito hidráulico, en la que se dispone de un cilindro maestro o bomba de frenos donde se genera la presión en el líquido, que es transmitida por las canalizaciones a los cilindros de rueda que accionan las zapatas o pastillas.

En la (figura 1) se puede observar la disposición de un circuito de frenos hidráulico principal constituido por una bomba y los correspondientes cilindros receptores, uno en cada rueda, interconectados entre sí por medio de canalizaciones.

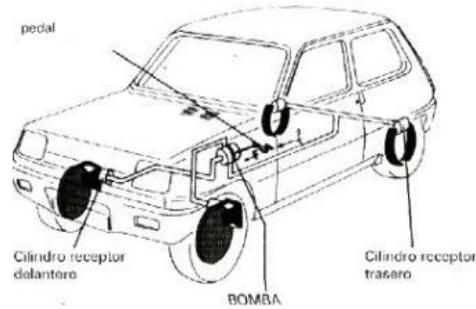


Fig.1. Circuito de frenos principal en el automóvil.

### **Características de un correcto frenado**

La fuerza de rozamiento entre los elementos frenantes debe ser tal, que detenga rápidamente la rueda, pero sin llegar a bloquearla, es decir, rodando y siendo contenida en su giro, lo que se logra empleando el Sistema Anti-Bloqueo de frenos ABS.

Como la fuerza de rozamiento entre neumáticos con el piso también es de frenado y está en función del peso del vehículo y del coeficiente de adherencia en los neumáticos, se pone de relieve la importancia que tiene el estado de los mismos, así como las condiciones del terreno en el momento del frenado.

Un neumático desgastado disminuye el coeficiente de adherencia y, por tanto, la eficiencia en los frenos. Lo mismo ocurre cuando el neumático pierde el contacto con la calzada por el estado del suelo debido a la lluvia, barro, nieve, etc.

Estas condiciones hacen disminuir la adherencia en las ruedas, que puede producirse el bloqueo de las mismas sobrellevando a que el vehículo patine y derrape. Por tanto, el proceso de movimiento del automóvil se compone de 3 fases: embalamiento, movimiento uniforme y deceleración. La duración de estas fases es distinta y depende del vehículo y de las condiciones de su explotación.

Mediante investigaciones se ha determinado que en el frenado del automóvil hasta la parada, los llamados “de urgencia” o “extraordinarios”, componen un 3-5% del número total de frenado, y un 95-97% componen los frenados “corrientes”, es decir, los frenados que disminuyen la velocidad no hasta cero, sino hasta velocidades más bajas de movimiento.

Si cesamos la entrega del momento motriz hacia las ruedas, el vehículo seguirá moviéndose cierto tiempo gracias a las fuerzas de inercia. La fórmula del balance de tracción para este caso, considerando carretera llana, tendrá la forma siguiente:

$$P_k = 0, \dots, P_w + P_f \pm P_j = 0$$

Aquí la fuerza motriz es la fuerza de inercia, y si es necesario parar el vehículo, hay que equilibrar esta fuerza. En el proceso de frenado el mecanismo de frenado transforma la energía cinética del vehículo en trabajo de fricción en el contacto deslizante, después en energía térmica que se dispersa irreversiblemente a la atmósfera.

El esfuerzo que el chofer aplica al pedal de freno se lleva a las tamboras de las ruedas en forma de **momento de frenado** ( $M_\tau$ ) lo que disminuye la velocidad angular de las tamboras. (figura 2)

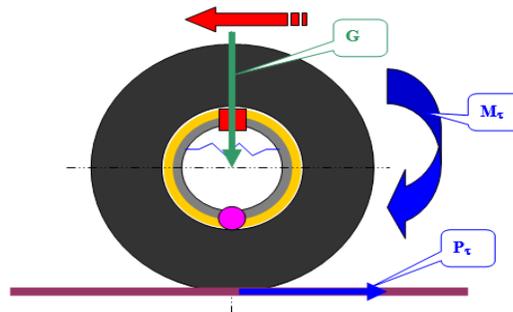


Figura 2 Diagrama de momentos y fuerzas de frenado

$$P_\tau = \frac{M_\tau}{r_k}$$

A esta reacción ( $P_\tau$ ) se le llama fuerza de frenado y respecto al automóvil es una fuerza externa.

La fuerza total de frenado es la suma de las fuerzas de frenado de todas las ruedas independientes. Pero el valor máximo de la fuerza de frenado sumada depende de las condiciones de adherencia con la superficie de apoyo.

$$P_{\tau_{m\acute{a}x.}} = \mu \cdot G$$

Las fuerzas de resistencia al rodamiento y al aire, también frenan al vehículo, por eso la ecuación del balance de tracción del vehículo frenado en camino horizontal, tiene la forma:

$$P_j = P_\tau + P_w + P_f$$

Si no tomamos en cuenta las fuerzas de resistencia al movimiento, la fuerza de inercia debe ser equilibrada completamente por la fuerza de frenado y si tiene su valor máximo, tendrá la forma:

$$\frac{\delta \cdot G}{g} \cdot \frac{dv}{dt} = \mu \cdot G$$

Donde:  $\delta$ - coeficiente de masas reducidas

De aquí la mayor deceleración posible será:

$$-\left(\frac{dv}{dt}\right)_{m\acute{a}x} = \frac{\mu \cdot g}{\delta}$$

Durante el frenado en las mejores condiciones, es decir, en un camino con máximo **coeficiente de adherencia  $\mu$**  (0.8) y con el motor desconectado, el valor máximo posible de la deceleración es:

$$-\left(\frac{dv}{dt}\right)_{m\acute{a}x} = j_{m\acute{a}x} = \frac{0.8 \cdot 9.81}{1.04} = 7.5 \dots m/seg^2$$

Cuando hemos examinado las reacciones de la superficie de apoyo sobre las ruedas del vehículo, se ha notado que durante el frenado ocurre una nueva distribución de las reacciones de ruedas del eje trasero hacia las ruedas delanteras. Para que el frenado tenga lugar con máxima intensidad es necesario que las fuerzas de frenado se distribuyan por las ruedas en proporción a sus reacciones normales, es decir, debe ser válida la relación:

$$\frac{P_{\tau 1}}{P_{\tau 2}} = \frac{\mu \cdot Z_1}{\mu \cdot Z_2} \Rightarrow \frac{P_{\tau 1}}{P_{\tau 2}} = \frac{Z_1}{Z_2}$$

Al componer las ecuaciones de los momentos respecto a los ejes verticales que pasan por los centros de las ruedas, recibiremos:

$$Z_1 \cdot L - P_j \cdot h_g - G \cdot b = 0 \Rightarrow Z_1 = \frac{G \cdot b + P_j \cdot h_g}{L}$$

$$Z_2 \cdot L + P_j \cdot h_g - G \cdot a = 0 \Rightarrow Z_2 = \frac{G \cdot a - P_j \cdot h_g}{L}$$

$$P_j \cong P_\tau = \mu \cdot G$$

$$\frac{P_{\tau 1}}{P_{\tau 2}} = \frac{G \cdot b + P_j \cdot h_g}{L} / \frac{G \cdot a - P_j \cdot h_g}{L} = \frac{G(b + \mu \cdot h_g)}{G(a - \mu \cdot h_g)} = \frac{b + \frac{j_{\tau m\acute{a}x} \cdot \delta \cdot h_g}{g}}{a - \frac{j_{\tau m\acute{a}x} \cdot \delta \cdot h_g}{g}}$$

Donde

L-distancia entre puentes (batalla)

a – Distancia del puente delantero al centro de gravedad.

b- Distancia del centro de gravedad al puente trasero.

hg -Altura desde el suelo hasta el centro de gravedad.

Hay que notar que los automóviles modernos tienen accesorios que dan la posibilidad de tener en cuenta la nueva distribución de reacciones.

Para alcanzar la mejor eficiencia de frenado es preciso que en todas las condiciones de camino y carga, las fuerzas de frenado siempre sean proporcionales a las reacciones normales.

Durante los frenados “corrientes”, que tienen una intensidad mucho menor que los “extraordinarios”, el tiempo de frenado es mayor. Por eso a diferencia de los últimos, llamados “de corta duración”, los frenados corrientes se llaman duradero.

El proceso de frenado duradero, usado con mayor frecuencia en los caminos montañosos, difiere de los de corta duración por la cantidad de calor desprendido. A pesar de la menor potencia de frenado, la cantidad de energía transformada en este caso alcanza magnitudes que provocan sobre el contacto deslizante del par de fricción del mecanismo de freno, transformaciones irreversibles.

### **Frenados de corta duración**

El frenado es el proceso inverso al embalamiento, por eso, examinándolo, hace falta estudiar la deceleración, tiempo y distancia del frenado con disminución de la velocidad en determinados límites.

Como es sabido el valor máximo de la deceleración es:

$$j_{\tau \text{ máx}} = -\left(\frac{dv}{dt}\right)_{\text{máx}} = \frac{\mu \cdot g}{\delta}$$

Si despejamos la derivada del tiempo, recibiremos:

$$dt = dv \cdot \frac{\delta}{\mu \cdot g} \Rightarrow t = \frac{\delta}{\mu \cdot g} \int_{V_2}^{V_1} dv \frac{\delta}{\mu \cdot g} (V_1 - V_2)_{\text{min}}$$

y si el frenado se realiza hasta la parada, es decir,  $V_2 = 0$ , entonces:

$$t = \frac{\delta}{\mu \cdot g_{1min}}$$

Pero el tiempo de frenado calculado por esta fórmula no da los resultados exactos, porque es solamente el tiempo durante el cual la fuerza de frenado actúa con su valor máximo. No toma en cuenta el tiempo de reacción del chofer, el tiempo de la puesta en marcha del mando de freno y tiempo de crecimiento de la curva de la fuerza de frenado.

### **Energía cinética y trabajo**

La energía cinética del vehículo que debe ser absorbida en el proceso de frenado es:

$$E = \frac{\delta \cdot G \cdot V^2}{2 \cdot g}$$

Esta energía se convierte en trabajo de las fuerzas de frenado:

$$E = P\tau_{máx} \cdot S\tau_{min}$$

donde  $S\tau_{min}$  = distancia de frenado con fuerza máxima de frenado.

Luego, igualando:

$$\frac{\delta \cdot G \cdot V^2}{2 \cdot g} = P\tau_{máx} \cdot S\tau_{min}$$

pero:  $P\tau_{máx} = \varphi \cdot G$ , luego sustituyendo:

$$\frac{\delta \cdot G \cdot V^2}{2 \cdot g} = \mu \cdot G \cdot S\tau_{min}$$

Despejando el recorrido mínimo:

$$S\tau_{min} = \frac{\delta \cdot V^2}{2 \cdot g \cdot \mu}$$

El frenado se realiza con el motor desconectado y tomando la velocidad en km/h.

$$St_{min} = \frac{\delta \cdot V^2}{254 \cdot \mu}$$

Si el frenado se realiza no hasta la parada completa, sino en los intervalos de disminución de velocidades, entonces:

$$St_{min} = \frac{\delta(V_1^2 - V_2^2)}{254 \cdot \mu}$$

y durante el frenado en la inclinación:

$$St_{min} = \frac{\delta(V_1^2 - V_2^2)}{254(\mu \cos \alpha \pm \operatorname{sen} \alpha)}$$

Si la inclinación es tan grande que el vehículo no se detiene con el frenado, entonces  $S\tau = \infty$  y esto tiene lugar cuando:

$$(\mu \cos \alpha \pm \operatorname{sen} \alpha) = 0 \text{ es decir } \operatorname{tg} \alpha = \varphi$$

Tales inclinaciones  $\operatorname{tg} \alpha \geq \varphi$  se llaman “perniciosas”.

### Tiempo de Frenado

Para el aprecio más exacto del tiempo y de la distancia de frenado examinemos el diagrama de frenado, representado a continuación: *El diagramas de frenado se construye en las coordenadas  $P\tau - t$  o  $V\tau - t$ .*

Después de dar la señal “frena” pasa cierto tiempo  $t_1$  hasta el momento en que el chofer reciba la señal y ponga el pie sobre el pedal del freno. Este tiempo se llama el tiempo de reacción del chofer y depende de las particularidades fisiológicas y el tiempo de reacción del chofer.

$$\Rightarrow t_1 = 0.7 \begin{matrix} +0.8 \text{ seg} \\ -0.4 \text{ seg} \end{matrix}$$

Después de pasar el tiempo de reacción del chofer hasta el comienzo del crecimiento de la curva de fuerza de frenado también pasa algún tramo de tiempo ( $\Delta t_1$ ), llamado el tiempo de retraso del mando de freno. La magnitud ( $\Delta t_1$ ) depende del tipo de mando de freno y varía en amplios límites. Para los vehículos con mando hidráulico y pequeña batalla (por ejemplo, los coches) ( $\Delta t_1$ ) = 0.04 seg, y para los vehículos con el mando neumático y larga batalla ( $\Delta t_1$ ) = 0.3 seg. Para el mando de freno eléctrico ( $\Delta t_1$ ) = 0.

Después de pasar el tiempo ( $\Delta t_1$ ) la fuerza de frenado empieza a crecer. El tiempo ( $t_2$ ) necesario para el crecimiento de la fuerza de frenado de 0 hasta su valor máximo, correspondiente al esfuerzo aplicado al pedal, se llama tiempo de crecimiento de la curva de la fuerza de frenado o tiempo de deceleración. El tiempo ( $t_2$ ) también depende del tipo de mando del freno y de la longitud de la batalla del vehículo. Este tiempo varía de 0.15 a 1.0 seg.

El tiempo de frenado con plena intensidad ( $t_3$ ) depende de la duración de la presión del pedal de freno por el chofer.

El tiempo de disminución de la fuerza de frenado ( $t_4$ ), así como ( $\Delta t_1$ ) y ( $t_2$ ) depende del tipo del mando y varía de 0.4 a 2-3 seg.

De esta forma, el total del tiempo de frenado:

$$\Rightarrow \sum t = t_1 + \Delta t_1 + t_2 + t_3 + t_4$$

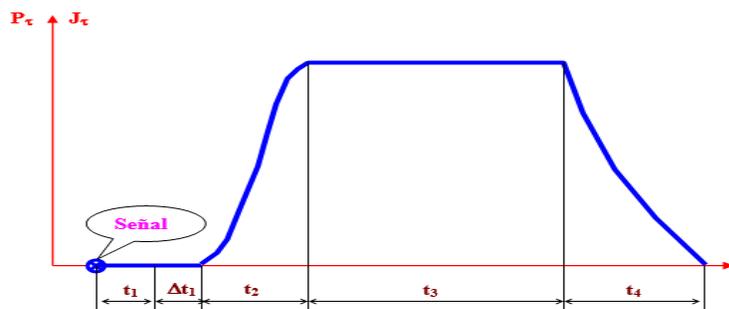


Figura 4 Grafico tiempo fuerza de frenado

El tiempo de frenado  $t_f$  es:  $t_f = \frac{v}{a}$

Obteniendo el tiempo de frenado en función del coeficiente de adherencia entre neumático con el piso  $\mu$  es:

$$t_f = \frac{v}{\mu * g}$$

En efecto de frenado hay que tener en cuenta que, desde que el conductor ve el obstáculo hasta que pisa el freno, transcurre un cierto tiempo, llamado **tiempo de reacción**  $t_r$  que, en condiciones normales de reflejos, suele ser de un segundo; luego el **tiempo de parada real**  $t_p$  en segundos de vehículo es:

$$t_p = t_f + t_r = \frac{v}{\mu * g} + 1$$

Es decir que, para que el vehículo se detenga es necesario que transcurra aproximadamente un segundo que tarda el conductor desde que ve el obstáculo hasta aplicar los frenos más el tiempo que se necesite para que el automóvil decelere por consecuencia de la adherencia neumático con el piso.

Las cualidades de frenado del vehículo durante el frenado de corta duración, tienen mucha importancia para asegurar el movimiento. Pero no menor importancia tienen también las cualidades de frenado del vehículo durante el régimen duradero de frenado.

### **Frenado duradero**

Los frenados de corta duración se caracterizan con pequeños tiempos de frenado y grandes valores de las deceleraciones que llegan a 4-7 m/s<sup>2</sup>. Los frenados duraderos se caracterizan con pequeños valores de las deceleraciones (0.5 a 2 m/s<sup>2</sup>) y con gran duración que a veces llega a decenas de minutos.

Los frenados duraderos con poca intensidad se utilizan más frecuente en carreteras montañosas. En el contacto deslizante de los pares frotantes del freno se genera energía térmica, lo que provoca a menudo en éste procesos irreversibles.

### **Determinación de velocidad de impacto**

En los estudios es importante conocer la velocidad de impacto V<sub>2</sub> durante el frenado para un recorrido S, los que da la medida del comportamiento del vehículo durante el frenaje,

$$V_2 = \sqrt{V_0^2 - 2 \cdot \frac{dV}{dt} \cdot S}$$

Otro cálculo importante es determinar la velocidad V tomando en cuenta el dato de proyección de la víctima durante un accidente la misma se plantea de la forma siguiente.

$$V = \left(1 + \frac{P_c}{P_v \cdot 0,75}\right) \cdot \sqrt{S_p \cdot g}$$

Donde

P<sub>c</sub>: Peso del cuerpo de la víctima.

Pc: Peso total del vehículo con sus ocupantes.

Sp: Espacio de proyección de la víctima

### Evaluación de los resultados

Para el estudio se toma como ejemplo el auto Hyundai Accent para los cual se se toman los datos necesarios para realizar los cálculos

Tabla1 Datos del automóvil Hyundai Accent

Marca	Modelo	Potencia maxima (kW)	Tipo de freno		Altura del suelo a la base del chasis (mm)
			trasero	delantero	
Hyundai	Accent	96	disco	tambora	150

#### Otros datos

Peso Vacio (N)	15700
Carga útil (N)	5200
Peso total (N)	20900
Peso Puente Delatero Gd (N)	8360
Peso puente trasero Gt(N)	12540
Relación (Gp/Gt)(Ψ)	1.5

Batalla (m)	3
via (m)	1.45
<b>Centro de gravedad</b>	
a(m)	1.2384
b(m)	1.3416
hgc (m)	0.34

Como el automóvil es de carretera no se considerarán otras condiciones de camino por los que en la tabla 2 se representan los valores de coeficiente de adherencia  $\mu$  a emplear.

Tabla 2 Coeficiente de adherencia

Tipo de Suelo	Estado	Neumáticos Nuevos	Neumáticos Usados
Hormigón	Seco	1	1
	Mojado	0.7	0.5
Asfalto grueso	Seco	1	1
	Mojado	0.7	0.5

Asfalto normal	Seco	0.6	0.6
	Mojado	0.5	0.3
	Barro	0.2	0.1
Asfalto compacto	Seco	0.6	0.6
	Mojado	0.65	0.3

### **Desaceleración que puede alcanzar el vehículo. máxima sin considerar las coordenadas de centro de gravedad**

En este epígrafe evaluaremos el comportamiento de desaceleración del vehículo para varios tipos de coeficiente de adherencia y estado de los neumáticos siempre considerando que el automóvil se mueve por carretera.

### Desaceleración máxima que puede alcanzar el vehículo. sin considerar las coordenadas de centro de gravedad

En el grafico 1 se pueden apreciar los valores de desaceleración máxima que puede alcanzar el automóvil en esta no hay influencia de la distribución del peso  $\Psi$  entre los puentes obteniéndose los mayores valores para el hormigón seco y el asfalto seco grueso.

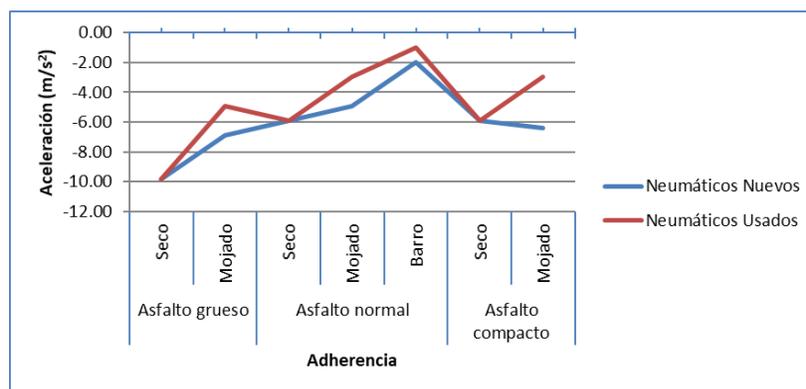


Gráfico 1 Desaceleración del automóvil en función de  $\mu$  y  $\delta$ .

### Desaceleración considerando las coordenadas de centro de gravedad

En el gráfico 2 se pueden apreciar los valores de desaceleración, pero con la influencia de la distribución del peso entre los puentes obteniéndose los mayores valores para las mismas condiciones que en el caso anterior para el hormigón seco y el asfalto seco grueso, sin embargo, para este caso la influencia de la distribución del peso entre los puentes reduce en un 38% de la desaceleración producto del reparto no uniforme de la fuerza de frenado.

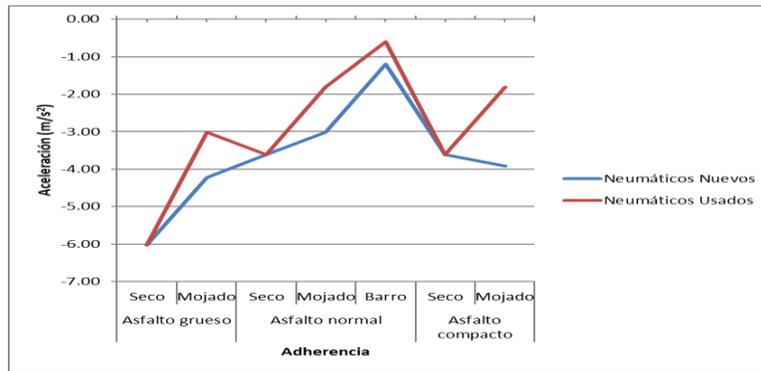
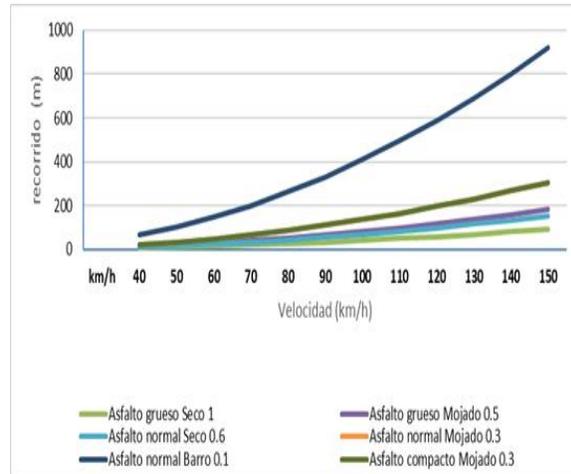
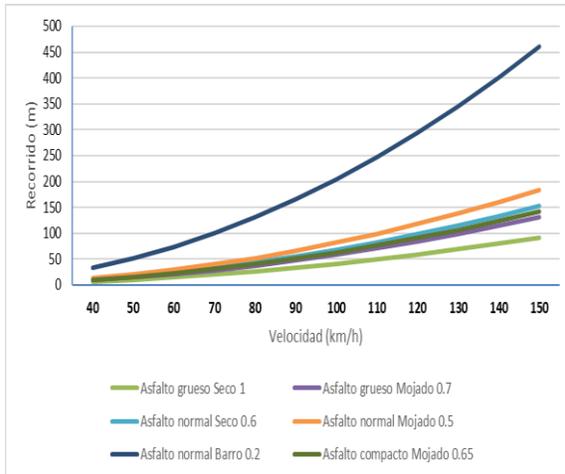


Gráfico 2 Desaceleración del automóvil en función de  $\mu$ ,  $\delta$ ,  $\Psi$  y las coordenadas del centro de gravedad.

### Recorrido mínimo durante el frenado

En los gráficos 3 se puede apreciar la cómo se comporta el recorrido mínimo para las distintas condiciones de camino y estado de los neumáticos donde se observa como la reducción del coeficiente de adherencia  $\mu$  y el estado de los neumáticos influye directamente en el espacio recorrido, así como el aumento de exponencial de la velocidad, obteniéndose los mayores valores para el asfalto mojado y lodoso.



a) Neumáticos nuevos

b) Neumáticos usados

Gráfico 3 Recorrido mínimo con neumáticos a) nuevos b) usados

## Tiempo de Frenado

En el gráfico 4 se puede apreciar el tiempo efectivo de frenado observándose como para los mayores valores de velocidad y menores valores de coeficiente de adherencia  $\mu$  se obtienen los mayores valores de tiempo fundamentalmente en los neumáticos usados, por lo que se ve la influencia de la calidad del neumático con el frenado.

Para tener un ejemplo gráfico en función del tipo de sistema freno que para el caso de estudio es hidráulico, el automóvil con un 100 % de la carga útil y asfalto grueso mojado  $\mu=0,7$ , pero no se considera que el mismo tenga sistema ABS

t1-tiempo de reacción del chofer

$\Delta t_1$ - tiempo de retraso del mando de freno

t2-tiempo de crecimiento de la curva de la fuerza de frenado

t3- El tiempo de frenado con plena intensidad

t4 -El tiempo de disminución de la fuerza de frenado

t1        0.8

$\Delta t1$     0.3

t2        1

t4        1

	<b>40km/h</b>	<b>80km/h</b>	<b>120km/h</b>	<b>PT</b>
t1	0.8	0.8	0.8	0
t1+ $\Delta t1$	1.1	1.1	1.1	0
t1+ $\Delta t1$ +t2	2.10	2.10	2.10	14630
t1+ $\Delta t1$ +t2+t3	3.78	5.46	7.14	14630
t1+ $\Delta t1$ +t2+t3	4.78	6.46	8.14	0

Como se observa en el gráfico 4 la relación directa del tiempo de frenado en función del del aumento de la velocidad.

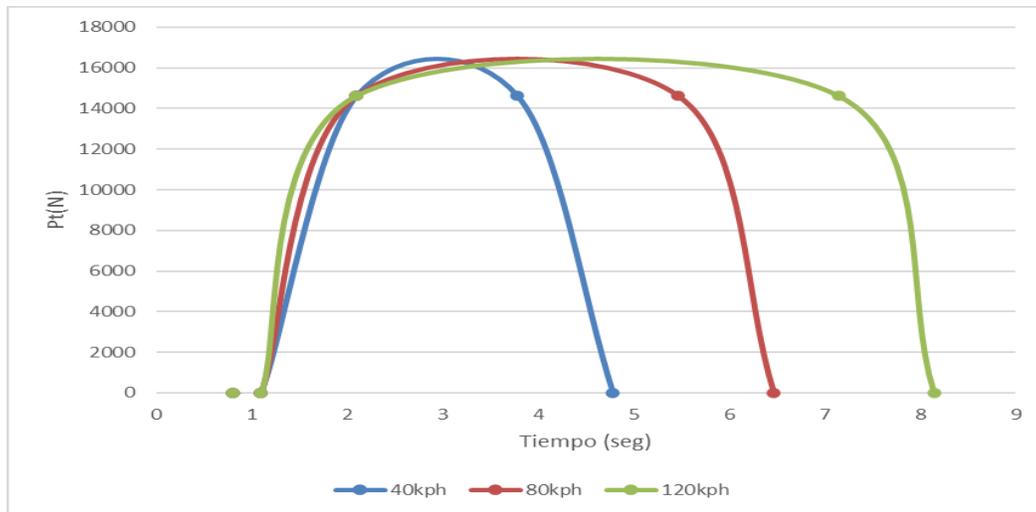


Gráfico 4 Comportamiento del tiempo de frenado para diferentes velocidades.

## Conclusiones

Durante el frenado las condiciones más críticas están influenciadas por tipo de camino con coeficientes de adherencias mas bajos, el estado de los neumáticos así como la velocidades de movimientos más altas que inciden directamente en el tiempo de frenado y el espacio recorrido.

## Referencias

Arce, H. (s.f). Consideraciones sobre la normativa de pesos y dimensiones para vehículos y transporte de carga en Costa Rica. [http://www.mopt.go.cr/planificacion/centrotransferencia/RTM\\_06/Pesos%20y%20Dimensiones.pdf](http://www.mopt.go.cr/planificacion/centrotransferencia/RTM_06/Pesos%20y%20Dimensiones.pdf)

Bendix Spicer Foundation Brake LLC. (2012). The federal stopping distance mandate: Impact and solutions. [http://www.foundationbrakes.com/media/documents/The\\_Federal\\_Reduced\\_Stopping\\_Distance\\_Mandate\\_Impact\\_and\\_Solutions\\_March2012.pdf](http://www.foundationbrakes.com/media/documents/The_Federal_Reduced_Stopping_Distance_Mandate_Impact_and_Solutions_March2012.pdf)

Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos. (2011). Reglamento técnico para la realización de estudios de conversión y/o modificación de los vehículos de carga. San José, Costa Rica.

Department of Transportation. (s.f). How to drive a roundabout. Estado de Washington: Estados Unidos de América. <http://www.wsdot.wa.gov/safety/roundabouts/>

Fancher, P y Mathew, A. (1987). A vehicle dynamics handbook for single-unit and articulated heavy trucks. Michigan: The University of Michigan Transportation Research Institute.

Fancher, P., Ervin, R., Winkler, C. y Gillespie, T. (1986). A factbook of the mechanical properties of the components for single-unit and articulated heavy vehicles. Michigan: The University of Michigan Transportation Research Institute.

Imine, H. y Dolcemascolo, V. (2007). Rollover risk prediction of heavy vehicles using sliding mode observer. International Journal of Heavy Vehicles Systems, 14(3), 294-307.

Kamnik, R., Boettiger, F. y Hunt, K. (2003). Roll dynamics and lateral load transfer estimation in articulated freight vehicles. Journal of Automobile Engineering, 217(D). 985-997.

Manitoba Public insurance. (s.f.). Air Brake Manual. <http://www.mpi.mb.ca/PDFs/AirBrakeManual/AirBrakeManualComp.pdf>

Mark, A. y Marek, P. (2010). Roadway Design Manual. [http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/rdw/minimum\\_designs\\_truck\\_bus\\_turns.htm](http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/rdw/minimum_designs_truck_bus_turns.htm)

MOPT. (2003). Reglamento de circulación por carretera con base en el peso y las dimensiones de los vehículos de carga pesada. La Gaceta. N° 182 del 23/09/2003.

MSHA. (1999). Haul Road Inspection Handbook. Estados Unidos de América. U.S Department of Labor.

Sampson, D. (2000). Active roll control of articulated heavy vehicles. [Tesis de Doctorado, Universidad de Cambridge]. <http://www.sampson.id.au/david/work/phd.pdf>

Transportation Research Institute. (1997). Stopping sight distance and decision sight distance. Oregon State University.

# CAMBIO DE BASE ENERGÉTICA DE LA ESCUELA LATINOAMERICANA DE CIENCIAS MÉDICAS

*Change of energy base of the Latin American School of Medical Sciences*

Mirvia Espino Suárez<sup>1</sup>, Luxardo Bravo Dupuy<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Escuela Latinoamericana de Ciencias Médicas, Cuba, mirviaes@gmail.com, 000-0001-5513-7555

<sup>2</sup>Escuela Latinoamericana de Ciencias Médicas, Cuba, luxardobravod@gmail.com, 0000-0002-5062-8539

## INTRODUCCIÓN

El uso de energía como capacidad **para obrar, surgir, transformar o poner en movimiento equipos, medios u otras formas de tecnología** («Real Academia Española», 2022), ha acompañado al ser humano desde su propio origen como especie. Su uso se inicia con el dominio del fuego, pero no fue hasta que la humanidad descubrió la manera de aprovechar los combustibles fósiles: carbón, petróleo, gas, (National Geographic, 2020) entre otros, que su empleo dio un vuelco extraordinario, convirtiéndose en necesidad vital para el logro del desarrollo económico de cualquier país.

Es indiscutible que la vida moderna está sustentada en la disponibilidad de abundante energía. Su consumo ha ido creciendo de forma exponencial, paralelo a los cambios de hábitos de vida y formas de organización social. Las sociedades industrializadas actuales demandan y utilizan cantidades ingentes de energía destinadas a hacer funcionar las máquinas, transportar mercancías y personas, producir luz, calor o refrigeración (Energía y Desarrollo sostenible usos y necesidades, 2022). Sus múltiples formas de empleo y los resultados que de ello se derivan constituyen la base de la dependencia que hoy se tiene de los combustibles fósiles.

A los efectos del desarrollo socioeconómico global que la energía posee, su empleo a futuro se ve limitado por el hecho de que los combustibles fósiles constituyen minerales no renovables que debido a su insostenible forma de explotación se encuentran hoy en riesgo de subsistencia. Esta realidad unida a su desigual distribución en el planeta y el incremento de los precios asociados a los numerosos conflictos que enfrenta la humanidad (Bermúdez, 2021), ha llevado a la comunidad científica a buscar formas alternativas de generación energética para sostener el desarrollo alcanzado.

En el caso de Cuba esta realidad se hace mucho más perentoria si se tiene en cuenta la poca disponibilidad que la nación tiene de estos recursos minerales y el alto costo que se debe enfrentar en el mercado internacional, que limita sus posibilidades adquisitivas y pone en riesgo los logros alcanzados en materia de desarrollo humano y económico. Dicha situación y la necesidad de buscar alternativas de desarrollo

sostenible que permitan al país cumplir con sus compromisos internacionales para el enfrentamiento del cambio climático, conduce a su actual dirección, en la figura de su presidente el Dr. C. Miguel Díaz Canel, a la búsqueda e implementación de procesos investigativos que propicien la identificación, a nivel comunitario, de aquellas áreas o potencialidades económicas que favorecen el desarrollo económico sostenible y la solución de las problemáticas presentes, con inversión mínima de recursos y, a partir de la autogestión de nuestras riquezas desde la máxima ecológica que sugiere pensar globalmente para actuar localmente (Barash & Webel, 2022). La idea es volver la mirada hacia el interior, hacia aquello que tenemos y que no explotamos de manera idónea, involucrando en la tarea a todos los actores sociales y económicos del país.

Dadas las características naturales del país, cuya posición geográfica de Cuba en la zona tropical, con incidencia sobre su territorio de los rayos solares casi perpendicularmente durante todo el año, le otorga grandes potencialidades para la generación de energía solar térmica y fotovoltaica, a partir de la explotación de la radiación electromagnética proveniente del Sol. Esta es una realidad conocida desde siempre y en la que se han invertido gran cantidad de recursos económicos y científicos, especialmente desde mediados del siglo XX. La utilización de esta fuente de energía requiere de una inversión inicial que resulta costosa pero que, dados la elevada generación a la que conduce y la limpieza de las operaciones que para ello deben efectuarse, le otorga grandes posibilidades de utilización, especialmente en comunidades pequeñas. En tal sentido, el presente trabajo se encamina a argumentar las potencialidades que la sustitución de la base energética empleada en la Escuela Latinoamericana de Ciencias Médicas, tiene desde el punto de vista ambiental, económico y de calidad de vida de su población residente.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación partió de un estudio exploratorio-descriptivo relacionado con las condiciones y suministros de las fuentes de energía tradicionales de la cual se sirve la institución, tomando como indicadores: estado de las instalaciones, demanda de energía de la Escuela Latinoamericana de Ciencias Médicas, suministro de energía por parte de la empresa eléctrica, gastos anuales y estado de satisfacción de los clientes. Se exploró, además, las condiciones naturales existentes y sus potencialidades para ser utilizadas en función de la generación de energía limpia. Se identificaron para ello los indicadores siguientes: situación geográfica y potencialidades de generación de los recursos naturales.

Una vez culminada la etapa inicial e identificada la energía solar fotovoltaica como la más adecuada para sustituir el consumo de combustibles fósiles, se procedió a identificar las áreas con mejores condiciones para la instalación de las tecnologías necesarias. Para ello se empleó como métodos: el trabajo de campo que tuvo como procedimiento de apoyo el uso del Sistema de Información Geográfica (SIG) mediante las plataformas

Google Map y Bing Map, estas permitieron la determinación de las áreas posibles para el emplazamiento experimental a simular, así como la determinación del área total que posee la universidad para la ubicación de instalaciones futuras.

Por otra parte, se utilizó el software de simulación de instalaciones fotovoltaicas "HelioScope", este permitió el diseño, posicionamiento y cálculo de la instalación a simular, el cual toma en cuenta para dicha simulación múltiples aspectos como:

- Sistema de coordenadas geográficas para el geoposicionamiento del área donde se diseñará la futura instalación fotovoltaica mediante el uso de herramientas del Sistema de Información Geográfica (SIG) y el Sistema de Posicionamiento Global (GPS).
- Las dimensiones de la instalación a simular, si será una instalación doméstica o comercial teniendo en cuenta el número de personas que se servirán de la energía producida.
- Condiciones meteorológicas registradas en un cuadrante de 10km alrededor de la instalación a simular durante un año.

Paralelamente se trabajó con el método de análisis documental a partir de la utilización de diversas fuentes bibliográficas que permitieron la construcción del marco teórico acerca de la evolución, uso y posible introducción de las tecnologías referentes a la energía solar térmica y fotovoltaica. En este apartado, se incluye también la valoración de los informes de gastos relacionados al consumo eléctrico en kW/h y en pesos provenientes en los que incurrió la institución en el periodo comprendido entre 2018-2021, así como, el Anteproyecto del presupuesto para los años fiscales 2020, 2021 y 2022.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Escuela Latinoamericana de Ciencias Médicas (ELAM), es una institución presupuestada y adscripta al Ministerio de Salud Pública (MISAP) de la República de Cuba desde diciembre del 1998. Este centro tiene como misión la formación de médicos generales para todas las regiones del mundo. En su decursar ha graduado a 30 361 estudiantes provenientes de 125 nacionalidades por concepto de beca, lo que ha devenido en un conjunto de gastos de índole económico al país y a la dependencia, para el funcionamiento de la misma, del presupuesto del Estado.

Entre los años 2018-2021 (Tabla 1) el presupuesto asignado a la institución se caracterizó por sus elevados índices monetarios, en función de la matrícula presente en la ELAM, lo que supuso un alto gasto en alimentación, materiales y artículos de consumo, así como, portadores energéticos, entre otros. Entre los gastos corrientes del presupuesto más significativos están los relacionados con el consumo de portadores energéticos, especialmente en el consumo eléctrico y el diésel.

Tabla 1. Monto total del presupuesto asignado a la ELAM en el periodo 2018 2021 en millones de pesos (Mp)

<b>Año</b>	<b>Presupuesto</b>
<b>2021</b>	23 360 748.05 Mp
<b>2020</b>	32,595,760.00 Mp
<b>2019</b>	34 987 200. 00 Mp
<b>2018</b>	39,019,000 .00 Mp

Fuente: Departamento de Economía y Contabilidad de la Escuela Latinoamericana de Ciencias Médicas.

Al respecto, se hace necesario referir que la ELAM, está subdividida en varias áreas (Figura 1): transporte, servicios generales (economía, recursos humanos, lavandería, carpintería, imprenta, almacenes y comedores), área docente de Premédico, área docente de Ciencias Básicas Biomédicas, teatro, hospital, morgue, residencia estudiantil y extensión universitaria. Se incluyen además todos los servicios no académicos que brinda la institución como: tiendas, cafeterías, bancos, ETECSA, peluquería, zapatería, entre otros. Todas ellas incurren en gastos energéticos significativos debido a la gran demanda de servicios que poseen.

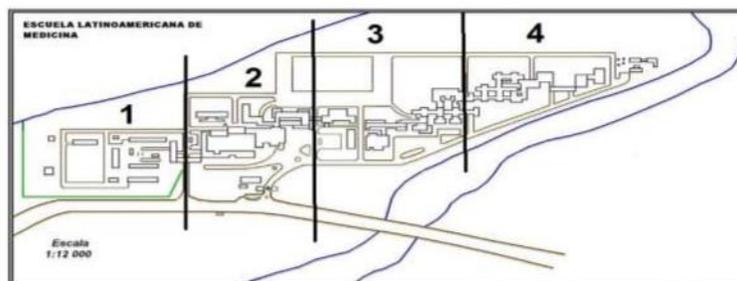


Figura 1. Croquis de la Escuela Latinoamericana de Medicina

Otro rasgo distintivo de la ELAM es que, a pesar de su gran extensión territorial, todo el consumo eléctrico es medido por único metrocontador, lo que impide el control real del consumo eléctrico y su desglose por áreas, llevando a la emisión de un dato global (Tabla 2) y a no poder identificar los máximos consumidores.

Tabla 2. Consumo eléctrico en Kw/h de la Escuela Latinoamericana de Medicina entre los años 2017 – 2021

<b>Año</b>	<b>Consumo eléctrico</b>
<b>2021</b>	1 773 935 kw/h
<b>2020</b>	2 012 108 kw/h
<b>2019</b>	3 231 739 kw/h
<b>2018</b>	2 367 494 kw/h
<b>2017</b>	2 864 957 kw/h
<b>Total</b>	12 250 233 kw/h

Fuente: Departamento de Estadística de la Escuela Latinoamericana de Ciencias Médicas.

En tal sentido, el consumo es muy elevado, existiendo picos que se corresponde con el año 2019 debido a la permanencia en la institución del total de la matrícula dado el confinamiento derivado de la pandemia y con los meses lectivos de la institución en que se eleva la demanda por uso de los laboratorios y horas de estudio de los alumnos. A este incremento se debe agregar la no adecuada educación energética expresada en el uso inadecuado de los dispositivos eléctricos: equipos de clima, luminarias, equipos electrónicos, entre otros, todo lo cual se refleja en el incremento de los gastos.

Ante esta realidad, la institución ha tomado varias medidas, entre las que se encuentran: apagar los equipos de clima durante un horario determinado, hacer un uso más racional de las instalaciones que implica disminuir horarios de servicio o apagar la residencia en horario docente. En este último caso, su efecto se

vuelve contraproducente en tanto, a la salida de clase, los estudiantes elevan el consumo de forma exponencial pues realizar al unísono todas las actividades sobrecargando las líneas y exponiéndolas a incendios dado la alta demanda energética y el deterioro de las redes de distribución eléctricas.

Esta realidad, unida a la identificación de potencialidades desde el punto de vista natural de la institución como su localización entre los 74 y 84 grados de longitud oeste y los 19 y 23 grados de latitud norte, que la sitúa en la zona tropical del planeta garantizando así, recibir entre 3.59 y 5.96 kw/m<sup>2</sup>/día de radiación solar directa normal anual (Figura 2), que equivale a 50 millones de toneladas de petróleo cada día, con un valor energético mayor que el generado con uso de petróleo durante cinco años, ya que recibe 1800 veces más energía solar que la generada por dicho combustible fósil (Labrador Herrera, 2018), conduce a los investigadores a proponer a la alta dirección de la institución la sustitución de la matriz energética utilizada, por la energía solar térmica y fotovoltaica a partir del establecimiento de vínculos u acuerdos con entidades ejecutoras y financiadoras externas.



Figura 2. Mapa del recurso solar. Radiación directa normal. Cuba. Fuente: World Bank Group

Al efecto se propone la proyección de un macroproyecto que pueda ser capaz de independizar energéticamente la Universidad y contribuir con la potencia generada al Sistema Electroenergético Nacional (SEN), mediante la utilización de Fuentes Renovables de Energía (FRE), en este caso energía solar térmica y fotovoltaica. Este macroproyecto va orientado en cuatro direcciones.

1. Lograr la independencia energética de áreas vitales de la universidad tales como: hospital, área de rectoría, biblioteca, servidores, laboratorios de computación y servicio de telefonía celular, así como el pozo de abasto de agua, mediante la instalación de sistemas fotovoltaicos autónomos no conectados a la red.
2. Disminución del consumo de diésel en el área de calderas y lavandería mediante la instalación de sistemas de calentamiento de agua.

3. Rediseño del sistema de luminarias exteriores mediante el uso de estos dispositivos con sistemas fotovoltaicos autónomos no conectados a la red.
4. Lograr la independencia energética de áreas no esenciales de la universidad mediante la instalación de sistemas fotovoltaicos conectados a la red, con un consiguiente aporte de energía al SEN.

La investigación teórica realizada, unido al trabajo de campo permitió la obtención de información valiosa para la conformación de la primera etapa del proyecto y de la ejecución del estudio de factibilidad que sirvió de base para la identificación de las potencialidades de la institución relacionadas con la introducción y aplicación de estas tecnologías, las cuales impactarán en la calidad de vida de la comunidad residente en la ELAM. Por otro lado, tributará a la redistribución de los recursos financieros asignados a la misma.

El análisis del uso de la energía fósil y sus gastos asociados, permitió distinguir los altos precios que se debe pagar por su funcionamiento dentro de los que pudiéramos citar: alta inversión inicial, transporte, almacenamiento, pérdidas en generación, pérdidas en transmisión-distribución, operación y mantenimiento, accidentes, inversiones por modernización, paros y gastos por roturas y reparaciones, salarios, asesorías, contaminación y daños al medio ambiente, entre otros (Stolik Novygrad, 2014).

Se une al análisis anterior, el precio actual del petróleo en el mercado internacional. Datos de mayo de 2022 estimaban un valor alrededor de 113.77 USD/barril (Nagle & Temaj, 2021). Este elevado precio le confiere grandes oportunidades al uso de las FRE como la mejor alternativa para afrontar la actual crisis económica y energéticas, pues su precio esta como promedio a nivel mundial en unos 0.6 centavos por kW/h USD contra los 0.25 centavos por kW/h USD de la energía fósil producida en Cuba. Esto supone una diferencia significativa de 0.18 centavos por kW/h USD con respecto a la producción de energía de manera convencional.

A modo de aproximación se decidió por los investigadores escoger un área de la ELAM para ejemplificar cuan ventajoso sería la elección de la energía solar fotovoltaica, tomando como ejemplo el hospital de la institución, el cual constituye un área vital que debe prestar servicios durante todo el año y en cualquier tipo de circunstancias (Tabla 3).

Tabla 3. Desglose de gasto energético del Hospital de la Escuela Latinoamericana de Ciencias Médicas.

<b>Equipos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Consumo en watts</b>	<b>Consumo en W/p</b>
<b>Luminarias</b>	183	20 W	3 660 W/p

---

<b>Computadoras</b>	3	300 W	900 W/p
<b>Refrigeradores</b>	8	500 W	4 000 W/p
<b>Neveras</b>	3	1 200 W	3 600 W/p
<b>Equipos de clima</b>	8	1 400 W	11 200 W/p
<b>Televisores</b>	8	160 W	1 280 W/p
<b>Centrífuga</b>	1	600 W	600 W/p
<b>Estufa</b>	1	450 W	450 W/p
<b>Autoclave</b>	1	2 000 W	2 000 W/p
<b>Microscopio</b>	4	3.6 W	14.4 W/p
<b>Analizador de orina</b>	1	45 W	45 W/p
<b>Analizador de sangre</b>	1	88 W	88 W/p
<b>Rayos x</b>	1	1 300 W	1 300 W/p
<b>Ultrasonido</b>	1	480 W	480 W/p

---

---

<b>Total</b>	224	8,546.6 W	29,617.4 W/p
--------------	-----	-----------	--------------

---

Luego de obtener los gastos aproximados de consumo, tener en cuenta todos los condicionantes necesarios para la instalación del sistema fotovoltaico y la realización de todos los cálculos de aproximación correspondientes, así como la puesta en marcha de la simulación del emplazamiento fotovoltaico mediante el software "HelioScope" podremos llegar a las siguientes conclusiones:

1. El emplazamiento fotovoltaico será instalado sobre una superficie horizontal de un total de 1061,07 m<sup>2</sup> con una inclinación de 10° y los módulos tendrán un azimut de 180° (Figura 3).
2. El emplazamiento contará con un total de 158 módulos fotovoltaicos: 59 módulos en el primer segmento (421,40 m<sup>2</sup>) aportando unos 26,3 kilowatts y 99 módulos en el segundo segmento (639.67 m<sup>2</sup>) con un aporte de 44,1 kilowatts para un total de 70,4 kilowatts.



Figura 3. Emplazamiento fotovoltaico "Hospital Escuela Latinoamericana de Ciencias Médicas"

Fuente: Simulador HelioScope <https://www.helioscope.com>

3. El emplazamiento además necesitara 3 inversores de una potencia de 72,2 kilowatts y 3881,5 m de cableado fotovoltaico de cobre (Figura 4).



Figura 4. Inversores y cableado del emplazamiento "Hospital Escuela Latinoamericana de Ciencias Médicas".

Fuente: Simulador HelioScope <https://www.helioscope.com>

4. Será capaz de producir unos 112,5 MWh al año, con unos 1 600 ,3 kWh/kWp diariamente.
5. El emplazamiento fotovoltaico podrá contar con unos 1851,2 kWh/m<sup>2</sup> de radiación horizontal global anual, donde su promedio de temperatura ambiente para el funcionamiento será de 26,2°C y una temperatura de la celda en operación de 35,8°C.
6. El mayor acceso al recurso solar por parte del emplazamiento estará entre los meses de marzo a agosto donde su producción sobrepasará los 10 kWh.
7. El espaciado entre las hileras de los módulos será de 0.60 m permitiendo así las labores de mantenimiento, montaje de la instalación y evitaría además las pérdidas por concepto de sombreado.
8. El índice de sombreado del emplazamiento es ínfimo, por lo que es probable aprovechar el 98,3 % del recurso solar en su ángulo suroeste y sureste (Figuras 6,7,8)

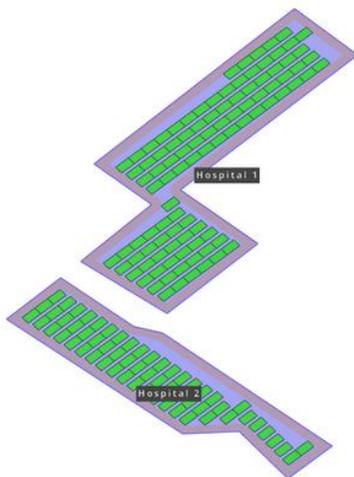


Figura 5. Ángulo de inclinación suroeste.

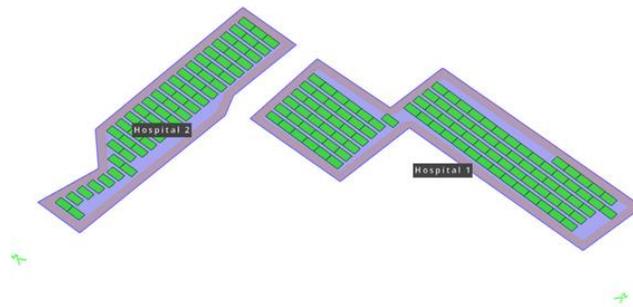


Figura 6. Ángulo de inclinación sureste.

Fuente: Simulador HelioScope <https://www.helioscope.com>



Figura 7. Nivel de irradiación sombreada emplazamiento fotovoltaico Hospital Escuela Latinoamericana de Ciencias Médicas.

Fuente: Simulador HelioScope <https://www.helioscope.com>

9. Su costo inicial será (Tabla 5):

Tabla 4. Costo promedio de los componentes del emplazamiento fotovoltaico "Hospital ELAM"

Componentes	Precio promedio /mundo
<b>150 módulos fotovoltaicos Jinko, JKM445M-72HLM-V (1000V) (445W)</b>	51 192 USD
<b>3 inversores Sunny Tripower 24000TL-US (SMA)</b>	26 249,19 USD
<b>7 Baterías de litio LiFePO4 y BMS integrado de 200 A</b>	1500 USD
<b>9 rollos de cable 10 AWG (Copper)</b>	3 600 USD
<b>Total</b>	91 541,19 USD/2 196 988,56 CUP

10. El costo total del emplazamiento sería de 2 196 988,56 CUP lo que equivale al 9,4 % del presupuesto de la institución en el año 2021.

## CONCLUSIONES

La Escuela latinoamericana de Ciencias Médicas por los servicios que presta y el número de población que alberga, incurre en un elevado gasto de recursos energéticos y, por consiguiente, de recursos financieros. Las potencialidades que la situación geográfica de la institución le confiere para el aprovechamiento e implementación de fuentes renovables de energía, constituyen una fortaleza para la sustitución de la base energética actualmente empleada.

## REFERENCIAS

Barash, D. P., & Webel, C. P. (2022). *Peace and conflict studies*. Jim Brace Thompson.

Bermúdez, Á. (2021). Por qué se ha disparado el precio del petróleo en el mundo (y qué tiene que ver la inusual estrategia de algunos productores). *BBC News MUNDO*. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-58920072>

Labrador Herrera, L. M. (2018). Cuba apuesta por el cambio en su matriz energética. *Granma*. <https://www.granma.cu/cuba/2018-04-23/defendernos-del-sol-y-utilizar-el-petroleo-un-paradigma-que-languidece-23-04-2018-20-04-51>

Nagle, P., & Temaj, K. (2021). Evolución del mercado del petróleo: aumento de los precios en medio de un alza más amplia de los precios de la energía. <https://blogs.worldbank.org/es/datos/evolucion-del-mercado-del-petroleo-y-los-precios-de-la-energia>

National Geographic. (2020). *¿Qué son los combustibles fósiles y cómo se formaron?* <https://www.nationalgeographicla.com/historia/que-son-los-combustibles-fosiles-y-como-se-formaron>

Stolik Novygrad, D. (2014). La energía FV: oportunidad y necesidad para Cuba. *Scielo*, 52(2), 69–86. <https://doi.org/http://scielo.sld.cu/pdf/eyd/v152n2/eyd05214.pdf>

# DETERMINACIÓN DE LA ECOTOXICIDAD DEL ACEITE DE *JATROPHA CURCAS* Y SUS DERIVADOS, MODELOS BIOLÓGICOS

## *Determination of the ecotoxicity of Jatropha curcas oil and its derivatives, biological models*

Carmen Gloria Dean Galán<sup>1</sup>, Daniela Beatriz Barbán Ferrer<sup>2</sup>, Taimi Bessy Horruitiner<sup>3</sup>, Dunia Rodríguez Heredia<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Oriente, Cuba, carmen.dean@estudiantes.uo.edu.cu, <https://orcid.org/0000-0002-6562-2420>.

<sup>2</sup> Universidad de Oriente, Cuba, ferrerdaniela83@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0867-4002>.

<sup>3</sup> Universidad de Oriente, Cuba, taimib@uo.edu.cu, <https://orcid.org/0000-0001-7595-5547>.

<sup>4</sup> Universidad de Oriente, Cuba, duniarh@uo.edu.cu, <https://orcid.org/0000-0003-4676-7314>.

### INTRODUCCIÓN

La familia *Euphorbiaceae* es la 6<sup>ta</sup> familia de plantas con flores más diversas, se encuentran distribuidas en la región tropical y subtropical. Las especies de esta familia se caracterizan por sus variaciones morfológicas. El género *Jatropha*, pertenece a esta, más de 70 especies, que destacan por su dureza, rápido crecimiento y fácil propagación [6].

La *Jatropha* tiene su origen histórico en América Central y partes septentrionales de América del Sur. La *J. curcas* es un árbol pequeño con corteza gris lisa. Tiene hojas grandes de verde pálido, alternas a sus opuestas. Puede alcanzar hasta 5 m de altura [7], exuda látex blanquecino no muy espeso cuando su tallo o ramas son cortados. En sus flores, el peciolo mide entre 6 y 23 milímetros. Los frutos se producen en invierno. Las semillas maduran cuando su caparazón cambia de color verde a amarillo, 2 o 3 meses después de la floración, que ocurre en la época de lluvia, y la muda de hojas en la estación seca [8]. En Cuba, está presente en casi todas las provincias y la Isla de la juventud [19]. *Jatropha curcas* puede propagarse en forma asexual o vegetativa; la propagación sexual por semillas es la más utilizada para el establecimiento de cultivos comerciales [11].

La *Jatropha curcas* es una especie con aplicaciones biológicas, farmacológicas e industriales [9]. Se usa en la producción de medicamentos, jabón y cosméticos. Las semillas y el látex son empleados como cicatrizantes de heridas superficiales [10, 11]. La calidad de la semilla comprende aspectos genéticos, físicos y fisiológicos que determinan la calidad del aceite extraído de ellas [12, 13].

La torta de la semilla rica en proteínas residual podría ser un ingrediente importante en alimentos para animales [14], su uso se ve limitado por la presencia de compuestos tóxicos (ésteres de forbol) y

antinutrientes (lectinas, curcinas, saponinas) [15,16]. Tradicionalmente, se usa para recuperar tierras o actuar como una cerca viviente [17], tiene el potencial de minimizar el consumo de combustibles fósiles [18].

El aceite de *Jatropha* tiene un potencial como materia prima porque es renovable [20]. El desarrollo de nuevas biograsas es necesario como forma de aumentar la oferta de lubricantes amigables con el medio ambiente [21, 22]. Su composición mayoritaria es 64% de triacilglicérols, 12% de compuestos hidrocarbonados y 9% de ácidos grasos libres [23,24]. El rendimiento promedio en la extracción de aceite por el método Soxhlet fue de 40% resultados similares reportados por Makkar et al. [25][26]. Las propiedades que diferencian a este son: baja viscosidad cinemática 6.8 mm<sup>2</sup>/s y bajo contenido de azufre 13 mg/Kg [27].

Este aceite contiene cantidades de ésteres de forbol (entre 2 y 8 mg de ésteres de forbol por gramo de aceite), al aceite no se le permite su uso doméstico [28]. Los ésteres son derivados de los ácidos carboxílicos [2]. Estos compuestos presentan alta toxicidad. Son promotores del cáncer. El contenido de metales pesados en el aceite es de: Fe (0,515ppm), Sn (2,63ppm), Zn (0,05 ppm) y Cd (0,33 ppm) [5].

## MATERIALES Y MÉTODOS

Existen numerosos bioensayos a nivel de laboratorio y de campo, regulados a nivel internacional con el empleo de diferentes organismos representativos de los diversos ecosistemas que van desde algas, bacterias, plantas vasculares, invertebrados, peces, aves, lombrices, mamíferos entre otros [31], a continuación, se ejemplifican numerosos estudios consultados durante la revisión de bibliografías.

La toxicidad es la capacidad que tiene una sustancia química de producir efectos nocivos en los organismos vivos y depende de la cantidad administrada, vía de ingreso, y del daño ocasionado [26, 29]. Los ensayos ecotoxicológicos se realizan previos a la liberación de los productos al ambiente, ocupándose del estudio del efecto y destino de agentes tóxicos a los ecosistemas [30]. Los bioensayos, como cualquier instrumento analítico, requieren ser calibrados. Estos estudios han demostrado que distintas especies de organismos presentan un rango de sensibilidades a una diversidad de los contaminantes ambientales, es recomendable utilizar especies distintas para evaluar la toxicidad. Para que las pruebas puedan constituirse en una técnica de evaluación aceptada, para los organismos seleccionados, debe conocerse su biología, tener factibilidad de mantenerse in vitro, presentar alta sensibilidad a los tóxicos y ser factible la reproducibilidad de los ensayos [30].

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

- González (2005) evaluó la actividad tóxica aguda del extracto etanólico de las semillas de *J. curcas* en ratas albinas y determinó los cambios histopatológicos.

La rata albina con sus ojos rojos y pelaje blanco es un organismo modelo icónico para la investigación científica, es criada y mantenida para la investigación.

Para la prueba de toxicidad se preparó una solución madre para la dosificación respectiva de los animales según su peso. Se trabajó con 25 ratas albinas macho, cepa Wistar, marcados aleatoriamente con ácido pícrico. En un tiempo de 14 días, registrando datos de estímulo sensitivo, reactividad ante la manipulación, evaluación de piel, pelaje, ojos, y del sistema nervioso central. Se observaron los cambios que evidencian toxicidad, se realizaron autopsias, con el fin de evaluar los cambios patológicos, macromorfológicos e histopatológicos [32].

- Montes de Oca (2019) estudió diversos microorganismos para realizar ensayos de toxicidad.

Los microorganismos son considerados los primeros afectados por las descargas de distintos contaminantes en el ecosistema al estar en contacto directo con el medio, separados únicamente por una membrana o pared celular. Se estudió el potencial de efectos citotóxicos de diferentes contaminantes emergentes sobre el crecimiento de tres especies de bacterias y una especie de levadura. Se eligieron microorganismos procariontes como son *Bacillus sp.*, *Staphylococcus aureus* y *Serratia marescens*; y *Saccharomyces cerevisiae*, eucariota. Se empleó un método sencillo de análisis basado en la inoculación en medios sólidos de gotas de cultivos microbianos expuestos previamente a diluciones seriadas de soluciones concentradas de los compuestos de estudio. Se trata de un método novedoso y muy visual, donde la formación o no de puntos o spots de crecimiento microbiano pueden utilizarse como indicador de toxicidad [33].

*Staphylococcus aureus*: amplio grupo de bacterias Gram-positivas, cuyo diámetro oscila entre 0.5 y 1.5 micras. Se caracterizan porque se dividen en agrupaciones que asemejan racimos de uva y, a la fecha, se han reportado 35 especies conocidas con 17 subespecies en el género *Staphylococcus*. Dicho género tiene una gran capacidad de adaptación, por lo cual afectan a todas las especies conocidas de mamíferos, incluyendo a los roedores comunes de laboratorio [34].

*Bacillus sp*: bacteria productora de endosporas resistentes al calor, se reportan alrededor de 336 especies de crecimiento aerobio, pH neutro, mesófilas, Gram positivas, de tamaño 0,5–1 um y diversidad metabólica [35].

*S. cerevisiae*: levadura del grupo de los ascomicetos, este grupo incluye más de 6000 especies, hongos unicelulares y generalmente sus células son ovaladas. Son mayores que las bacterias, alcanzando un diámetro máximo de entre 4 y 5  $\mu\text{m}$ . Se reproducen por fisión binaria o gemación y algunas pueden ser dimórficas o bifásicas y crecen como micelio bajo condiciones ambientales especiales. En la naturaleza se encuentra sobre sustratos ricos en azúcares o en los exudados y savias dulces de algunas plantas. Los constituyentes macromoleculares de la levadura *S. cerevisiae* incluyen proteínas, glicoproteínas, polisacáridos, polifosfatos, lípidos y ácidos nucleicos [36].

*Serratia marcescens*: bacteria Gram-negativa en forma de bacilo o varilla rectas muy pequeñas, entre 0,5 y 1  $\mu\text{m}$  de diámetro y menor de 2  $\mu\text{m}$  de longitud, es móvil, facultativamente anaerobio; la colonia típica tiene un tamaño de 1-2mm, redondas, convexas y ligeramente embonadas con márgenes enteros y opacas. Las colonias presentan color rojo, se decoloran a blanco con centro rojos con la edad, los cultivos producen un olor algo dulce, y desagradable. Se encuentra en agua dulce y estancada o salina, en el suelo y en las plantas, insectos y animales, en la especie humana; tiene una patogenicidad conocida para la vida no vegetal que se hace aún más potente gracias a su característica de resistir a múltiples antibióticos [37].

Se pudo observar que *Staphylococcus aureus* es el microorganismo más sensible de todos los estudiados, es el que más afectado se ha visto por los contaminantes empleados en el estudio [33].

- Nolzco (2019) realizó pruebas de toxicidad con elutriados de sedimentos marinos empleando las microalgas *Isochrysis galbana* y *Nannochloropsis oceánica* [40].

El avance que está experimentando la ciencia permite el desarrollo de nuevos métodos mediante los cuales se puede observar la presencia de un gran número de contaminantes en el medio acuático. López (2021) expresó que las microalgas son excelentes organismos para realizar ensayos de toxicidad, ya que su manejo en cultivo es simple, además estos bioensayos son rápidos y de bajo costo. La ventaja del uso de microalgas depende del crecimiento, manipulación y grado de sensibilidad. Se empleó para evaluar la toxicidad y el riesgo ambiental que los filtros ultravioletas, ampliamente utilizados en cosmética y como aditivos plásticos, ocasionan al medio marino. También ha sido empleada para la evaluación de la calidad de sedimentos contaminados por productos farmacéuticos [38].

Durango (2020) expresó que las microalgas son organismos fotosintéticos unicelulares capaces de generar biomasa orgánica a partir de luz y el  $\text{CO}_2$ , consideradas una estrategia tecnológica dado al potencial que presentan en la alimentación animal y humana, cosméticos, fuente de productos farmacéuticos, entre otros. Son imprescindibles en el mantenimiento de la vida en la tierra debido a que proporcionan el 50% del oxígeno que requerimos para respirar [39].

*Nannochloropsis oceanica*: pertenece a la clase *Eustigmkatophyceae*, se caracteriza por ser una microalga unicelular con formas cilíndricas que van de los 2 a 5µm, con cloroplastos que van del amarillo al verde. Importante organismo alimentario para la acuicultura, se reproduce muy rápido y posee ácidos grasos que no se encuentran en otros tipos de fitoplancton. También se debe tener en cuenta que estos microorganismos son el primer eslabón de la cadena trófica en los ecosistemas acuáticos, ayudan a la estabilidad de estos [39].

*Isochrysis galbana*: pertenece a la clase *Haptophyceae*, célula flagelada de color amarillo, no toxica, tiene un tamaño de 5-6 x 2-4 µm, largo x ancho. Esta especie es una materia prima nutricionalmente importante, siendo rica en proteínas, aminoácidos esenciales y ácidos grasos [41].

Estas pruebas de toxicidad demuestran que la microalga *I. galbana* detecta diferentes niveles de toxicidad, por lo que se podría emplear para evaluar ambientalmente muestras de sedimento marino como complemento a pruebas químicas, ya que no se discrimina el origen de la toxicidad [35][36].

- *Artemia salina*:

Seatame (2018) refiere que el género *Artemia* está comprendido por crustáceos originarios del centro y norte de América que se les caracteriza por poseer un caparazón blando, su tamaño oscila entre 10 y 20 mm dependiendo del sexo y de la especie [43]. Mohammed (2021) expresa en otra investigación que es un crustáceo branquiópodo anostráceo; representado por las especies sexuales y las cepas partenogenéticas, distribuidas en todo el mundo, con la excepción de la Antártida. Suele vivir en ambientes hipersalinos y salinas operadas por el hombre. Su adaptación a estos ambientes hostiles se rige por sus habilidades osmorregulatorias únicas y por la producción de quistes (embriones envueltos en un corion) [44].

Son de gran importancia para la acuicultura ya que constituyen un óptimo alimento vivo por su alto valor nutricional y su fácil manejo, siendo una gran fuente de proteínas para larvas de peces y crustáceos, se puede emplear como bioindicador para ensayos de toxicidades: posee ciclos cortos, se puede estudiar con facilidad, siendo eficiente, de bajo costo, con gran sensibilidad frente a un amplio rango de compuestos con actividad biológica y sus diversas estructuras químicas [43].

- Zafra Trelles (2022) propuso a la *Artemia* para determinar metabolitos tóxicos:

Utilizaron cistos de *Artemia* comercial. Se utilizó 2 eclosionadores de 1,5 L de capacidad y 0.5 g de cistos de *Artemia*, previamente los cistos fueron humectados con agua de mar filtrada a una salinidad de 35ppt por aproximadamente una hora y se cubrió la parte superior del eclosionador con papel aluminio. Al transcurrir el tiempo se adaptó una bomba de aire en la pecera para su aireación y se colocó una lámpara de 40 W a una

distancia de 5 cm de cada lado de los eclosionadores para su iluminación uniforme. Luego de 24 horas y a temperatura ambiente los cistos fueron eclosionados en el laboratorio [45].

- González-Perez (2022) en un estudio utilizó quistes viables de *Artemia sp.*:

Suministrados por el Centro de Desove del Camarón del municipio de Manzanillo, Granma de ambos sexos, 10 animales por tratamiento y en edad juveniles (nauplius). El método de administración de la sustancia a probar fue por aplicación en el medio (agua de mar artificial) a diferentes concentraciones de los compuestos químicos. Se probaron seis concentraciones en cada caso, aplicadas de manera única para todas las determinaciones, al comienzo del ensayo de toxicidad, cuyo tiempo de duración es de 24 horas. El ensayo se realizó por triplicado.

Se depositaron 10 nauplius en cada recipiente. Se evaluaron las concentraciones mencionadas de los agentes químicos en estudio. Cada recipiente se completó con un volumen de 10 mL de las concentraciones respectivas del tóxico en estudio y se incubaron en oscuridad a temperatura de  $25 \pm 3$  °C por 24 horas. Culminado el período de exposición se contaron al estereoscopio las larvas supervivientes y se anotó cualquier comportamiento anormal. Los efectos sobre la mortalidad se expresaron como CL<sub>50</sub> 24horas. El grado de toxicidad se definió en función del rango en que se encontraron los valores de CL<sub>50</sub> [31].

- Marrero (2019) realizó un ensayo de toxicidad aguda en *Artemia sp.* :

Las larvas de *Artemia sp.* se obtuvieron a partir de huevos desecados adquiridos de Argent Chemical Laboratories, Washington; desengastados durante 24h en Agua de Mar Artificial. Una vez obtenidas las larvas de una cohorte de 24h de eclosión, se procede a la ejecución del ensayo según las guías EPA. Se conformaron 5 grupos experimentales, asignándosele al azar 30 larvas, distribuidas en 3 réplicas de al menos 10 individuos cada uno. Las larvas se observaron mediante lupa o microscopio estereoscópico a las 24-48 horas, registrándose las muertes, considerándose muerto, el individuo incapaz de moverse por 10 segundos [30].

- Aranda Quirós (2019) investigó la toxicidad producida por dos de los fármacos actualmente más consumidos, la *simvastatina* y la *carbamazepina*, en ejemplares adultos de *Artemia salina*.

Se realizaron ensayos de toxicidad aguda, con una duración de 48h y renovación del medio cada 24h, en los que se expuso a los organismos a diferentes concentraciones de los fármacos, así como a la mezcla de estos con microplásticos. En la realización de los ensayos se emplearon ejemplares adultos, con 3 semanas de vida, de la especie *A. salina*. En este trabajo se utilizó como tóxico de referencia el dicromato potásico (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>). Tuvo una duración de 24 horas, durante las cuales no se alimentó a los organismos, realizándose

en condiciones de 21°C de temperatura exterior y fotoperiodo natural de 16 h de luz/ 8 h de oscuridad. Finalizado el tiempo de ensayo, se cuantificaron los individuos vivos y muertos, siendo considerados como muertos aquellos que no presentaban ningún tipo de movimiento. Los ensayos de toxicidad realizados registraron mortalidad en todos los casos. La CL<sub>50</sub> de la *simvastatina* resultó ser de 9,35 mg/L y de 43,23 mg/L para la *carbamazepina*. En las condiciones de los ensayos, la presencia de microplásticos en el medio disminuyó la toxicidad de ambos fármacos [46].

- López (2022) realizó un estudio fitoquímico cualitativo para determinar la actividad antioxidante y toxicidad sobre *Artemia salina* de los extractos de las hojas de *Justicia secunda Vahl*.

*Justicia secunda Vahl* conocida también como: cascajera, sanguinaria, yerba de la sangre, sangre de Cristo, insulina, la hoja de la vida, entre otros [48][32], es un pequeño arbusto perenne de 0,5 a 1 m de altura, con flores rojo-violeta, proviene de regiones tropicales y templadas, por lo que se encuentra ampliamente distribuida en varios países.

El tamizaje fitoquímico de los extractos de las hojas de *Justicia secunda Vahl*. (*Acanthaceae*) se realizó a través de pruebas químicas específicas y permitió determinar la presencia de esteroides en el extracto hexanoico; esteroides y compuestos fenólicos en el diclorometanoico; alcaloides, esteroides y compuestos fenólicos en el extracto etanólico. La actividad antioxidante de los extractos de *J. secunda* fue evaluada usando el método de la capacidad secuestrante de radicales libres de 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH•) mediante espectrofotometría UV-visible a una longitud de onda de 517 nm, con ácido ascórbico como control positivo (176 µg/mL). Los extractos diclorometanoico y etanólico mostraron actividad antioxidante. En cuanto a la toxicidad sobre *A. salina*, del extracto etanólico mostró una DL<sub>50</sub> entre 919,32 y 3781,9 ppm y es relativamente inocuo. En general, los resultados obtenidos sugieren que los extractos de las hojas de *J. secunda Vahl*, podrían ser una alternativa en la formulación de fármacos, debido a su potencial como antioxidante y su baja toxicidad.

La evaluación de toxicidad sobre nauplios de *A. salina* del extracto etanólico de las partes aéreas de *Justicia secunda Vahl* se realizó en el Departamento de Ciencias de los Alimentos de la Facultad de Farmacia y Bioanálisis; la presente investigación mostro baja toxicidad, sobre *A. salina* [49].

- *Lactuca sativa*:

Terán Cruz(2020) realizó un estudio sobre la lechuga (*lactuca sativa*), esta se adapta a diferentes tipos de superficies, el suelo no impide el crecimiento y producción de este vegetal [50], López Suárez (2019) expresó que es una hortaliza de hoja; se consume principalmente en forma cruda (ensalada), es ampliamente conocida y se cultiva en casi todo el mundo [51]. Planta anual de la familia *Asteraceae*, se cultiva sobre todo

como una verdura de hoja, pero a veces también por su tallo y semillas. Para un mejor crecimiento se deben tener en cuenta las siguientes características tales como; el territorio debe tener una adecuada instalación del fluido, para impedir asfixias en las raíces; también se debe tener un nivel rico en masa orgánica (materia oscura), una temperatura adecuada para su procreación es de 18–20°C, para el crecimiento en el día 14–18°C y para la noche 5–8°C, es muy tolerable al pH entre 6-8, puesto que presenta una sensibilidad a los suelos alcalinos [50].

- Terán Cruz (2020) realizó un análisis cromatográfico de gases para determinar la toxicidad según la concentración de disolventes en la hortaliza *Lactuca sativa*:

La metodología de extracción y análisis de la muestra se llevó a cabo a través de la cromatografía de gases para así determinar el porcentaje de Clorpirifós existentes en el vegetal. El objetivo es determinar la presencia de residuos de plaguicidas organofosforados mediante el análisis cromatógrafo de gases de la hortaliza. Para lograrlo primero se determinará el nivel de la toxicidad química en la hortaliza. La investigación determino que si existen residuos de plaguicidas organofosforados y los niveles de principio activo permitido exceden los LMR, que solo se permiten según la norma sanitaria un 0.05 ppm de Clorpirifós en ambas muestras, esto afecta directamente al ambiente y al ser humano [50].

- Marrero (2019) realizó un ensayo de toxicidad aguda en semillas de *Lactuca sativa*:

Se emplearon semillas de *Lactuca sativa* suministradas por la Empresa Provincial de Semillas Varias de Villa Clara, Cuba. Las mismas fueron certificadas por el Laboratorio Provincial de Sanidad Vegetal. Las semillas se agruparon por tamaño y morfología, escogiéndose el grupo más uniforme para el ensayo.

La evaluación del efecto fitotóxico de las sustancias de referencias en *Lactuca sativa*, se desarrolló según las metodologías de la EPA. Se realizaron 5 grupos experimentales, con 3 réplicas cada uno. A cada réplica se le asignaron aleatoriamente 20 semillas, siendo ubicadas en placas de Petri. Se le adicionaron 4 mL/ placa de los tóxicos de referencia, según la concentración correspondiente a cada grupo, manteniéndose en régimen estático durante 120 h. Se contabilizaron las semillas germinadas y se midió el largo de la raíz, tomando como referencia la distancia desde el hipocotilo hasta el extremo distal de la misma [30].

- Reina (2020) realizó un ensayo de germinación con lechuga, tanto crespita como la “normal” en forma de repollo:

En ambas se procedió de igual forma con respecto al tiempo de incubación en cámara que fue de 6 días. Se utilizaron cajas Petri plásticas con tapa. En el fondo de cada caja se colocó papel filtro con 2ml del tratamiento correspondiente, luego se tapó y se introdujo en una cámara de crecimiento a 25-27°C. Cada

tratamiento constó de 3 repeticiones, más su respectivo control con 10 semillas, variando 5 ensayos de lechuga con semilla roja y 5 con lechuga de semilla negra. A los 2 días se hizo una primera obtención de los resultados, tomando en cuenta solo la germinación. A los 6 días se volvió a contabilizar el número de semillas germinadas y se midió la longitud del sistema radicular. Se calculó el porcentaje de germinación de cada tratamiento. Se colocó en cada tratamiento la misma concentración, pero lo que varió fueron los tipos de sales que se administraban, como NaCl, KCl y K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; con un testigo únicamente con agua destilada para cada tratamiento. Los ensayos presentados a la misma concentración, pero diferentes soluciones salinas indicaron que con respecto a las semillas rojas de lechuga los tratamientos poseen menor tasa de germinación que el control. Por otro lado, las semillas negras de lechuga con cloruro de sodio fue la que obtuvo un mayor número de semillas germinadas en comparación con su respectivo tratamiento control [4].

- *Eisenia fetida*

Benítez Arellano (2022) nos dice que el cuerpo de la lombriz está compuesto generalmente por 143 anillos. El 1º segmento lo compone la cabeza que carece de ojos, los labios bucales y el prostomi. La lombriz de tierra en cada una de sus segmentos tiene 8 cerdas insertadas directamente en la piel, la cual esta revestida de una cutícula quitinosa. En los anillos 14 y 15 se abren los ojuelos genitales, a simple vista se observan unos anillos abultados que corresponden a los comprendidos entre el 33 y 37 que reciben el nombre de silla o clitelo. Los segmentos están separados internamente unos de otros por tabiques transversales (septos), los cuales están atravesados por el tubo digestivo. Las lombrices de tierra pertenecen al orden de los oligoquetos (escaso pelo), hacen relación a unas diminutas filas de cerdas que recorren su cuerpo en la parte ventral y lateral y sirven como elementos de agarre durante el desplazamiento en el suelo. La longitud de su cuerpo oscila entre los 2-20 cm [52].

- Hernandez (2022) empleó especímenes de la especie *E. fetida*, para evaluar la toxicidad aguda del IHPLUS®:

Para evaluar los signos de toxicidad en cada réplica por grupo experimental se contaron las lombrices que respondieron a la aplicación de un estímulo mecánico y se observó el aspecto macroscópico de cada individuo con el objetivo de detectar posibles alteraciones (daños en la región del clitelo, pérdida o reducción de movimiento, cambio de coloración y presencia de abultamientos o constricción en los anillos en diferentes áreas del cuerpo). Además se pesaron las lombrices individualmente al inicio y final del ensayo, constituyendo la diferencia un punto final de evaluación, siendo posteriormente sacrificadas mediante el empleo de una solución alcohólica (30 %) durante 3 minutos [53].

- *Caenorhabditis elegans*:

Zhang (2020) describe al *C. elegans* como un nemato inofensivo y de vida libre que se alimenta de microorganismos el cual es económico y fácil de mantener en entornos de laboratorio, los adultos hermafroditas autofertilizantes de 1 mm de largo con un ciclo reproductivo de 2,5 a 4 días a temperatura ambiente y una vida media de aproximadamente 18-20 días cuando se cultiva a 20°C [54]. Benito Nacir (2018) afirma que el *C. elegans* se puede mantener y expandir en condiciones de laboratorio con procedimientos relativamente sencillos y proporcionan datos a diferencia de los modelos celulares o microorganismos [55].

- Gonzales (2018) empleó el *C. elegans* como bioindicador de los niveles de toxicidad de aguas y sedimentos:

Las características que presenta este organismo modelo es ser multicelular, ciclo de vida corto, fácil crecimiento en el laboratorio y con una numerosa descendencia para poder hacer estudios genéticos y estadísticos, que lo hace un excelente organismo para realizar ensayos de laboratorio orientados hacia la identificación de contaminantes tóxicos en los ambiente marinos y terrestres. Es posible sincronizar los gusanos de *C. elegans* para que inicien su desarrollo en un mismo estadio al mismo tiempo, de manera que puedan obtenerse poblaciones uniformemente desarrolladas en sus estadios larvarios. La mortalidad, el crecimiento y la reproducción son indicadores directo del grado de toxicidad que puede ejercer una sustancia sobre un organismo vivo; por ello se sugiere su uso durante la ejecución de bioensayos orientados al conocimiento de este aspecto. En tal sentido los resultados de exposición durante 24 horas para mortalidad y reproducción y para crecimiento 3 días.

**Mortalidad:** Se lleva a cabo usando 10 individuos previamente sincronizados en edad L4, placas de cultivo celular de 96 pozos. Los nematodos se exponen durante 24 horas a 20°C al extracto total y a una solución al 50% del extracto en agua mili-Q, realizando 4 réplicas. Para determinar el punto final se cuentan los individuos vivos y muertos al cabo de 24 horas usando un microscopio de disección.

**Crecimiento:** Se usan 200 individuos en edad larval L1 en 2 concentraciones de los extractos acuosos. Se realizan 4 réplicas por tratamiento en placas de cultivo celular de 24 pozos. Como fuente de alimento se adiciona *E. coli OP50*. Después de 72 horas de exposición la toxicidad fue medida usando el microscopio de disección.

**Reproducción:** Se evalúan los *C. elegans* L4 después de 72 h de exposición a los extractos acuosos. Se coloca un adulto joven en un plato con agar K, *E. coliOP50* y 300 mL de solución de extracto. Después de 72 horas se cuentan el número de crías en todas las etapas larvales y se realizan 4 réplicas para cada tratamiento [56].

- *Physa cubensis*:

Áreas Pineda (2019) estudió el género *Physa*, habitante en quebradas, ríos y charcas de aguas poco agitadas, activos sobre hojarasca, piedras, algas, o en algunas ocasiones en los fondos lodosos donde pasaban desapercibidos. La gran mayoría de estos caracoles son herbívoros, sin embargo, se han datado casos de depredación y canibalismo, además de ser presa de diferentes organismos como insectos, peces, anfibios y aves, siendo un eslabón importante en las cadenas tróficas de los ecosistemas donde se encuentran. Estos caracoles tienen una duración de vida entre 22-88 semanas, posterior a la eclosión [57].

La selección de la especie se realizó según métodos taxonómicos de reconocimiento somático y de la concha. Para la prueba, utilizaron juveniles de aproximadamente 72h de eclosionados. Todos los organismos provenían del mismo lote con buen estado de salud, similar tamaño y edad. Se conformaron aleatoriamente 5 grupos experimentales con 3 réplicas cada uno. Los moluscos se distribuyeron de forma aleatoria en número de 10 individuos en vasos de polietileno de 250 mL de capacidad, que contenían 15 mL de la solución a ensayar, en régimen estático durante 96h, sin renovación de flujo. Se observó la mortalidad durante 24h hasta completar el tiempo de estudio, registrándose las muertes y efectos subletales (desadherencia y desprendimiento cefálico). Para la discriminación de la mortalidad se usó el criterio propuesto por Iannacone et al.(2002) [30, 58].

- *Daphnia magna* :

*D. magna* especie de crustáceo planctónico del suborden de los cladóceros que de adulto mide hasta 5 o 6 mm, se le conoce como pulga de agua, se alimenta de fitoplancton y habita en una gran variedad de aguas continentales. Su cuerpo está protegido por un caparazón translucido de quitina. Además, posee 6 apéndices torácicos mantenidos en el interior del exoesqueleto y mediante los cuales se alimenta por filtración.

Castiglioni (2010) afirmó que los invertebrados acuáticos son buenos bioindicadores que se utilizan para evaluar la calidad de los ecosistemas acuáticos. *D. magna* es uno de los más utilizados en los bioensayos de ecotoxicología ya que tiene un ciclo de vida corto, su cultivo es de fácil manejo [60]; Iannacone (2012) alegó que tienen una alta sensibilidad al estrés ambiental producido por sustancias químicas o alteraciones en los parámetros del medio en el que habita, produce un alto número de crías y supone una alternativa a los bioensayos con mamíferos [61]. Burga (2009) expresó que existen efectos demostrados en organismos acuáticos que afirman la toxicidad del paracetamol y del ibuprofeno para el medio acuático y los seres vivos. Se han llevado a cabo dos ensayos agudos de toxicidad exponiendo a neonatos del organismo *Daphnia magna* a dosis crecientes de paracetamol durante 24 horas. *Daphnia magna* es un crustáceo de pequeñas dimensiones, transparente, de forma ovalada y con un exoesqueleto que vive en agua dulce [59].

Rodríguez–Andújar (2020) evaluó la toxicidad aguda del paracetamol a dosis crecientes sobre neonatos de *D. magna*. Se observó y evaluó la mortalidad en neonatos de *D. magna* expuestos durante 24h a concentraciones crecientes de paracetamol. En relación al ibuprofeno y al paracetamol, se observa que existen distintos efectos subletales relacionados con la actividad enzimática, la reproducción y la fisiología de *D. magna*. En relación a la mortalidad, a concentraciones ambientalmente no relevantes son más altas de las medidas en muestras de agua. La evidencia de efectos de tipo subletal hacen pensar que la repercusión debe ser analizada en términos de medio y largo plazo [62].

## CONCLUSIONES

El uso de modelos biológicos para determinar la ecotoxicidad de una sustancia es variado, demostrando que estos modelos son de innegable importancia. De esta revisión literaria se aprecia que la *Artemia salina* y la *lactuca sativa* son los biomodelos más utilizados por el compendio de autores estudiados, aunque existen otros biomodelos que por su rapidez y exactitud son ampliamente utilizados.

## RECOMENDACIONES

Realizar el estudio de ecotoxicidad para el aceite de la *Jatropha curcas* en biomodelos que reflejen su impacto en diversas áreas del ecosistema: mar, suelo y agua dulce.

# **Las Tecnologías del Aprendizaje y el Conocimiento en la Educación Superior.**

## *Learning Technologies and Knowledge in Higher Education.*

Dr. C. Eglis Maylin Lamour Moreno. Prof. Aux. <sup>1</sup>

Dr. C. Oscar García Fernández. Prof. Tit. <sup>2</sup>

Dr. C. Eumelia Victoria Romero Pacheco. Prof. Tit. <sup>3</sup>

Educ. Ideysi Aguilera Lamour <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Desarrollo de Software y Tecnología, Universidad de Oriente, Cuba, eglismaylin@uo.edu.cu, 0000-0002-3508-3040

<sup>2</sup> Departamento de Desarrollo de Software y Tecnología, Universidad de Oriente, Cuba, oscargf@uo.edu.cu, 0000-0001-6896-420X

<sup>3</sup> Departamento de Geografía, Universidad de Oriente, Cuba, eumelia@uo.edu.cu, 0000-0002-9226-3785

<sup>4</sup> Primera Infancia-3<sup>er</sup> año de vida, Círculo Infantil Ana de Quesada, Cuba, ideysilamour@gmail.com, 0000-0002-9388-5973

## INTRODUCCIÓN

La introducción de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) en la sociedad cubana comenzó a finales del siglo XX, y su introducción en las Instituciones Educativas fue a principio del siglo XXI como instrumento de trabajo, el uso de las Computadoras en los diferentes procesos docentes educativo fue primordial a partir de los beneficios que las mismas brindan; la alfabetización de los docentes para su correcto uso fue una tarea extraordinaria, se logró que un 90% de los docentes entendieran la necesidad de aprender a usar la computadora como instrumento de trabajo.

Años después a partir de investigaciones realizadas se ha podido demostrar que las Tecnologías Informáticas (TI) en el contexto educativo van más allá de usar las TIC como instrumento de trabajo, sino que las mismas debe ir acompañadas de una metodología para su correcta implementación en el proceso de enseñanza aprendizaje. Autora como Lozano (2011) expreso y cito:

“Las TAC tratan de orientar las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) hacia unos usos más formativos, tanto para el estudiante como para el profesor, con el objetivo de aprender más y mejor. Se trata de incidir especialmente en la metodología, en los usos de la tecnología y no únicamente en asegurar el dominio de una serie de herramientas informáticas. Se trata en definitiva de conocer y de explorar los posibles usos didácticos que las TIC tienen para el aprendizaje y la docencia. Es decir, las TAC van más allá de aprender meramente a usar las TIC y apuestan por explorar estas herramientas tecnológicas al servicio del aprendizaje y de la adquisición de conocimiento.”

Teniendo en cuenta lo expresado por Lozano (2011), permite que se atienda las exigencias profesionales de los docentes, en cuanto al uso de las TAC, para su implementación adecuada a través de una metodología, en correspondencia con las exigencias de estos tiempos; tener en cuenta por qué, el para qué y el cómo se deben utilizar las TAC en el contexto educativo, seleccionar aquellas herramientas digitales más adecuadas para su uso beneficiara el proceso de enseñanza aprendizaje de los estudiantes.

Para una correcta implantación de las Tecnologías del Aprendizaje y Conocimiento (TAC) en las Instituciones Educativas, es necesario una buena gestión y planificación del docente a partir de los recursos con que cuenta, al igual que una organización que permita la formación y el desarrollo del docente y de los estudiantes en este aspecto, la disponibilidad y accesibilidad a los medios digitales e infraestructuras para poner en marcha las herramientas necesarias.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Como **métodos teóricos**, se emplean:

El **análisis síntesis**, en toda la investigación, en el procesamiento de la información derivada del estudio bibliográfico relacionado con las TAC, en la búsqueda de referentes teóricos e insuficiencias, así como para la redacción de las conclusiones y recomendaciones.

El **histórico lógico**, se utilizó para caracterizar históricamente el uso de las Tecnologías Informáticas (TI) en el contexto educativo.

Como **métodos empíricos** se utilizan:

La **observación participante**, para la obtención de información sobre el comportamiento de las tecnologías en el contexto educativo. La **revisión documental**, para examinar los documentos normativos que rigen la formación de los estudiantes en cuanto al uso de las Tecnologías Informáticas y las tecnologías del Aprendizaje y el Conocimiento.

## DESARROLLO

En los contextos educativos internacionales se han implementado el uso de las Tecnologías del Aprendizaje y el Conocimiento (TAC), su aplicación cada vez es mayor en la formación de los estudiantes en el contexto educativo. Las TAC pueden mejorar el proceso de aprendizaje, su correcta implementación puede completar y actualizar los nuevos tiempos y métodos pedagógicos aplicables en el proceso educativo. Para implementar las Tecnologías del Aprendizaje y el Conocimiento (TAC) es fundamental plantearse cuestiones como: ¿de qué plataformas TAC disponemos en la red universitaria? ¿Cómo queremos que sea la adquisición de conocimientos y aprendizaje a través del uso de las TAC por los estudiantes? ¿Qué necesidades tienen nuestros estudiantes? ¿Qué objetivos pretendemos lograr? Conociendo las respuestas a estas cuestiones podremos trazar un plan TAC en el que se desarrollen las acciones metodológicas adecuadas.

Para el uso adecuado de las TAC cada vez más docentes se sirven de estas herramientas para crear o completar recursos didácticos. Los estudiantes no solo agradecen la presencia de recursos didácticos digitales en el contexto educativo, sino que además recogen los beneficios de una mayor atención y predisposición al aprendizaje.

En la actualidad es difícil saber cómo ofrecer una formación efectiva donde tengan concebida el uso de las Tecnologías del Aprendizaje y el Conocimiento (TAC) por los estudiantes y docentes, en el sistema educativo donde existen criterios tecnocráticos para la introducción de las TAC en el contexto educativo por los docentes, los cuales son más resistentes a los cambios en cuanto al uso de las tecnologías en el proceso de enseñanza aprendizaje en Cuba.

Tener conocimiento de los fundamentos teóricos que permita el correcto uso de las Tecnologías del Aprendizaje y el Conocimiento (TAC) en el proceso de enseñanza aprendizaje, facilitar una correcta implementación en el contexto educativo es tarea de todo docente. Teniendo en cuenta este análisis es meritorio asumir algunos criterios de autores que desde sus fundamentos teóricos permiten dar un uso adecuado a esta actividad, que constituye un proceso de interacción sujeto-objeto dirigido a satisfacer las necesidades del sujeto y a partir de ello se produce la transformación del objeto las TAC, desde la Filosofía de la Educación, autores como: Pupo (1990) y Fabelo (1996), que coinciden que, el hombre desde su formación debe prepararse para la vida a través de la práctica humana que modifica la naturaleza y las relaciones sociales lo que le va a permitir poder enfrentar los cambios que ocurren en la sociedad.

Tener en cuenta en la formación del hombre el uso de las Tecnologías del Aprendizaje y el Conocimiento (TAC) en el contexto educativo, es necesario, sin embargo, existe limitaciones en cuanto al uso de las TAC

en la formación de estudiante y docentes que se fundamenta en sus principios, el cual promueve la adquisición de conocimientos a partir del uso de las TAC que permite sistematizar sus experiencias pedagógicas.

La Educación Superior en Cuba a través de la Filosofía de la Educación debe tener en cuenta entre sus prioridades la incorporación de las Tecnologías del Aprendizaje y el Conocimiento (TAC) y desde la innovación pedagógica, acompañar la teoría de la práctica para la flexibilidad del pensamiento en cuanto al uso de las TAC en el contexto educativo.

La conciencia individual tiene su origen en las interrelaciones sociales, en la cual los factores sociales son fuente del desarrollo psíquico, en tanto el medio social, es un elemento que tiene un papel importante en la formación del hombre para la vida. Vygotski (1987) y sus continuadores, desde Psicología de la Educación, fundamentan una nueva teoría psicológica, basada en el método y en los principios del materialismo dialéctico, en la cual el aspecto cognitivo incluye la descripción y la explicación de las funciones psicológicas superiores, histórica y culturalmente determinantes en el desarrollo humano por medio del uso de instrumentos, especialmente el lenguaje, considerado como instrumento del pensamiento.

Los continuadores de Vygotski (1987), como: Leontiev (1981); González (1995); Pablos (2018); Gutiérrez (2019); entre otros, también fundamentan su teoría psicológica, desde un enfoque histórico cultural de orientación marxista, considera el valor del método genético o evolutivo, en el desarrollo de los procesos psicológicos superiores a partir de los procesos sociales y finalmente que los procesos mentales pueden entenderse mediante la comprensión de los instrumentos y signos que actúan como mediadores. Este enfoque posibilita comprender que la actuación de los sujetos está relacionada con las prácticas sociales, la cultura y la educación, que aun cuando el uso de la Tecnologías del Aprendizaje y el Conocimiento (TAC) como nuevo recurso cotidiano esta rediseñando el intercambio y las formas de los lenguajes, no pierde su vigencia en la práctica educativa actual, ello fundamenta la comprensión de las TAC, y justifica su uso no solo en el proceso de enseñanza aprendizaje sino también en todos los procesos educativos.

Esta teoría psicológica, a partir de la mediación de la acción mediada por instrumentos que concibe desde la dinámica de la socialización y la internalización como los hombres se apropian de las herramientas en dos etapas, una reflexiva en la que se selecciona las herramientas y otra aplicativa e innovadora en la cual se emplean las herramientas en los nuevos contextos, lo cual es el fundamento de la integración de las TAC al desempeño de los docentes.

En todo este proceso y del propio sujeto hasta llegar al resultado final con la elaboración propia de conceptos, conocimientos y habilidades que pasan a formar parte de su personalidad y actuar así en su propia transformación.

En lo fundamental, es posible comprender que en los momentos actuales un ejemplo de actividad práctica y compleja es la que se deriva del manejo tecnológico que ha modificado las vías de interacción de la humanidad, transformando el lenguaje hablado por el mediado a través de las Tecnologías del Aprendizaje y el Conocimiento (TAC), aspecto este que constituye el centro de los fundamentos teóricos investigados, lo cual debe sustentarse a partir de los beneficios que las mismas ofrecen al proceso de enseñanza aprendizaje.

Teniendo en cuenta que la implementación de las TAC puede ocasionar cierto rechazo, también puede afectar algunas actitudes y comportamientos de algunos de los docentes y estudiantes; por lo cual debe existir una labor de orientación profesional que deleve las amplias posibilidades del uso de las Tecnologías del Aprendizaje y Conocimiento (TAC) para elevar la calidad del proceso de enseñanza aprendizaje.

Otros autores como: Hong (2013); Rabilero, Venet y Fernández (2017); tratan la motivación desde diferentes aristas psicológicas, aunque coinciden en que la motivación profesional debe ser vista desde los beneficios que ocasionan lo que se va a implementar con el hombre como ente social; el criterio de estos autores son asumidos porque implementar de las Tecnologías del Aprendizaje y el Conocimiento (TAC) puede ocasionar resistencia dependiendo la edad de los docentes que la van a utilizar como herramientas que facilitan el aprendizaje y el conocimiento en el contexto educativo ya que un grupo de docentes que limitan su uso por su criterio tecnocrático sobre las TAC, aunque Hong (2013) hace una alerta acerca del daño o trastorno psicológico que la Tecnología Informática puede ocasionar al hombre si no es usada adecuadamente.

Sin embargo, los autores anteriormente citados no tratan el trabajo con las Tecnologías del Aprendizaje y el Conocimiento (TAC) en el contexto educativo, pero sus criterios es oportuno tenerlo en cuenta, porque la implementación de las TAC en el contexto educativo puede ser un elemento motivacional para estudiantes y docentes ya que permite la articulación del conocimiento con el contenido de su profesión, vínculo afectivo y la elaboración personal.

Es necesario analizar algunos criterios de autores que desde la Psicología de la Educación, aportaron criterios referentes a la formación del hombre y los trastornos que puede ocasionar la implementación de las Tecnologías Informáticas en una era donde los estudiantes están más habituado a lo visual que al texto. Otros autores que se debe tener en cuenta para poder implementar adecuadamente las Tecnologías del Aprendizaje y el Conocimiento (TAC) son: Blanco (2001); Boulton-Lewis (2010); Welford (2010) Lindberg (2014) y Lestapier (2019) desde sus criterios a partir de la Sociología de la Educación, basados en los presupuestos de las ideas de la Sociología marxista que considera a la educación como hecho social singular, con identidad propia en relación con el entorno sociocultural donde se inserta, y que cumple con

la función de integrar a los individuos a la sociedad. La formación del hombre en las diferentes instituciones educativas para enfrentar las transformaciones sociales sostiene que: “[...] La educación no puede limitarse al aprendizaje de contenidos socialmente válidos, sino que debe extenderse a la actividad práctica del individuo como miembro de un grupo o clase social, donde se materializa en hechos concretos el aprendizaje”. Lestapier (2019, p.23).

Teniendo en cuenta el criterio de estos autores, es necesario que las Instituciones Educativas utilicen Tecnologías del Aprendizaje y el Conocimiento (TAC) desde las innovaciones pedagógicas, para ello es necesario que se valoren sus beneficios y su adecuada explotación en el contexto educativo por sus numerosos recursos y posibilidades, atendiendo a las metodologías pedagógicas, las cuales enriquecen y complementan el sistema educacional.

Desde la Pedagogía, autores como: Valle y Castro (2002) y Llano y Arencibia (2004), consideran los avances de la ciencia, la técnica, el arte y las necesidades económico-sociales del país desde un enfoque generalizador, que resalta la necesidad del desarrollo social donde se tiene implícito el uso de las Tecnologías Informáticas (TI); otros autores como: Belloch, C. (2002); Izquierdo, J. (2004); Pardo, M. (2004); Salinas, J. (2008); Téllez, A. (2019), entre otros; en sus investigaciones tienen en cuenta, el proceso de enseñanza aprendizaje el uso de las Tecnologías Informáticas (TI), desde un enfoque formativo y revelan en sus aportes la persistencia de insuficiencias en lo teórico con incidencia en la práctica.

Desde este enfoque, es meritorio tener presente que la formación es un proceso complejo de aprendizaje, en el cual el docente debe interpretar y asimilar la entrega del conocimiento adquirido como resultado de procesos de interacción, permitiendo así su transformación como sujeto. Sin embargo, autor como Fischer (2010), ofrece un enfoque crítico, que tiene en cuenta la formación del hombre a través del uso de las Tecnologías Informáticas (TI); planteó además que, en el dilema existente entre la sempiterna Pedagogía tradicional y la Cyberpedagogía, lo tecnológico primará sobre las vías y medios tradicionales, lo cual redundará en favor del sistema educativo, que debe asumir la preparación temprana de los estudiantes para un futuro donde lo tecnológico constituirá un sistema imperante.

El abordaje de las Tecnologías del Aprendizaje y el Conocimiento (TAC) y en general su integración en la Educación Superior, hay que hacer cambios de teorías en la Pedagogía contemporánea, porque en la actualidad no se trata de atiborrar de contenidos al estudiante, sino enseñarle a aprender a aprender; con énfasis en la formación, lo cual permitirá que a través de una adecuada innovación pedagógica con las TAC los docentes vayan cerrando la brecha digital existente al interior de las sociedades, entre sus distintos grupos y entre las generaciones existentes en la sociedad cubana.

Enseñar desde la Didáctica General los cambios que van surgiendo tanto en la ciencia como en la técnica es prioritario en las instituciones educativas. El hombre tiene que ser capaz de transformarse a través de los procesos por los que va transitando, teniendo en cuenta que esta transformación tiene como finalidad la preparación para la vida, por lo que asumir en el proceso de enseñanza aprendizaje la incorporación de las TAC debe ser una necesidad profesional.

Sin embargo, autores como: Álvarez de Zayas (1999), Addine, F. (2004) y (2007); Lima, S. (2009), tuvieron en cuenta en su planteamiento que la Didáctica como ciencia que estudia el proceso de enseñanza aprendizaje y su complejidad, también reconocen que es un proceso multifactorial, de múltiples interacciones, donde las condiciones son definitivamente las que favorecen o dificultan el propio proceso y el resultado, donde la Didáctica debe ser contextualizada a los tiempos actuales donde prima las Tecnologías Informáticas (TI) en el contexto educativo. Addine (2007), expreso y cito: “[...] el docente debe utilizar la Didáctica de forma realista y adaptarlas a los nuevos cambios”, teniendo en cuenta este criterio también es asumido, esta investigación.

En la formación del hombre para la vida en el sistema educativo cubano debe estar presente las Tecnologías del Aprendizaje y el Conocimiento (TAC), aunque siguen presentando limitaciones teóricas que no permiten cumplir completamente las funciones de las TAC en el contexto educativo. Las Tecnologías del Aprendizaje y el Conocimiento (TAC), tienen entre sus tareas crear materiales didácticos a partir de las diferentes plataformas existentes tanto en la red universitaria como en Internet, las TAC permiten interactuar y crear contenidos propios por los docentes y estudiantes, es decir, se está en presencia de una innovación pedagógica cuando se integran la Pedagogía y las Tecnologías Informáticas en el contexto educativo por los docentes y estudiantes, la misma propicia un proceso de enseñanza aprendizajes significativo.

Entre la Didáctica General y la Didáctica de la Informática existe una dialéctica materialista, a partir de la interacción en los aspectos teóricos que se establece entre ambas ciencias. La clasificación de las habilidades informáticas y sus basamentos teóricos están fundamentados desde la Didáctica General, lo cual ha permitido la justificación teórica del desarrollo de habilidades informáticas en el uso de las TAC durante el proceso de enseñanza aprendizaje de los docentes y su valoración mediante el empoderamiento tecnológico para el uso de las TAC por los docentes.

El transitando de las Tecnologías de la Información las Comunicaciones (TIC) hacia el uso de las Tecnologías del Aprendizaje y el Conocimiento (TAC), que como una nueva teoría aplicable en el contexto educativo recaba una mayor atención y predisposición al aprendizaje y por tanto mayores beneficios al proceso de enseñanza aprendizaje.

Autores como: McCormick (1997); Vivancos (2009); Lozano (2011); Área (2012); Enríquez (2012); Moreno & Vera (2012); Morrison-Love (2021); Otaño, Díaz & Rodríguez (s/f); Rivero (s/f); Iglesia (s/f); entre otros, desde la Tecnología de la Educación coinciden en que el uso de las Tecnologías del Aprendizaje y el Conocimiento (TAC) se puede lograr impactos positivos en el contexto educativo por su importancia a partir de su incorporación desde un enfoque crítico y multidisciplinar. La actividad de la educación tecnológica y su cuerpo de contenido pueden considerarse como "conocimiento procedimental" y "conocimiento conceptual", respectivamente a partir de la evolución de la Tecnología Educativa, sus conceptos y categorías esenciales y el rol de la didáctica, es menester tener en cuenta que las Tecnologías Informáticas en el proceso de formación del docente a través del proceso de enseñanza aprendizaje.

Asumiendo el criterio de autores como: Vivancos (2009); Lozano (2011) y Enríquez (2012), los cuales basan sus investigaciones en aprender a través de las TAC, y expresan que: “[...] basar el aprendizaje sólo en el uso de herramientas concretas es una batalla perdida no sólo por lo apuntado, sino además porque son demasiadas y están en permanente cambio y renovación”.

Usar de las Tecnologías del Aprendizaje y el Conocimiento (TAC) no significa aprender las funciones que realiza una determinada herramienta tecnológica, sino cómo integrar esa herramienta con los contenidos de una enseñanza, es decir, se debe aprender con las tecnologías y no aprender las tecnologías para garantizar un aprendizaje significativo. Por lo que debe existir en la formación del docente el uso de las Tecnologías Informáticas (TI), en este sentido Moreno & Vera (2012) plantearon que: “Para que todas las herramientas didácticas situadas en la red tengan viabilidad y sentido pedagógico en el aula, es imprescindible la figura del docente, con una correcta formación no sólo técnica, científica e instrumental, sino, también pedagógica y humanística”.

Tomando en consideración la Tecnología de la Educación y los aportes teóricos que trae consigo, se puede afirmar que es necesario que desde la Pedagogía contemporánea a través del enfoque crítico del uso de las Tecnologías del Aprendizaje y el Conocimiento (TAC) las ideas sobre la prioridad que deben tener los aspectos didácticos y metodológicos en el proceso de enseñanza aprendizaje de los docentes. Esta idea concreta la importancia de asumir contenidos, métodos, procedimientos y actividades que permitan integrar las TAC con los elementos propios de cada, educación y sobre todo para los diferentes contextos educativos de la Educación Superior.

Las Tecnologías del Aprendizaje y el Conocimiento (TAC) en el contexto educativo deben estar acompañadas de la Didáctica de la Informática, a partir del desarrollo de habilidades informáticas, asumiendo lo planteado por autores como: González & Hondal (2006); Alea (2012); Lamour (2022); entre otros que desde sus investigaciones hacen una alerta de lo acertado que es introducir y validar nuevas

metodologías para un uso adecuado de las TAC en las instituciones educativas. Estos autores conciben el desarrollo de habilidades informáticas en dos grandes grupos: habilidades de manipulación (incluyen las relacionadas con el trabajo con los periféricos (hardware)) y las habilidades de operacionalización (incluye aquellas que están directamente relacionadas con el trabajo lógico (software)). De manera que puedan clasificarse en: Nivel de generalidad de su aplicación: generales y específicas; y nivel de aplicación (relativas al hardware o al software): manipulación y operacionalización.

Para asumir la clasificación de habilidades informáticas se debe tener en cuenta el tránsito de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) hacia Tecnologías del Aprendizaje y el Conocimiento (TAC), autora como Lozano (2011), planteó “[...] las TAC tratan de orientar las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) hacia unos usos más formativos, tanto para el estudiante como para el profesor, con el objetivo de aprender más y mejor”.

La incorporación de las Tecnologías del Aprendizaje y el Conocimiento (TAC) modifican y mejoran sustancialmente el proceso formativo, a través de la implementación de sus herramientas, las mismas deben estar acompañadas de metodologías que permitan el empoderamiento tecnológico de los docentes durante la gestión de la información y el aprendizaje en el uso de las TAC para la innovación pedagógica en el proceso de enseñanza aprendizaje, las TAC aseveren la obtención del conocimiento y la gestión del aprendizaje, que permitirá el desarrollo habilidades informáticas, las cuales como herramientas dan la posibilidad de interactuar y desarrollar contenidos propios por los docentes y estudiantes, emplear las TAC como herramientas didácticas al servicio del aprendizaje permite ir direccionado su uso formativo hacia su correcta implementación en el proceso de enseñanza aprendizaje acompañadas de metodologías en el contexto educativo.

El uso de las TAC permite tener una visión diferente en cuanto a la implementación de las Tecnologías del Aprendizaje y el Conocimiento (TAC) en la educación; las cuales dejan de usarse como un elemento meramente instrumental para ser un elemento que permite la creatividad y desarrolla habilidades informáticas a partir de sus habilidades multitarea, permitiendo el empoderamiento tecnológico, la innovación pedagógica que permita dar solución a las brechas existentes entre las Tecnologías Informáticas y la pedagogía contemporánea, desde acciones didáctica, metodológicas y tecnológicas.

La dinámica de la educación y la sociedad del conocimiento, demandan de sistema educativo donde docentes y estudiantes puedan fortalecer los currículos, desarrollen competencias, habilidades y saberes a partir del uso de las TAC en el contexto educativo.

Las estrategias medidas por las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) la cuales evolucionan en el contexto educativo hacia las Tecnologías del Aprendizaje y el Conocimiento (TAC)

promueven el trabajo colaborativo, dinamizan las clases y permiten usar con inmediatez múltiples herramientas virtuales dispuestas tanto en Internet como en las redes universitarias. El uso de las TAC se refiere a conocer, explorar y aplicar usos didácticos y metodológicos con las tecnologías existentes a los procesos de enseñanza y de aprendizaje, asumiéndolas como estrategias para transformar la información en conocimiento.

Teniendo en cuenta que para insertar las Tecnologías Informáticas (TI) en las Instituciones Educativas el docente debe prepararse para enfrentar los cambios que ocurren en la sociedad y en educación en este sentido, el uso de las Tecnologías del Aprendizaje y el Conocimiento (TAC) debe venir acompañada de metodología para su correcta implementación. La dialéctica materialista argumenta la posibilidad de abordar la preparación del docente a través de la superación profesional desde sus diversas formas organizativas, teniendo en cuenta que todo proceso universitario tributa a la formación del hombre y al desarrollo del intelecto humano, y su posterior repercusión en el desarrollo socioeconómico y tecnológico de la sociedad.

Tener en cuenta la implementación de una estrategia de superación diseñada debe tener consigo la formación del hombre, porque a su vez los docentes serán los multiplicadores del conocimiento, una estrategia para el uso de las TAC debe tener las características siguientes:

Carácter integrador: propicia el aprendizaje en el conocimiento de las TAC, que incluyen las TIC más la formación pedagógica necesaria para saber emplearlas, permitiendo su integración de los contenidos didácticos, tecnológicos y pedagógicos para el proceso de superación, tomando en cuenta la necesidad de diagnosticar, integrar y planear acciones didácticas y tecnológicas que contribuyan al desarrollo de habilidades informáticas de manipulación y operacionalización de las TAC, las cuales favorecerán a la apropiación del desarrollo tecno-didáctico de los docentes.

Carácter pertinente: actúa sobre los contextos educativos teniendo en cuenta las características de las carreras universitarias y las especialidades donde se pone en ejecución que responda a las necesidades tecno-didáctica de los docentes y a su vez beneficie las exigencias de la Educación Superior permitiendo la innovación pedagógica para el uso de las TAC lo que permitirá resolver

las situaciones de las diferentes asignaturas de las carreras universitarias para dar respuesta a las demandas sociales, conjugando la reflexión desde la interacción entre la teoría y los modos de actuación.

Carácter interactivo: se toman en cuenta las diferentes maneras de conciliar (sujeto-objeto y sujeto-sujeto) a través de las etapas, las acciones didácticas propuestas son para el intercambio provechoso y desarrollador, mediante un trabajo cooperado que facilite la implementación de la superación para perfeccionar la actuación de los docentes en cuanto al uso de las TAC.

Carácter sistémico: se asume en la ejecución de un sistema de acciones didácticas que permitirá un empoderamiento tecnológico y la evaluación de los docentes desde la organización cognitiva contextual que permiten valorar, a través de las transferencia tecno-didáctico y metodológica, la transformación y el desarrollo de habilidades informáticas por los docentes desde su actuación profesional con la integración de las TAC con los contenidos de su carrera o enseñanza para dar solución de las insuficiencias teórico-prácticas detectadas en su práctica profesional.

Carácter desarrollador: de los docentes utilizan los conocimientos previos adquiridos durante el proceso de superación y los aplicas a los diferentes contextos de actuación, de forma que le permita argumentar sus juicios a través de las acciones didácticas que le posibiliten actuación tecno- didáctica con respecto a las exigencias de la sociedad actual.

Se expone, su carácter contextualizado expresado por su adecuación al contexto educativo, de acuerdo a las particularidades de la Educación Superior.

Entre las exigencias para la instrumentación de la estrategia de superación se encuentran: los nodos cognitivos derivados de la relación de los contenidos tecnológicos, contenidos de la Educación Superior, los componentes didácticos y pedagógicos con énfasis en los problemas profesionales que enfrentarán los docentes en su contexto educativo permitiendo la integración de los contenidos de la Educación Superior con las TAC.

Para implementar un proceso de superación se debe estudiar las necesidades profesionales que tienen los docentes y así poderla pautar teniendo en cuenta los criterios de los siguientes autores: Escamilla de los Santos (2000) y Pineda (2018), lo cuales coinciden en que: pautar la superación profesional, permite que los docentes tomen las decisiones adecuadas en el proceso de selección de las Tecnologías Informáticas, que posteriormente serán aplicadas en el proceso de enseñanza aprendizaje a partir del uso de las TAC y su posterior integración en el proceso de enseñanza aprendizaje en la Educación Superior, y cómo pueden ser introducidas las TAC desde los contenidos propios de las carreras universitarias a partir

de las consideraciones de algunos criterios de los docentes universitarios desde su experiencia profesional, con el fin de enriquecer la estrategia de superación.

Para la implementación de las pautas tecnológicas y didácticas que se tuvieron en cuenta en la implementación de la estrategia de superación son:

- ✓ Dirigir el conocimiento de las TAC necesario para el contexto educativo a través de los avances en el entorno social que permita un aprendizaje formativo.
- ✓ El proceso de superación debe tener un carácter formativo con elementos teóricos, didácticos y metodológicos para el uso adecuado de las TAC que permita una doble intencionalidad educativa, teniendo en cuenta sus necesidades profesionales y laborales.
- ✓ Tener en cuenta acciones didácticas, metodológicas y tecnológicas para la superación como proceso formativo que debe propiciar el desarrollo de las habilidades informáticas por los docentes.

Un aspecto importante, que constituye una cualidad esencial para aplicar una estrategia de superación es tener en cuenta algunos aspectos necesarios que permitan alcanzar los objetivos trazados, a partir de establecer las condiciones siguientes:

- ✓ Necesidad profesional, laboral del docente y disponibilidad tecnológica del contexto educativo en el que se lleva a cabo el proceso de superación.
- ✓ Eficacia en el trabajo metodológico realizado con los docentes, directivos universitarios.
- ✓ La calidad en el proceso de superación y actualización en cuanto al uso de las TAC como herramientas didácticas.
- ✓ Coordinación con los directivos para la planificación y efectividad del proceso de superación que se establecen entre los docentes de que atienden la Tecnología Educativa y las diferentes áreas universitarias.
- ✓ Motivación profesional para que permita un empoderando tecnológico de los docentes universitarios para que exista una adecuada innovación pedagógica en el contexto educativo.

La aplicación de la estrategia de superación, el docente debe desarrollar habilidades informáticas de manipulación y operacionalización como:

- ✓ Interactuar con los recursos informáticos: acción que se realiza el docente sobre un recurso informático con el objetivo de obtener como respuesta de este, un cambio en su comportamiento.
- ✓ Ejecutar o abrir una aplicación informática.
- ✓ Acceder al recurso informático.
- ✓ Determinar las acciones por realizar sobre el recurso en correspondencia con el objetivo propuesto.
- ✓ Ejecutar la o las operaciones y analizar las respuestas en cada caso.
- ✓ Determinar el procedimiento que se aplicará para el acceso a la aplicación.
- ✓ Caracterizar la aplicación informática: acción que permite al docente expresar, de una aplicación los elementos que la integran, sus funciones y relaciones, en función del grado de sistematización en la familiarización con otras aplicaciones informáticas.
- ✓ Analizar el entorno de la aplicación.
- ✓ Determinar los objetos y recursos informáticos que la integran.
- ✓ Comparar los objetos y recursos informáticos de la aplicación con los de aplicaciones conocidas.
- ✓ Seleccionar los objetos del entorno que tipifican la aplicación y la distinguen de la demás.
- ✓ Resumir los elementos característicos y tareas que se resuelven con la aplicación.
- ✓ Evaluar el resultado del objeto obtenido y realizar modificaciones en caso que sea necesario.
- ✓ Orientarse en el proceso de solución de problemas.
- ✓ Buscar la vía de la solución.
- ✓ Ejecutar la vía de solución.

- ✓ Controlar los resultados.
- ✓ Salir o abandonar el recurso informático.

El desarrollo de habilidades informáticas a partir del uso de las TAC, permitirá que el docente en el contexto educativo pueda innovar pedagógicamente con sus estudiantes; los docentes universitarios estarán educando y formando estudiantes del futuro, más propenso a lo tecnológico en sus diferentes espacios, con las ventajas y riesgos que las mismas ocasionan. Los docentes universitarios, a través de un cambio en el modo de actuación con el uso de las TAC en el contexto educativo, irán de manera independiente desarrollando de forma creativa recursos didácticos tecnológicos que le permitan un aprendizaje significativo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir del tránsito de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) hacia las Tecnologías del Aprendizaje y el Conocimiento (TAC) conocimiento de las va a permitir que los docentes desarrollaron habilidades informáticas las cuales van a propiciar una mejora en la manera de comunicarse dentro de los nuevos espacios tecnológicos, advertir de los riesgos que implican las nuevas conectividades, teniendo así un cambio en el modo de actuación de los docentes.

Para la implementación de las Tecnologías del Aprendizaje y el Conocimiento (TAC) se tomó como muestra a los docentes de la carrera de Licenciatura en Educación. Preescolar de la Universidad de Oriente y como resultado se obtuvo los siguientes:

- Realización de Aulas Virtuales (AV) por los docentes, lo que permitió el desarrollo de la educación a distancia.
- Realización de cursos MOOC (Massive Online Open Courses).
- Realización de recursos didácticos tecnológicos que tributan a su especialidad (Sitios Web, realización grupos de WhatsApp), permite el intercambio y la comunicación constante docente/estudiante.
- Se logró la visibilidad de la carrera.
- Se transformó la visión del claustro de la carrera Licenciatura en Educación. Preescolar sobre el uso de las TAC, al evidenciarse el empoderamiento tecnológico por parte de los docentes participantes.

## CONCLUSIONES

El uso de las Tecnologías del Aprendizaje y el Conocimiento (TAC) teniendo en cuenta sus fundamentos teóricos permite su introducción en el contexto educativo y en la sociedad. Facilitan y potencian enormemente el aprendizaje y el conocimiento. Seguir implementando el uso las TAC permite que los docentes cuenten con instrumentos que permitan la eliminación de la brecha epistemológica existente entre el tránsito de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) a las Tecnologías del Aprendizaje y el Conocimiento (TAC), lo que permitiría una transformación en el docente en cuanto a su uso con sus estudiantes en el proceso de enseñanza aprendizaje. El uso adecuado de las TAC en el contexto educativo por el docente aproximará al empoderamiento tecnológico y a una innovación pedagógica en el proceso de enseñanza aprendizaje aspiración de todo sistema educativo y de la sociedad.

## RECOMENDACIONES

Promover otras investigaciones desde la práctica pedagógica de los docentes, que aporten nuevas ideas para el enriquecimiento del proceso de enseñanza aprendizaje en correspondencia con las transformaciones de la pedagogía contemporáneas mediadas por el uso de las Tecnologías del Aprendizaje y el Conocimiento (TAC) como herramientas didácticas que permita el desarrollo de habilidades informáticas tanto de docentes como de estudiantes en el proceso de enseñanza aprendizaje.

## AGRADECIMIENTOS

Al colectivo de profesores que han estado presente en mi formación profesional.

## REFERENCIAS

Addine, F. (2004). Didáctica: Teoría y Práctica. La Habana, Cuba: Editorial Pueblo y Educación.

Addine, F. (2013). La Didáctica General y su enseñanza en la Educación Superior. Aportes e impacto. La Habana: ed. Pueblo y Educación.

Belloch, C. (2002). Características de los EVA. Entornos Virtuales de Aprendizaje, Universidad de Valencia. <https://www.conocimientosweb.net>.

Blanco, A. (2001). Introducción a la Sociología de la Educación. La Habana, Cuba: Editorial Pueblo y Educación.

Enríquez, S. (2012). “Luego de las TIC, las TAC”. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación,

Escuela de Lenguas, Universidad Nacional de la Plata, Argentina.  
<http://www.unlp.edu.ar/uploads/docs>.

Fabelo, J. (2009). La crisis de valores: conocimiento, causas y estrategias de superación. En La formación de las nuevas generaciones. La Habana, Cuba: Editorial Ciencias Sociales.

González-Manet, E. (1999). Cultura, globalización y nuevas tecnologías de comunicación.

González, N. & Hondal, V. (2006). “Habilidades Informáticas”, disponible en:  
<http://www.ilustrados.com/tema/9168/habilidades/informaticas>

Iznaola, M. (2014). Niveles de motivación profesional en profesores de Educación Física habilitados.

Lamour, E. (2022). La superación de los docentes para el uso de las Tecnologías del Aprendizaje y el

Conocimiento. [Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias de la Educación, Universidad de Oriente. Santiago de Cuba 2022].

Lozano, R. (2011). “Las “TIC/TAC”: De las Tecnologías de la Información y Comunicación a las Tecnologías del Aprendizaje y del Conocimiento”. “Bibliotecas y bibliotecarios en búsqueda de la innovación”. Anuario ThinkEPI, 2011, v.5, pp73-77. <http://www.thinkepi.net> (consultado junio 2017)

Moreno, N. & Vera, J. (2012). Herramientas TAC al servicio de los procesos de Enseñanza y aprendizaje del español como segunda lengua (L2) en las ATAL. Congreso Iberoamericano de las Lenguas en la Educación y en la Cultura / IV Congreso Leer.es. Salamanca, España, 2012.

Salinas, J. (2008). Redes y Educación: “Tendencias en educación flexible y a distancia”. Disponible:  
<http://www.uib.es/depart/gte/tendencias>

Pupo, R. (1990). La actividad como categoría filosófica. La Habana, Cuba: Editorial Ciencias Sociales.

Revista Perspectivas Docentes, (17), p.8.

Rabilero, H.; Venet, R. & Fernández, L. (2017). La motivación profesional: una aproximación epistemológica

Vivancos, J. (2009). La competencia digital i las TAC.

# EVALUACIÓN TÉCNICA DE UN SECADOR SOLAR PARA EL SECADO DE ANAMÚ

## *Technical evaluation of a solar dryer for drying anamú inglés*

MSc. Susana Fonseca Fonseca<sup>1</sup>,

MSc. Ronald Andi3n Torres<sup>2</sup>, Lic.

Emilio Veit3a Cand3<sup>3</sup> MSc. Alonso Torres Ten<sup>4</sup>,

Lic. Ruberlando Espinosa Borges<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Departamento Ingenier3a Qu3mica, Universidad de Oriente, Cuba, susana.fonseca@uo.edu.cu, Orcid

<sup>2</sup> Departamento Termoconversi3n, Centro de Investigaciones de Energ3a Solar, Cuba, randi3n@cies, Orcid

<sup>3</sup> Departamento Termoconversi3n, Centro de Investigaciones de Energ3a Solar, Cuba, eveitia@cies.cu

<sup>4</sup> Departamento Termoconversi3n, Centro de Investigaciones de Energ3a Solar, Cuba, alonso\_660@yahoo.com

<sup>3</sup> Departamento Termoconversi3n, Centro de Investigaciones de Energ3a Solar, Cuba, randi3n@cies, Orcid

<sup>5</sup> Departamento Termoconversi3n, Centro de Investigaciones de Energ3a Solar, Cuba, respinosa@cies.cu

## INTRODUCCI3N

Actualmente existe un amplio uso de la planta de anam3 con prop3sitos medicinales. La informaci3n presente en la literatura reporta que se han realizado una serie de estudios para hacer una caracterizaci3n farmacol3gica de la misma [1]. Esta planta es conocida en el mundo entero como la hierba de la energ3a por tener altas concentraciones de vitaminas as3 como de f3sforo, potasio, selenio y dos factores de crecimiento (alfalfa y Vitamina B13), en Europa se usa en ensaladas comestibles, se venden en c3psulas y tabletas [2]. En Santiago de Cuba tambi3n existe gran inter3s en el uso de esta planta, la cual en muchas ocasiones requiere estar seca para su utilizaci3n [3].

En la actualidad el proceso de secado del anam3 se realiza en naves techadas, demorando el secado del producto alrededor de 10-12 d3as. Por otra parte se conoce que la deshidrataci3n es una de las operaciones industriales que consume grandes cantidades de energ3a.

En las regiones industrializadas, hace varias d3cadas se ha realizado el desarrollo de procesos de secado artificial en gran escala, basados en el uso de combustibles. En los 3ltimos a3os, la escasez y mayores precios de los combustibles ha despertado un nuevo inter3s en el uso de la energ3a solar [4].

En los secadores solares, la energ3a solar calienta el aire, aumentando su potencial de secado y favoreciendo el movimiento del aire por convecci3n natural. En Cuba, se han desarrollado diferentes tipos de secadores solares, el uso de los cuales permite el ahorro de energ3a en el proceso de secado, a la vez que permite

conservar la calidad del producto, sin embargo es importante el desarrollo de equipos que no requieran alta tecnología para su construcción y se puedan adaptar al desarrollo de la región

En el Centro de Investigaciones de Energía Solar (CIES) se construyó un prototipo de secador solar para el secado de anamú, del cual se debe conocer su comportamiento. Este trabajo tiene por objetivo realizar una evaluación técnica del prototipo de secador solar construido, para el secado de anamú.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para realizar la evaluación técnica del prototipo de secador solar se procedió a conocer su capacidad de secado, mediante pruebas experimentales en las que se emplearon diferentes cargas en el secador, para determinar el tiempo de secado, así como la calidad del producto obtenido.

El secador solar en estudio está constituido por una estructura de perfiles metálicos en forma de paralelepípedo. Posee doble cubierta de vidrio transparente en la parte superior, colocados a dos aguas, con un ángulo de inclinación de  $23^\circ$ . Los vidrios se fijan con juntas y separadores de goma. Debajo de la cubierta de vidrio se encuentra una chapa metálica ennegrecida con pintura negro mate, la cual capta la radiación solar incidente y la transfiere al aire del interior de la cámara de secado. El secador (Fig. 1) se ubica con su dimensión mayor (largo) en la dirección Norte-Sur para lograr una mejor distribución de la energía solar durante el día.

Posee puertas metálicas aisladas térmicamente en los lados que dan al norte y al sur. La cámara de secado está construida de ladrillos y cemento. El equipo dispone de pequeñas ventanas para la salida del aire húmedo y reposición de aire fresco por los laterales norte y sur.



**Figura 1. Prototipo de secador solar para anamú**

Dentro del equipo se coloca un carro con tres bastidores de malla metálica, colocados a tres niveles, sobre los que se coloca la carga de anamú. (Fig. 2)



**Figura 2. Vista interior del secador para anamú**

El principio de funcionamiento se basa en el efecto invernadero: De todo el espectro de la radiación solar incidente, una pequeña fracción es reflejada, otra absorbida y la mayor parte atraviesa la doble cubierta de vidrio; de ésta una fracción considerable es absorbida por la superficie metálica, la cual emite radiación infrarroja, que no puede atravesar el vidrio, éste a su vez emite hacia la superficie metálica, la cual se calienta y transfiere energía en forma de calor al aire interior, incrementándose la temperatura de éste a lo largo de todo el día con su nivel máximo alrededor del mediodía solar.

El aire penetra al interior de la cámara de secado por las ventanas que tiene el secador en la parte inferior (sur), aumenta su temperatura en el interior del secador y extrae cierta cantidad de humedad del material situado en el interior de la cámara, después sale del secador con mayor contenido de humedad, por las ventanas de salida ubicadas en la parte superior (norte),

#### *A. Prueba experimental.*

Existen una serie de factores que influyen directamente en el proceso de secado y en la calidad del producto final, que van desde las condiciones internas hasta las condiciones externas [5].

Para realizar las pruebas experimentales del desempeño del secador, se tuvieron en cuenta criterios existentes en cuanto a la forma en que debe ser secada la planta de anamú para lograr resultados satisfactorios de calidad del producto seco, ellas son: no debe alcanzar temperaturas superiores a los 40 °C, y se debe garantizar humedad final del orden del 10 %.

Su finalidad consistió en estudiar la cinética del secado de anamú en el secador solar. Se midió la radiación solar, la temperatura ambiente, la humedad relativa y la pérdida de peso a través de muestras tomadas periódicamente.

Se realizaron experimentos donde se determinó el tiempo de secado para diferentes cargas en el secador, así como la carga máxima admisible para realizar el secado del producto en un tiempo menor que el empleado en las naves de secado utilizadas actualmente para el secado del producto.

Para realizar el experimento se carga el secador solar con anamú húmedo después de beneficiado, lavado y escurrido (humedad inicial 67-82%) para eliminar toda el agua adherida a la superficie. (Fig 2). Durante el secado, las condiciones climatológicas fueron registradas por la estación actinométrica del CIES.

La determinación del contenido de humedad del anamú durante el proceso de secado se realizó en todos los casos por método gravimétrico, basado en la diferencia de peso debido a la pérdida de humedad evaporada. Para ello, diariamente se hizo extracción de muestras de anamú; las muestras fueron pesadas en balanza analítica con precisión de 0,01 g, y secadas a una temperatura de 110° C en una estufa. Después de pesadas las muestras, se introducen en una estufa Marca Memmert, de nacionalidad alemana con voltaje 220 V y potencia de 1600 W, trabaja en un rango de temperaturas de 20 a 120 °C, error máximo de 1°C, hasta obtenerse el peso seco. La pérdida relativa de masa debido a la evaporación de humedad permite conocer la humedad de la muestra. El tiempo de secado se determina a partir de las curvas de secado hasta la humedad final deseada.

Los experimentos se desarrollaron siguiendo los pasos que se describen a continuación:

1. Una vez recolectada la planta se debe beneficiar, lavar, desinfectar y escurrir.
2. Preparada la planta para ser secada, se introduce al secador (Fig. 2), preferentemente en el horario de la mañana. Éste debe permanecer con las ventanillas de entrada y salida de aire abiertas, para permitir su circulación a través del secador de forma que pueda extraer la humedad del anamú.
3. Una vez introducido en el secador todo el material a secar, el secador debe permanecer con las puertas de entrada y salida del material cerradas durante el día, para evitar la salida innecesaria del aire caliente, ya que si esto sucediera se requerirá un tiempo mayor para que el equipo vuelva a alcanzar la temperatura de trabajo necesaria para el secado.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los experimentos fueron realizados siguiendo la metodología explicada con anterioridad, utilizando diferentes cargas en el secador.

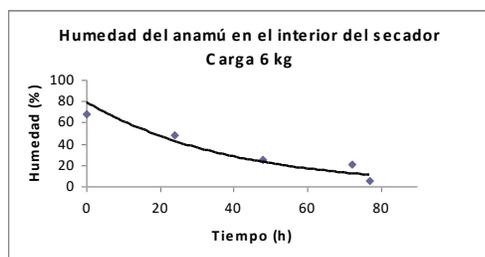
La radiación solar durante los días válidos del experimento se mantuvo superior a los 3,9 kW-h/ m<sup>2</sup> día. La humedad relativa máxima fue del orden del 90% y la temperatura ambiente estuvo entre 23,1 °C, en las primeras horas de la mañana, y 34,1°C en horas cercanas al medio día solar.

Algunos de los resultados obtenidos se muestran a continuación: mediante las curvas de secado para diferentes cargas

Para condiciones climatológicas:

- Radiación diaria superior a 4,9 kW-h/m<sup>2</sup> día
- Temperatura ambiente mínimo 23,6 °C
- Temperatura ambiente máxima 29,7 °C
- Humedad Relativa máxima 87,3%

Se obtuvo el siguiente resultado

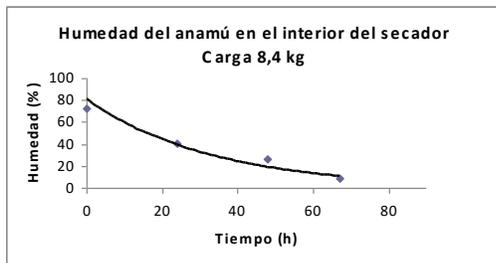


**Figura 3 Curva de secado en el secador solar**

Para condiciones climatológicas:

- Radiación diaria superior a 6,4 kW-h/m<sup>2</sup> día.
- Temperatura ambiente mínima 24,7 °C
- Temperatura ambiente máxima 30,28 °C
- Humedad relativa máxima 87,6 %

Se obtuvo el siguiente resultado

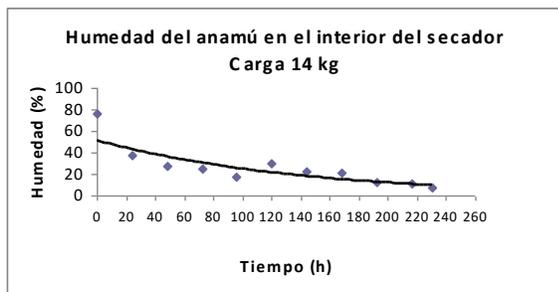


**Figura 4. Curva de secado en el secador solar**

Para condiciones climatológicas:

- Radiación diaria superior a 6,4 kW-h/m<sup>2</sup> día.
- Temperatura ambiente mínima 23,1 °C-
- Temperatura ambiente máxima 32,9 °C
- Humedad relativa máxima 92,4 %

Se obtuvo el siguiente resultado



**Figura 5. Curva de secado en el secador solar**

Las curvas de secado siguen el comportamiento esperado, siendo la forma de dichas curvas semejante a la que reporta la literatura para productos similares [6]. Puede apreciarse que la tasa de secado es mayor durante las primeras horas, como es de esperarse. En el primer período, la mayor influencia en el proceso de secado la ejercen las condiciones externas al material, como es la temperatura en el interior de la cámara de secado y la humedad relativa del aire. En este período solo se elimina la humedad superficial que no está ligada fuertemente al material y por tanto se necesita menor cantidad de energía para evaporarla.

Si se analiza el comportamiento de las curvas de secado para diferentes cargas en el secador y condiciones climatológicas durante los días de secado (figuras 3, 4, y 5), se observa que tienen un comportamiento similar, aunque difieren en valores absolutos. Se puede apreciar la variabilidad del tiempo de secado en dependencia de la carga empleada en cada caso y las condiciones meteorológicas en los días del experimento, donde influyen además de la cantidad de producto que se coloque en el secador (a mayor carga, mayor tiempo de secado), la humedad inicial del producto, la humedad relativa ambiente, la radiación solar y la temperatura ambiente durante los días en que se efectúe el secado.

Las condiciones meteorológicas durante los días de experimentación se mantuvieron en valores tales como: Radiación diaria superior a  $3,9 \text{ kW-h/m}^2$  día, Temperatura ambiente mínima  $23,1 \text{ }^\circ\text{C}$ , Temperatura ambiente máxima  $34,1 \text{ }^\circ\text{C}$ , Humedad Relativa máxima  $92,4 \%$ .

En este secador, con una carga de  $6 \text{ kg}$  ( $1,76 \text{ kg/m}^2$ ), se necesitaron alrededor de 3 días para llevar el anamú de una humedad del  $67,6\%$  al  $6,5 \%$  como puede observarse en la figura 3. Sin embargo, en la figura 4 se aprecia que para una carga mayor ( $2,47 \text{ kg/m}^2$ ), el tiempo de secado es ligeramente inferior, lo que puede explicarse porque los experimentos se desarrollaron en días con condiciones climatológicas más favorables para el proceso de secado, como son mayor valor de radiación solar y de temperatura ambiente.

En la figura 5 se puede observar que a mayor carga del secador ( $4,11 \text{ kg/m}^2$ ), y condiciones climatológicas similares a las de la figura 4, el tiempo de secado es mayor, como era de esperarse.

Resumiendo, el comportamiento del secador solar durante el período evaluado se puede llegar a los siguientes resultados: Para humedad inicial del producto del  $67\text{-}82\%$  y valores de parámetros climatológicos de días claros tales como:

- Radiación solar: mayor de  $3,9 \text{ kw-h/día}$ .
- Temperatura ambiente:  $23,1\text{-}34,1 \text{ }^\circ\text{C}$
- Humedad relativa ambiente menor del  $92,4 \%$

La carga diaria secada en el secador en menos de 10 días durante los días del experimento tiene un valor promedio de  $2,1 \text{ kg/día}$ , dependiendo de las condiciones climatológicas en los días de trabajo, valor que se encuentra dentro de los utilizados en otros secadores solares de características parecidas y que realizan el secado del producto en cama fina [7].

A partir de los resultados obtenidos durante las pruebas de secado se determinó la carga unitaria que puede secar el equipo ( $\text{kg/m}^2$ ), para llevar el material de una humedad inicial de alrededor del  $80 \%$  hasta la

humedad del 10% (la requerida para algunas aplicaciones del anamú seco,) en un tiempo menor de 10 días, la que presenta valor promedio de 0,62 kg/m<sup>2</sup>. Estos valores están en el rango de los secadores solares que utilizan convección natural. [8].

Se realizaron pruebas al anamú secado en el secador solar y se pudo comprobar que los resultados fueron favorables, apreciándose buen color de la planta seca y resultados satisfactorios en cuanto a la humedad final alcanzada en el producto seco con valores inferiores al 10%.

## CONCLUSIONES

- Se realizó la evaluación técnica de un prototipo de secador solar para el secado de anamú en la que se determinó que para humedad inicial del producto entre 67-82% y parámetros climatológicos de días claros, tales como: radiación solar mayor de 3,9 kw-h/día, temperatura ambiente entre 23,1-34,1 °C, y humedad relativa ambiente menor del 92,4 %, el secador es capaz de secar 2,1 kg/día como promedio, dependiendo de las condiciones climatológicas en los días de trabajo.

- La carga unitaria que puede secar el equipo (kg/m<sup>2</sup>) cada día, para llevar el material de una humedad inicial del 80 % hasta la humedad del 10% en menos de diez días, bajo las condiciones señaladas anteriormente, presenta valor promedio de 0,62 kg/m<sup>2</sup> día.

- Se realizaron pruebas al anamú secado en el secador solar y se pudo comprobar que los resultados fueron favorables, apreciándose buen color de la planta seca y resultados satisfactorios en cuanto a la humedad final alcanzada en el producto seco con valores inferiores al 10% en un tiempo menor de 10 días.

- Por todo lo analizado con anterioridad se considera que el prototipo evaluado es técnicamente adecuado para el secado del anamú.

## AGRADECIMIENTOS

## REFERENCIAS

1. Lemus Rodríguez, Zoe et al: La tableta de anamú: un medicamento herbario inmunoestimulante. Laboratorio Farmacéutico Oriente. MEDISAN 2004:8(3):57-64.
2. Martínez Pilar, Merlys Massiel et al (2003): Estudio farmacognóstico, fitoquímico y microbiológico de la Petiveria alliacea Lin 1998. Trabajo original. Facultad de Ciencias Médicas "Dr. Faustino Pérez Hernández",

3. Lemus Rodríguez Z, García Pérez ME, Batista Duharte A, Guardia Peña O de la, Alfonso Castillo A. La tableta de anamú: un medicamento herbario inmunoestimulante [artículo en línea]. MEDISAN 2004; 8(3). [http://bvs.sld.cu/revistas/san/vol8\\_3\\_04/san10304.htm](http://bvs.sld.cu/revistas/san/vol8_3_04/san10304.htm)
4. Saravia, I(1992): Ingeniería del secado solar. Programa de Ciencia e Ingeniería para el desarrollo. V Centenario.Subprograma VI: Nuevas Fuentes y Conservción de la Energía.
5. Knoule, F. (1968): "El secado". Bilbao. Ediciones Urno. Págs. 50-150.
- 6 Boizán Justiz, M (1986): Ivanovich Zhidco, V: Secado fluidizado de productos alimenticios. Editorial Oriente, Santiago de Cuba.
7. Bergues Ricardo, Ciro; Griñán Villafañe, Pedro; Abdala Rodríguez, Jorge L.; Fonseca Fonseca, Susana (2001): Concepción y evaluación de un secador solar de granos con cubierta de polietileno. Memorias de la II Conferencia de Eficiencia Energética y Refrigeración, ISBN: 959-207-017-2.
8. Andión Torres, Ronald (2012)Evaluación experimental de un secador solar tipo Gabinete para el secado de hollejo de naranja RTQ vol.32 no.2 Santiago de Cuba may.ago. 2012 versión On-line ISSN 2224-6185

# **GRASAS LUBRICANTES BIODEGRADABLES A PARTIR DEL ACEITE RESIDUAL DE LA CÁSCARA DE PLÁTANO EN EL ECUADOR: UNA PROPUESTA PARA LA OBTENCIÓN Y USO.**

*Biodegradable lubricating greases from banana peel residual oil in Ecuador: A proposal for obtaining and using.*

Jorge Tomás Holguín

Anzules<sup>1</sup>, Francisco Lafargue Pérez<sup>2</sup>,

Segundo Alcides García Muentes<sup>3</sup>,

Yoel Portuondo Paissan<sup>4</sup>.

<sup>1</sup> Instituto de Ciencias Básicas, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador, jorge.holguin@utm.edu.ec, orcid.org/0000-0003-4454-4184

<sup>2</sup> Centro de Eficiencia Energética y Refrigeración, Universidad de Oriente, Cuba, lafargue@uo.edu.cu, orcid.org/0000-0003-2048-7920

<sup>3</sup> Departamento de Procesos Químicos, Universidad Técnica de Manabí, Ecuador, s.garcía@utm.edu.ec, orcid.org/0000-0002-8152-3406

<sup>4</sup> Departamento de Procesos de Manufactura y Materiales, Universidad de Oriente, Cuba, yoelportuondo@uo.edu.cu, orcid.org/0000-0002-0072-3001

## **INTRODUCCIÓN**

Las grasas lubricantes se introducen en los sistemas tribológicos para controlar o disminuir la fricción como vía directa para el ahorro energético, controlar o disminuir el desgaste para el ahorro de materiales y piezas de repuesto; así como para controlar la corrosión, al proteger las superficies de rozamiento de la acción del medio entre otros. En el año 1400 a.C. los egipcios utilizaban grasas lubricantes fabricadas de aceite de oliva y de cal para la lubricación de los ejes de madera de sus carruajes [1]. La primera grasa lubricante moderna se fabricó en el año 1872, empleándose el jabón de sodio como espesante, luego se fabricaron las de jabón de calcio y de aluminio en el año 1882 y posteriormente la de jabón de litio en el año 1942 [2]. Actualmente existen muchos tipos de grasas lubricantes para diversas aplicaciones. Estas grasas lubricantes emplean fundamentalmente los aceites minerales y los sintéticos como aceites base. De todos los lubricantes que se producen anualmente en el mundo, aproximadamente entre el 50 y 75 % se vierten al medio ambiente generando una alta contaminación ambiental que atenta contra la salud de todos los seres vivos [3,4], esto incluye a las grasas lubricantes, donde aproximadamente 1,2 millones de toneladas métricas de aceite base se emplea para su fabricación. Las grasas lubricantes constituyen los segundos lubricantes en importancia y son insustituibles en determinadas aplicaciones industriales, automotriz y otros (entre el 80 y el 90 % de los

cojinetes de rodamientos se lubrican con grasas lubricantes), en las que poseen ciertas ventajas comparadas con los aceites lubricantes, sobre todo cuando están sometidos o trabajan en un régimen de lubricación mixto o límite [5, 6].

Las grasas lubricantes biodegradables base vegetal constituye una opción sumamente importante para contrarrestar el impacto negativo medio ambiental provocado por las grasas lubricantes de origen mineral, las cuales hoy día son fabricadas en su generalidad a partir de los aceites de las semillas de plantas oleaginosas como la soya, girasol, ricino, palma, *Jatropha curcas* L. entre otras; además de ser un recurso renovable.

Por otro lado, en los últimos años se le ha prestado una atención especial a residuos agroindustriales y otros, pues alrededor del 70-85% de los costos de producción en la obtención biolubricantes (bioaceites y biograsas) se deben a los costos de las materias primas.

El Ecuador es el tercer país exportador mundial de plátanos, con una participación del 15 %, produciendo anualmente unas 763 455 toneladas de plátanos, donde aproximadamente el 50 % se consume en el país (70% de consumo animal, el 10 % se utiliza como abono y el 20 % para el consumo humano), de cuyas cáscaras como residuo se podría extraer unas 3 477 toneladas de aceite.

La literatura consultada no revela acerca de la fabricación o formulación grasas lubricantes biodegradables (biograsas lubricantes) empleando como aceite base, el aceite residual de cáscara de plátanos [30], así como el estudio de sus propiedades fisicoquímicas, de extrema presión, tribológico, su comportamiento reológico; así como su aplicación.

El objetivo del trabajo es mostrar una propuesta para la obtención y uso de grasas lubricantes biodegradables (Biograsas lubricantes) empleando como aceite base el aceite residual de cáscara de plátanos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En la fabricación de las grasas lubricantes biodegradables o biograsas lubricantes, como aceite base se empleará el aceite residual de la cáscara de plátanos, el cual será refinado y modificado químicamente, como espesante se empleará el jabón base calcio (hidróxido de calcio y ácido graso 12 hidroxisteárico), pues es este jabón el que funde a temperatura más baja y de esta manera el aceite no sufrirá grandes pérdidas de su estabilidad oxidativa y térmica, como aditivos pueden emplearse el acetato alfa tocoferol o la difenilamina alquilada como antioxidante y como aditivo antidesgaste el grafito, el disulfuro de molibdeno o el grafeno.

La fabricación de grasas jabonosas, tanto para las grasas que emplean aceites minerales, como para las que emplean aceites vegetales, consta de cuatro etapas principales: la saponificación del ácido 12 hidroxisteárico y el hidróxido de calcio, la disolución del jabón por calentamiento, la recristalización por enfriamiento y la homogenización.

De ahí que el 60 % del aceite base (aceite residual de la cascara de plátanos modificado químicamente) debe previamente calentarse en un reactor de 1 litro hasta los 60 °C, añadiéndose la mezcla del ácido 12 hidroxisteárico y el hidróxido de calcio con una relación molar de 1:1,10, luego se eleva la temperatura hasta los 90 °C manteniéndose una hora y media con agitación a 460 r.p.m., posteriormente se eleva la temperatura lentamente hasta 130 °C, manteniéndose a esta temperatura por un tiempo de 2 horas con agitación, luego se eleva la temperatura hasta 160 °C hasta fundirse el jabón, después la mezcla se enfría inmediatamente añadiéndole el 40 % restante del aceite base y cuando alcanza los 70 °C durante el enfriamiento, se le añade el aditivo antioxidante, siguiendo con agitación hasta enfriarse a la temperatura ambiente, obteniéndose la biograsa lubricante, posteriormente la misma se homogeniza en un homogenizador para obtener una estructura estable. El aditivo antidesgaste es añadido y distribuido homogéneamente.

Igualmente, una vez obtenida la biograsa lubricante, se determinan las propiedades fisicoquímicas, de extrema presión, tribológicas y biológicas; así como su comportamiento reológico, para posteriormente realizar las pruebas de campo en cojinetes de rodamientos y deslizamiento, donde las condiciones de trabajo o explotación se correspondan con las características y propiedades de la biograsa lubricante.

Los pasos a seguir en el trabajo o el procedimiento de la investigación en vista a cumplir con el objetivo del trabajo se muestra en la figura 1.

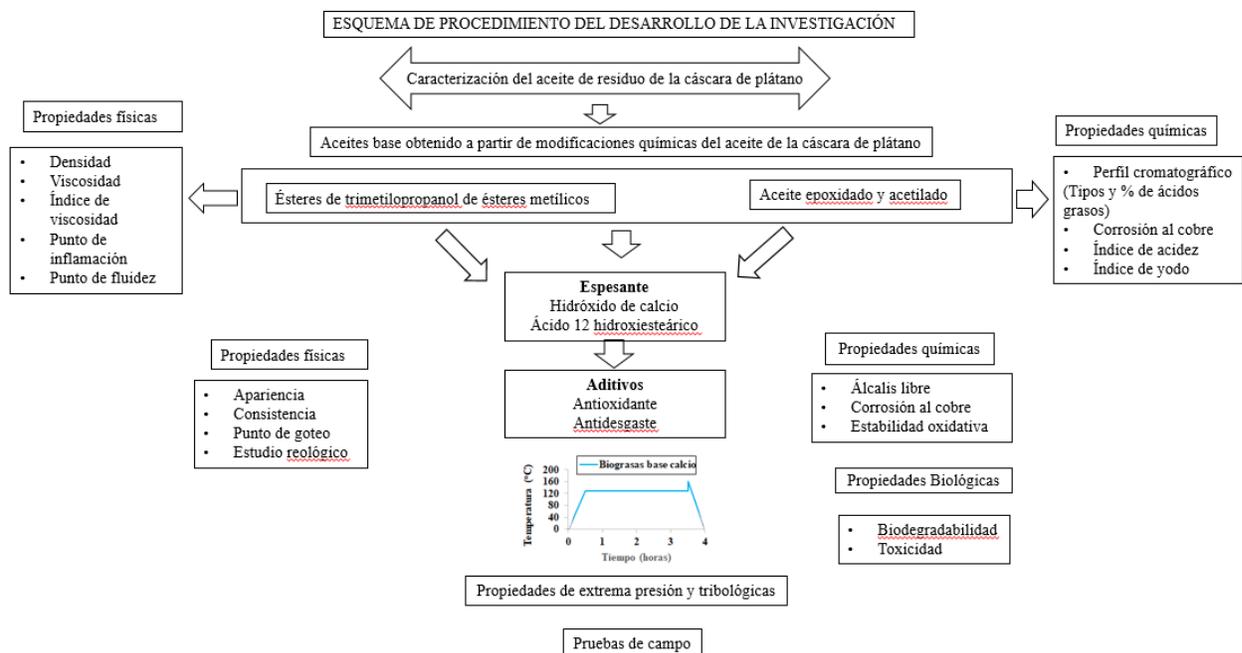


Fig. 1. Procedimiento de la investigación

En la caracterización de las propiedades de las grasas lubricantes, se emplean las normas que se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Normas de las propiedades de las biograsas lubricantes.

Propiedades	Norma	Unidad
Propiedades fisicoquímicas		
Penetración a 25 °C	ASTM D 217	Mm
Temperatura de goteo	ASTM D 566	°C
Alcali libre	ASTM D 128-98	% NaOH

Corrosión al cobre	ASTM D 130	-
Estabilidad oxidativa	ASTM D 942	°C
Propiedades de extrema presión		
Carga crítica	ASTM D 2596-97	N
Carga de soldadura		N
Propiedades tribológicas		
Coefficiente de fricción	ASTMD 2266-01	-
Diámetro de la huella de desgaste		Mm
Propiedades biológicas		
Biodegradabilidad	OECD 301F	%
Toxicidad	OECD 201	mg/l

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El procedimiento de la investigación y las normas empleadas aseguran la obtención adecuada de las grasas lubricantes biodegradables deseadas.

Las grasas lubricantes biodegradables obtenidas serán empleadas en cojinetes de rodamientos y deslizamiento que trabajen en condiciones de carga - temperatura moderadas y bajas velocidades, así como

en áreas ambientalmente sensibles, donde la biodegradabilidad y la toxicidad sean extremadamente importantes.

## CONCLUSIONES

Las grasas lubricantes biodegradables a partir del aceite residual de las cáscara de plátanos constituye una opción para disminuir el impacto negativo medio ambiental que generan las grasas lubricantes minerales.

## REFERENCIAS

1. Kluber Lubrication Munchen KG. (1990). Grasas lubricantes a base de aceite mineral y aceite sintético. Clasificación, selección y aplicación.
2. Mara, J. y Barrera, D. (2009). Temas selectos en aceites y grasas. São Paulo, Brasil.
3. Mendoza, G., Igartua, A., Fernández-Díaz, B. et al. (2011). Vegetable oils as hydraulic fluids for agricultural applications. *Grasas y Aceites*, 62 (1), 29-38.
4. Raimondas, K., Juozas, P., Broniówas, S. et al. (2011). Investigation of environmentally friendly lubricants". En: *Environmental Engineering - The 8th International Conference*. Vilnius, Lituania, 174-177.
5. Rodríguez, C. (2005). *Fundamentos de la Tribología*. Universidad de Oriente. Cuba.
6. Brajendra, S., Adhavyu, A., Pérez, J. et al. (2005). Soybean Oil Based Greases: Influence of Composition on Thermo-oxidative and Tribochemical Behaviour. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 53, 2961-2968.
7. Sukirno, Rizkon F., Setijo, B. et al. (2009). Biogrease Based on Palm Oil and Lithium Soap Thickener: Evaluation of Antiwear Property. *World Applied Sciences Journal*. 6(3), 401-407.
8. Brajendra, S., Adhavyu, A., Pérez, J. et al. (2006). Biobased grease with improved oxidation performance for industrial application. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 7594-7599.
9. Florea, O., Luca, M. y Steliean, C. (2004). Ecological lubricating greases. *Tribology in Industry*, 26, 1-2.
10. Brajendra, S., Adhavyu, A., Pérez, J. et al. (2005). Soybean Oil Based Greases: Influence of Composition on Thermo-oxidative and Tribochemical Behaviour. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 53, p. 2961-2968.
11. Kinnear, S. & Kranz, K. An Economic Evaluation of 12- Hydroxyl Stearic Acid and Hydrogenated Castor Oil as Raw Materials for Lithium Soap Lubricating Grease. (1998). *NLGI Spokesman*, 62 (5), 13-19.
12. N. Kato and H. Komiya, (2009). Lubrication Life of Biodegradable Greases with Rapeseed Oil Base, *J. of the Society of Tribologists and Lubrication Engineers*, 19-25.
13. Dwivedi, M. C.; Sapre, S. (2002). Total Vegetable Oil Based Greases Prepared from Castor Oil. *J. Synth. Lubr.* 19 (3), 229.
14. Erhan A., Perez J S. (2004). Preparation of Soybean Oil-Based Greases: Effect of Composition and Structure on Physical Properties. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 52, 6454-6459.
15. Adhavyua, A. Sung, C. Erhan, S. (2005). Fatty acids and antioxidant effects on grease microstructures. *Industrial Crops and Products*, 21, 285-291.
16. Barriga, J., Aranzabe, A., Galda, P. et al. (2006). Sunflower Based Grease for Heavy Duty Applications. *Mecânica Experimental*, 13, 129-133.

17. Ghazali, R., Yusof, M. y Ahmad, A. (2006). Non-Food Applications of Palm-Based Products – Market Opportunities and Environmental Benefits. *Palm Oil Developments*, 44, 8-14.
18. Florea, O., Vasile M. (2009). Biodegradable lubricating greases for special work conditions. *Scientific Problems of Machines Operation and Maintenance* 4 (160).
19. Sukirno, L. y Rizkon, F. (2010). Anti-wear properties of bio-grease from modified palm oil and calcium soap thickener“. *Agricultural Engineering International*, 12, (2), 64-69.
20. Sukirno L., Rizqon F, Bismo S., *et. al.* (2010). Formulation and Performance of Palm grease Using Calcium Soap. *The CIGR Ejournal*. Manuscript 1337, 12.
21. R.A.; Enas, A.Ismail. & Modather, F. Houssien. (2010). A Study on Preparation and Evaluation of Biogreases Based on Jojoba Oil and Its Derivates , The 13th International Conference on Petroleum & the Environment, Egyptian petroleum. Research Institute In Cooperation with EURO-Arab Cooperation Center & International Scientists Association, Egypt, 7-9.
22. Refaat A. El-Adly y Enas A. Ismail. (2011). Lubricating Greases Based on Fatty By-Products and Jojoba Constituents. *Tribology - Lubricants and Lubrication*. ISBN 978-953-307-371-2.
23. Awoyale A. A., Odubiyi O. A., Eloka-Eboka A.C. (2011). Production and Testing of Biodegradable Grease from Black-Date (*Canarium schweinfurthii*) Oil. *Journal of Innovative Research in Engineering and Sciences* 2(4).
24. Olisakwe, H.C., Tuleun, L.T., Eloka-Eboka. (2011). Comparative Study of *Thevetia peruviana* and *Jatropha curcas* seed oils as feedstock for Grease production. *Journal of Innovative Research in Engineering and Sciences* 2(4).
25. Sánchez Martínez, R. (2011). *Formulación y procesado de oleogeles para el desarrollo de nuevas grasas lubricantes biodegradables*. Tutor: Franco Gómez J. M. Gallegos Montes C. Tesis Doctoral. Departamento de Ingeniería Química, Química Física y Química Orgánica, Universidad de Huelva, España.
26. Hayder, A. A., Rosli, M. Y., Abdurrahman, H. N. et al. (2011). Lubricating grease from spent bleaching earth and waste cooking oil: Tribology properties“. *International Journal of the Physical Sciences*. (20), 4695-4699.
27. Kupčinskis R. Kreivaitis J. Padgurskas V., *et. al.* (2012). Modification of rapeseed oil and lard by monoglycerides and free fatty acids.. *Mechanika*. 18(1): 113-118.
28. Remedios P. D., Girma D, Hailemariam N. H., *et al.* Lubricant bio- grease obtained from sugar cane filter cake vegetable oil in Ethiopia. *International Journal of Scientific & Engineering Research* Volume 8, Issue 11, November-2017 681 ISSN 2229-5518.
29. Agrawal A., Karadbhaje , Pratibha., *et al.* (2022). Agrawal et al. Formulation of Biogreases derived from Mahua and Karanja Oil. *Research Square*.
30. Cecilia, J.A., *et al.* (2020). An Overview of the Biolubricant Production Process: Challenges and Future Perspectives. *Processes*, 8 (257). [Consultado 8 marzo de 2022]. ISSN 2227-9717. DOI: 10.3390/pr8030257.
31. Oladiji A. T., Yakubu M. T., IdokoStudies A. S., *et. al.* (2010). Studies on the physicochemical properties and fatty acid composition of the oil from ripe plantain peel (*Musa paradisiaca*). *African Scientist*. Vol. 11(1), 73-78.
32. Hamid, H. A., Masripan, N. A. B., Hasan, R., *et. al.* (2017). Tribological behavioural of bio-oil extracted from peel waste of *Musa aluminata balbisiana*, *Proceedings of Mechanical Engineering Research Day*, 1-2.

# CLUSTERING STUDY STRATEGIES BY MEANS UNSUPERVISED LEARNING AND SENTIMENT ANALYSIS

## *Agrupación de estrategias de estudio mediante aprendizaje no supervisado y análisis de sentimiento*

Osmany Joaquin Moreno-González<sup>1</sup>,

Maily Torres-Vivanco<sup>2</sup>,

Nicolás Quintana-Bernabé<sup>3</sup>,

Julio César Quintana-Zaez<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Informática y Ciencias Exactas, Universidad de Ciego de Ávila “Máximo Gómez Báez”, Cuba, osmanyjoaquin@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4916-3543>, Ing. Informático

<sup>2</sup>Facultad de Informática y Ciencias Exactas, Universidad de Ciego de Ávila “Máximo Gómez Báez”, Cuba, torresvivancom@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8185-1004>, MSc

<sup>3</sup>Universidad de Ciego de Ávila “Máximo Gómez Báez”, Cuba, nquintanab@gmail.com, <https://0000-0001-8371-4786>, Dr.C

<sup>4</sup>Facultad de Informática y Ciencias Exactas, Universidad de Ciego de Ávila “Máximo Gómez Báez”, Cuba, cjquintanazaez@gmail.com, <https://0000-0003-0823-0444>, Dr.C

### INTRODUCTION

Nowadays education is considered critical and indispensable for the country's development. Many reasons support this affirmation due to the areas directly influenced by education, such as medicine, politics, agriculture, industry, economy, culture and so on (Baldoceña-Ramírez et al., 2020), (León Rodríguez & Viña Brito, 2017). Student diversity and ever-changing educational environment integrated, imply that governments promoting innovation in the educational sector in order to understand the characteristics present throughout the learning process and the adaptation of students to it (Jara & Ochoa, 2020), (Islas Torres & Franco Casillas, 2018).

Artificial Intelligence and its overlapping research fields such as Statistics, Automatic and Machine Learning (ML) are a force in the innovation in the educational environment (Jara & Ochoa, 2020). Educational Data Mining (EDM) as a branch of ML inherits several characteristics from it and it can be a tool capable of providing and elucidating clues that help specialists, governments and people directly involved in general to improve education (Romero et al., 2010). EDM as an emerging interdisciplinary research field, it combines areas such as learning analytics, psychometrics, information technology, machine learning, database management system and computer science. Also, among the main objectives of the aforementioned research field lies, develop, investigate and apply computerized methods to detect patterns in educational data (Adebayo & Chaubey, 2019), (Hussain et al., 2018).

The teaching-learning process and the innovation in different aspects of educational environment, such as learning strategies, study methodologies, evaluation methods, creation of content and ways to process this content, among others are considered a hard task for the research community (León Rodríguez & Viña Brito, 2017), (Barrón Estrada et al., 2018) (De-La-Hoz et al., 2019), (Parra-Sánchez, 2022). In (Osmanoğlu et al., 2020) the authors developed an approach to understand the relation between students and study materials by means a research that employs sentiment analysis techniques to process the opinion that students of distance learning courses give about the interaction with various study materials. As results, they conclude that machine learning be able to understanding points of non-compliance that can be improved. In another research, an application of mobile technologies is used in a computational model called SocialMining (Gutiérrez Esparza et al., 2017), where the authors develop implementation of a Naïve Bayes model to support the analysis of the opinions (positive, negative and neutral) of students in the process of teacher performance evaluation.

Authors in (García, 2021), propose an alternative to detect learning styles throughout the use of learning platform. This research is supported by the use of automated learning techniques for Web mining and personalized recommendation techniques in order to make adjustments to the learning environment. First, in the learning styles prediction stage, the authors apply K-means algorithm to cluster learners according its similar characteristics and merges them into a learning styles groups. Second occur the recommendation process where text processing techniques are used to extract characteristics about the profile of the student resources, and in fact those resources with which the student interacts, then finally give a recommendation based on similarities between these resources combination.

In spite of the advances of the IA and its branches, remain uncovered investigation niches that attract the attention of the state-of-the-art, such as the sentiment analyses combined with patterns recognition in educational environment. For this reason, the present research aims to conduct a study by combining sentiment analysis and non-supervised machine learning to recognize patterns of student's opinion for different study strategies. This article is structured as follows: INTRODUCTION, where the presentation of the subject is made, the objectives are included, the most relevant works are briefly presented and the contributions of other authors to the subject under study are highlighted, as well as justifying the reasons why the research is carried out. This is followed by the METHODS section, which it describes the design of the research and explains how it was carried out, justifying the choice of methods and techniques. The RESULTS AND DISCUSSION section presents the results obtained after explaining the selected techniques and finally CONCLUSIONS, RECOMMENDATIONS and REFERENCES.

## MATERIALS AND METHODS

The present study uses information collected through surveys conducted with students of the Regular Day Courses and Non-Regular Workers Course of the Faculty of Informatics and Exact Sciences of the Ciego de Avila University "Máximo Gómez Báez". It should be noted that the data were collected with the full consent of the respondents and anonymously, after explaining to them the purpose of this research. In addition, they were given to the researchers after prior authorization by the Direction of the Faculty and the Faculty's Research Group. Totally were 65 surveys which after the acquisition were transcribed into a ".csv" format file.

### *FEATURE VECTOR*

This sub-section describes the data preparation and the process developed for training the learning model. In the present research we propose a features vector that employe the polarity of the student's opinion commented about different study strategies where they face challenging, non-challenging and generic subjects. First, the transformation of the textual data was carried out using an embedded algorithm. Where textual fields of the survey were processed by the embedded algorithm and converted into numerical values, such values representing the polarity opinion (positive, negative and neutral) of the students regarding their study strategies for different subjects classified as mentioned before. The embedded method is part of a sentiment analysis library called PySentiment which integrates several algorithms based on neural networks and most of them highly referenced in the state-of-the-art (Perez et al., 2021). At the end, **Table 1**, the transformation of the three comments columns leaves nine columns which constitute the features vector (3x3, columns multiply by the computed polarity values).

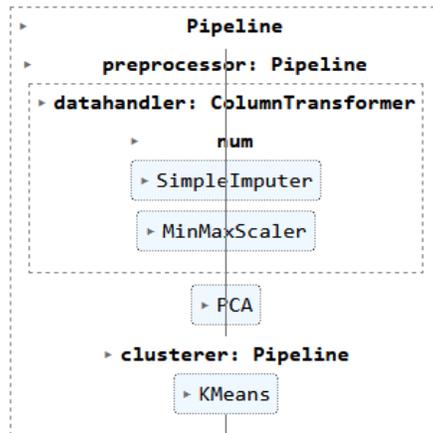
**Table 1.** Training feature vector description.

<b>Lecture category</b>	<b>Features</b>
Challenging	pos_a, neg_a, neu_a
Non-Challenging	pos_b, neg_b, neu_b
Generic	pos_c, neg_c, neu_c

ALGORITHM EMPLOYED

DATA PREPARATION

The preprocessing pipeline to data preparation and apply the algorithm was as follows, see **Figure. 1**: first, it is developed a process for data cleaning, which involved eliminating null and irrelevant records. Second, a dimension reduction process is carried out using a Principal Component Analyses (PCA) algorithm (Kassambara, 2017). And finally, a Kmeans algorithm is applied to clustering the data.



**Figure. 1.** Pipeline for preprocessing data and K-means algorithm application

**Figure. 1** shows the K-means algorithm pipeline, where once the data preparation process and PCA method application is finished the machine learning model proceeds.

EXPERIMENTATION SCHEME

In the state-of-the-art different algorithms can be used for pattern recognition based on machine learning, one of the most widely used is K-means. The following pseudo-code shows the basic steps for such algorithm, **Algorithm. 1**.

**Algorithm. 1.** K-means algorithm's pseudo-code

---

Input data:                    Dataset unlabelled

    K initial value for groups

Return: K groups

---

- 1.- Clustering algorithm(**K**):
  - 2.-        Select **K** random centroids
  - 3.-        **While** (if centroid values can change) **do**:
  - 4.-                    Assign data points to most closest **K<sub>i</sub>**
  - 5.-                    Re-computing **K** centroids to each group
  - 6.-        **End-While**
- 

The process for training and validation varies according to the type of learning method being worked with, which can be supervised or unsupervised. In case of unsupervised learning, there is no a target label attribute, so it is intended to generate clusters based on observed patterns in data. In particular, the dataset is not divided, and just only the algorithm parameters are updated to generate different clusters in the training data while satisfying an objective criterion. K-means is one of the simplest machine learning algorithms to understand, apply and interpret its results. However, despite its apparent simplicity, it is necessary to fit the parameters correctly so that the results obtained by the method are optimal. There are multiple ways to select the K parameter, such as Silhouette coefficient (Shahapure & Nicholas, 2020) that allows us to select an exact number of clusters for the datasets used. Therefore, in order to select the best clusters for K-means algorithm, the parameter K of the algorithm must be varied and Silhouette coefficient computed and

compared. Subsequently, the Silhouette coefficients value that maximizes the separation between clusters is selected.

## RESULTS AND DISCUSSION

In this section it's carried out the analysis and discussion of the research results. First, the results of the K-means algorithm fit are analyzed. Finally, we propose an interpretation of the clustering's results patterns by means the features importances.

### *K-MEANS FIT AND RESULTS*

Interpreting the result for the Silhouette scores involves observing how close the value obtained is to the interval limits [-1, +1], where, closest to +1 denotes that the elements within the clusters are highly cohesive and is therefore the best result. Otherwise, closest to -1 represents the opposite to aforementioned and around value 0 suggests that there is some overlap between the clusters. **Table 2** shows the result of applying Silhouette for the K-means algorithm using K=[2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10] values and PCA=[2, 3, 4, 5, 6, 7]. The results are structured as follows; the columns-axis corresponds to the K values for clusters generated and the row-axis to the values used for the number of PCA components used in the experimentation, and inside the cells the value computed for each combination K-PCA.

**Table 2.** Silhouette score average index for the different values of K and PCA

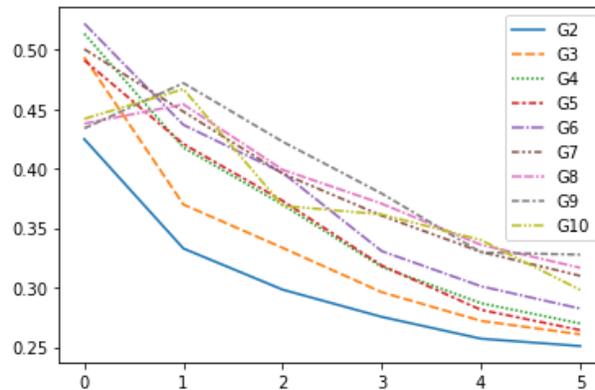
PCA/K	K=2	K=3	K=4	K=5	K=6	K=7	K=8	K=9	K=10
2	0,42	0,49	0,51	0,49	<b>0,52</b>	0,50	0,44	0,43	0,44
3	0,33	0,37	0,42	0,42	0,44	0,45	0,45	<b>0,47</b>	<b>0,47</b>
4	0,30	0,33	0,37	0,37	0,40	0,40	0,40	<b>0,42</b>	0,37
5	0,28	0,30	0,32	0,32	0,33	0,36	0,37	<b>0,38</b>	0,36
6	0,26	0,27	0,29	0,28	0,30	0,33	0,34	0,33	<b>0,34</b>

---

7	0,25	0,26	0,27	0,26	0,28	0,31	0,32	<b>0,33</b>	0,30
---	------	------	------	------	------	------	------	-------------	------

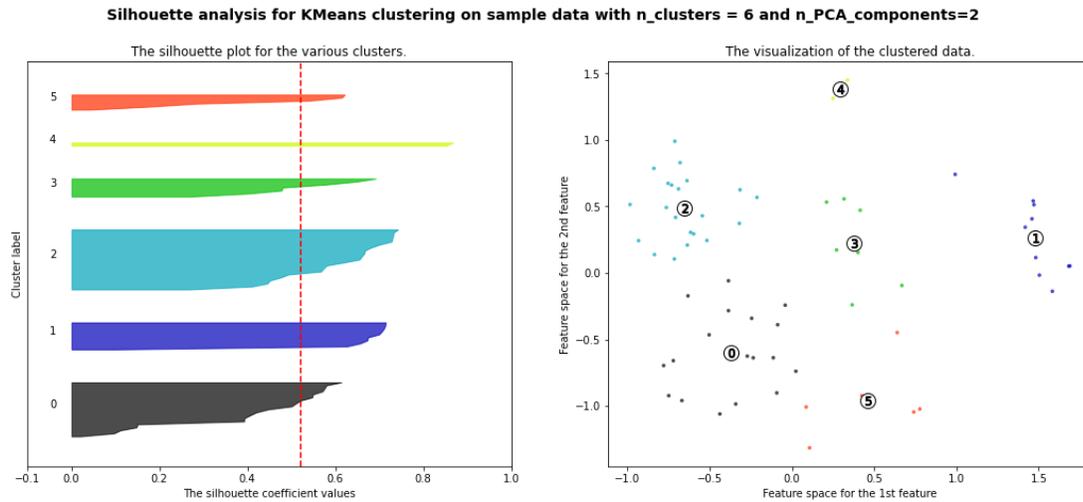
---

In **Table 2** we observe that, values for the metric employed are positive. The best performance for all K clusters is obtained for the PCA=2 row-axis. Even average value obtained for this K row is a round 0.47, that value suggest, that there is no a high level of overlap for clusters generated with PCA=2. However, it can be observed that the performance varies depending on the number of PCA components used. It is noteworthy that for two PCA components the indexes for the metric are approximately double the values observed when the larger number of components is used. The results show that for the combination of PCA=2 and K=6 the best results are obtained for the Silhouette index, with a value of 0.52 approximately. **Figure. 2** shows a line plot that, be able a better understanding the performance for all PCA and K combinations in proposed experimentation.



**Figure. 2.** Silhouette score for different number of PCA and K-cluster values

**Figure. 2** shows the performance achieved by K-means for different combinations of K while the number of PCA increases, each line in the plot representing a cluster performance. We can observe that, for values of K=2 combined with a number of PCA=6, the algorithm reaches the highest performance. **Figure. 3** shows the shape of the clusters created (left) and the distribution items inside the clusters (right).



**Figure. 3.** Result for the Silhouette Score when evaluating values of  $K=2$  and  $PCA=6$ .

**Figure. 3** shows the result of the Silhouette score for  $K=2$  and  $PCA=6$  proposed in the experimentation to select the best clustering. This plot be able a straightforward interpretation of the clustering results, where we can observe the clusters shape (left), the colored bars represent the data within each cluster, and the bars's length represent the Silhouette score obtained per cluster. The vertical dotted line is the average Silhouette index for the clustering. On the other hand, the bars width represents the number of elements within each cluster. Observing the results in **Table 2** and the red dotted line in the graph, on average, the Silhouette index is 0.52, and also we can inspect the number of elements within each cluster and their equality.

Taking into consideration terms of equality of each cluster, this plot (**Figure. 3**) can be used to measure whether the clusters are robust or not. As we can observe (right side of **Figure. 3**), there is not noise within clusters, due in the plot each point is more related to its respective centroid. It can also be observed that the clusters exceed the red vertical line indicating the average for the Silhouette index of the clustering (left side of **Figure. 3**); this suggests that there is no high overlap between clusters.

#### *EXTRACTING DETERMINANT FEATURES*

In this work we outline ourselves as objectives the interpretation of the results through the understanding which are the most determining features for clustering. These determining features then contribute to interpreting the patterns of the opinion by subject. To achieve this goal, a relatively simple algorithm was used, at first (1) prepare the data for a classification problem by means labelling data throught applying a OneVsAll strategy, second (2) train a classification algorithm, at this part we select RandomForest (RF) and ExtraTrees (ET), both well referenced methods in the state-of-the-art and also capable to compute features

importance, and thirth (3) extract features importance. The following **Table 3** shows the result of training the RF and ET methods, and it is structured as follows, the first column represents the clusters tags, the rest of the columns represent statistics for classification measures (Precision and Recall) and the Support Samples for training and testing process.

**Table 3.** Statistics summary for training and testing RandomForest and ExtraTree on labelled data.

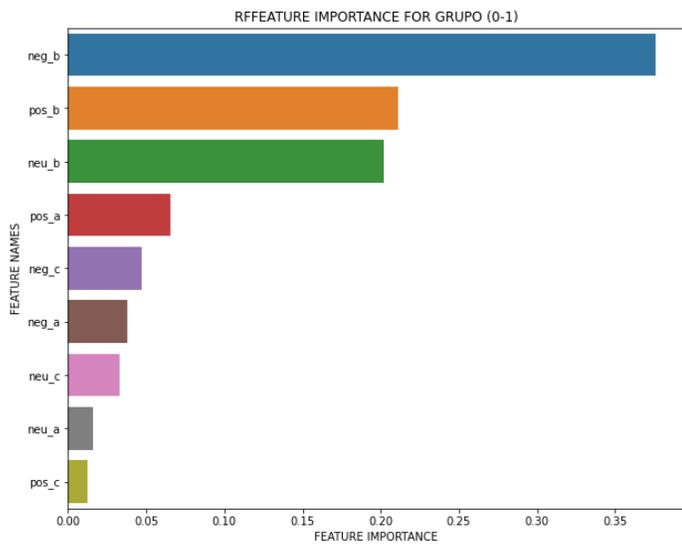
Statistics	Precision				Recall				Support Validation		Support Training	
	RF		ET		RF		ET		in	out	in	out
	In	out	in	out	in	out	in	out				
Cluster 0	<b>0.83</b>	<b>0.88</b>	<b>0.83</b>	<b>0.88</b>	0.71	0.93	0.71	0.93	7	15	12	31
Cluster 1	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	1.00	1.00	1.00	1.00	6	16	4	39
Cluster 2	<b>1.00</b>	<b>0.94</b>	<b>1.00</b>	<b>0.94</b>	0.83	1.00	0.83	1.00	6	16	15	28
Cluster 3	<b>0.00</b>	<b>0.90</b>	<b>1.00</b>	<b>0.95</b>	0.00	0.95	0.50	1.00	2	20	5	38
Cluster 4	<b>0.00</b>	<b>1.00</b>	<b>0.00</b>	<b>1.00</b>	0.00	1.00	0.00	1.00	0	22	2	41
Cluster 5	<b>0.00</b>	<b>0.95</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	0.00	1.00	1.00	1.00	1	21	5	38

**Table 3** shows training and testing summary statistics of RF and ET algorithms classification process in the clustering data previously labelling. First of all, analysing both metrics for the classification methods used, we can observe that, for the clusters 0,1,2 both algorithms performs similar. This behavior can be related to the characteristics of the algorithms, where both are decision trees ensemble with high level of

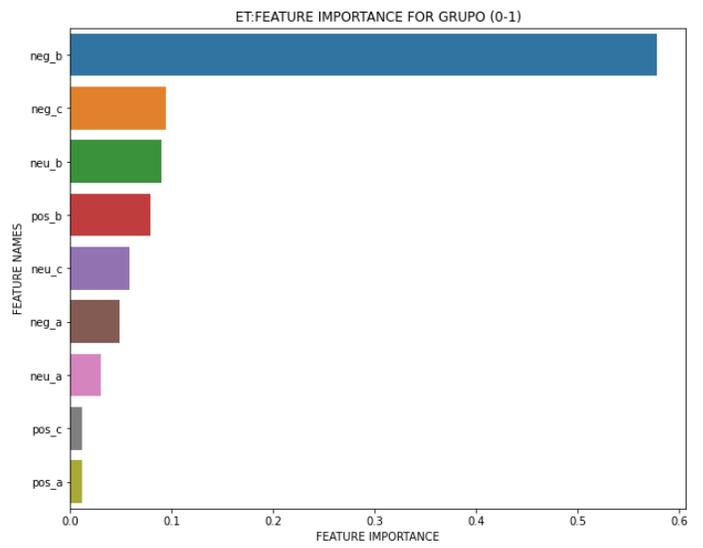
randomization. In another hand, the performance for clusters 3 and 5 is quite different, where ET is capable to classify the samples and RF is not. However, both algorithms perform poorly at cluster 4.

Carrying out a detailed analysis that allows contrasting the performance of the classification algorithms in the data used, we could state that, clusters 3 and 5 contain 1 and 2 samples for validation and 5 samples for training inside the class “in”. Otherwise for class “out” both clusters have a minimum number of samples of 20. This statistic suggests that the distribution of the classes for the classification problem is imbalanced. And also, particularly for those clusters, the samples class “in” are very few compared with other clusters like 0,1,2, as we can observe in **Table 3**. That configuration does not let the algorithms capable to learn correctly from the data. Even for cluster 4 there is no sample for validation data, therefore, the algorithms' result for that cluster are 0.

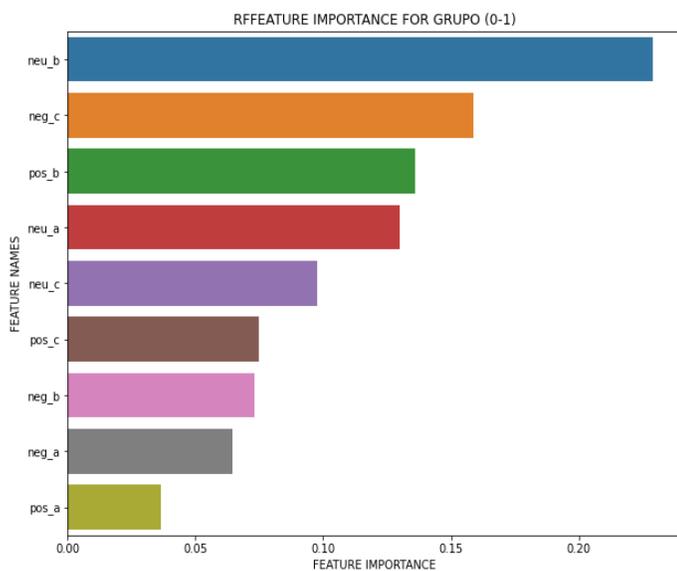
We can observe that for Precision, for clusters 0,1,2 the algorithm achieves values that range between 0.83 and 1.00 classifying correctly the samples inside the cluster (Class “in”). These results suggest that the features extracted by RF and ET for these clusters are highly discriminative. Also, ET is capable to achieve similar results in clusters 3 and 5, the algorithm shows values of 1.00 totally different to the results obtained by RF. This comparison suggests that, for those clusters the feature selection algorithm would be ET which achieves the better performance which means more discriminative features. Figures show a ranked top features by its importance, where on the y-axis are shown the feature names and on the x-axis are shown the values for the relevance calculated by RF and ET (**Figure. 4, Figure. 5, Figure. 6. Figure. 7**).



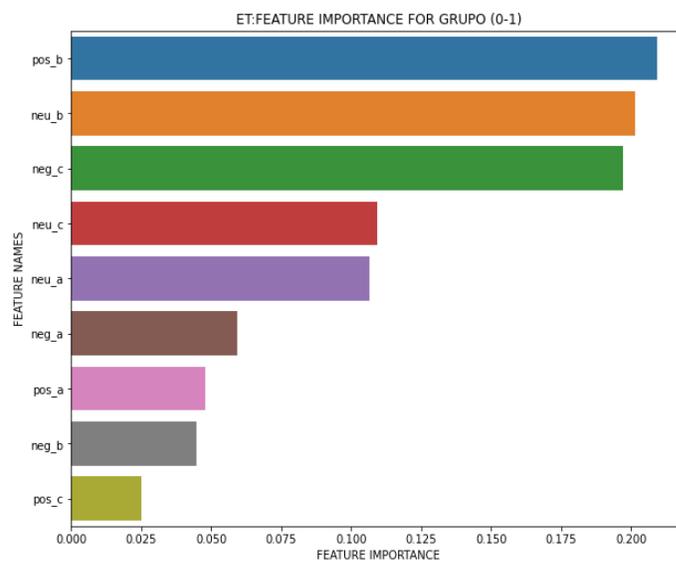
**Figure. 4** Features extracted from Cluster 1 by means RandomForest algorithm.



**Figure. 5** Features extracted from Cluster 1 by means ExtraTree algorithm.



**Figure. 6** Features extracted from Cluster 2 by means RandomForest algorithm.



**Figure. 7** Features extracted from Cluster 2 by means RandomForest algorithm.

In the Figures we can observe that, the features ranked at the top for the clusters created are represented by various subject categories (**Figure. 4, Figure. 5, Figure. 6. Figure. 7**). Furthermore, they shown the features interleaved according to their relevance, suggesting that the clustering is not entirely influenced by one subject category. Both algorithms agree in that for the Cluster 1 the most relevant attribute is the negative polarity emitted in non-challenging subject lectures. And for Cluster 2 the mos relevant feature is related to non-challenging subject lectures but with different criteria, where neural and positive opinion discriminate better that the other features. Overall, these features suggest that the non-challenging subject lectures are the most determining to separate the studens by means its opinion.

## CONCLUSIONS

As a conclusión of the present investigation we can mention that pattern recognition and sentiment analysis combined are capable to influentiate positively in educational datamining. We state that, different algoritms can be used to handle the problem of diversity in educational process. Also, by developing methods based on unsupervised learning, we can contribute to clustering study strategies by means the student's opinion, where as results we were capable to clustering student data into 6 clusters achieving a Silhouette score of 0.52, showing low level of noise and a high coesion. At the end, this clustering be able us to recobnize which features are more importance for student strategies facing different lectures. After training and testing a RandomForest and ExtraTree algorithms for feature extraction, the top ranked features by its importance

suggest that the opinion related to “non-challenging subject lectures” study strategies are predominant. This result can be a clue to know how to improve or correct the student performance.

#### ACKNOWLEDGMENT

We do not declare a conflict of interest. We thank all the people involved in the investigation, mainly the people surveyed, for their patience and time. We thank the teachers who lent their support and wisdom. We express our gratitude to the "Máximo Gómez Báez" University of Ciego de Ávila and the Faculty of Informatics and Exact Sciences of the mentioned university for their unconditional support.

#### REFERENCES

- Adebayo, A. O., & Chaubey, M. S. (2019). *Data mining classification techniques on the analysis of student's performance*. 7(4), 17.
- Baldoceda-Ramirez, A. J., Mamani Callohuari, H. A., & Saboya Ríos, N. (2020). *Modelo de aprendizaje supervisado para pronóstico de la deserción de estudiantes de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión—Lima*. Universidad Peruana Union.
- Barrón Estrada, M. L., Zatarain Cabada, R., Ramírez Ávila, S. L., Oramas-Bustillos, R., & Graff Guerrero, M. (2018). Uso de analizador de emociones en sistemas educativos inteligentes. *Research in Computing Science*, 147(6), 179-188. <https://doi.org/10.13053/racs-147-6-14>
- De-La-Hoz, E. J., De-La-Hoz, E. J., & Fontalvo, T. J. (2019). Metodología de Aprendizaje Automático para la Clasificación y Predicción de Usuarios en Ambientes Virtuales de Educación. *Información tecnológica*, 30(1), 247-254. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000100247>
- García, M. H. G. (2021). *Proceso de predicción de estilos de aprendizaje y recomendación de recursos educativos, basado en técnicas de aprendizaje automático para minería web y de recomendación personalizada* [Maestría]. Tecnológico Nacional de México.
- Gutiérrez Esparza, G., Margain Fuentes, L., Canul Reich, J., & Ramírez del Real, T. A. (2017). Un modelo basado en el Clasificador Naïve Bayes para la evaluación del desempeño docente. *RIED. Revista Iberoamericana de Educación a Distancia*, 20(2), 293. <https://doi.org/10.5944/ried.20.2.17717>
- Hussain, S., Dahan, N. A., Ba-Alwib, F. M., & Ribata, N. (2018). *Educational Data Mining and Analysis of Students' Academic Performance Using WEKA*. 9(2), 13.

Islas Torres, C., & Franco Casillas, S. (2018). Detección de patrones en competencias digitales manifestadas por estudiantes universitarios. *EduTec. Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, 64. <https://doi.org/10.21556/edutec.2018.64.1079>

Jara, I., & Ochoa, J. M. (2020). *Usos y efectos de la inteligencia artificial en educación*. Inter-American Development Bank. <https://doi.org/10.18235/0002380>

Kassambara, A. (2017). *Practical guide to principal component methods in R: PCA, M (CA), FAMD, MFA, HCPC, factoextra* (Vol. 2). Sthda.

León Rodríguez, G. de la C., & Viña Brito, S. M. (2017). La inteligencia artificial en la educación superior. Oportunidades y amenazas. *INNOVA Research Journal*, 2(8.1), 412-422. <https://doi.org/10.33890/innova.v2.n8.1.2017.399>

Osmanoğlu, U. Ö., Atak, O. N., Çağlar, K., Kayhan, H., & Can, T. (2020). Sentiment Analysis for Distance Education Course Materials: A Machine Learning Approach. *Journal of Educational Technology and Online Learning*, 3(1), 31-48. <https://doi.org/10.31681/jetol.663733>

Parra-Sánchez, J. S. (2022). Potencialidades de la Inteligencia Artificial en Educación Superior: Un Enfoque desde la Personalización. *Revista Tecnológica-Educativa Docentes 2.0*, 14(1), 19-27. <https://doi.org/10.37843/rted.v14i1.296>

Perez, J. M., Giudici, J. C., & Luque, F. (2021). *pysentimiento: A Python Toolkit for Sentiment Analysis and SocialNLP tasks*. <https://arxiv.org/abs/2106.09462v1>

Romero, C., Ventura, S., Pechenizkiy, M., & Baker, R. Sj. (2010). *Handbook of educational data mining*. CRC press.

Shahapure, K. R., & Nicholas, C. (2020). Cluster Quality Analysis Using Silhouette Score. *2020 IEEE 7th International Conference on Data Science and Advanced Analytics (DSAA)*, 747-748. <https://doi.org/10.1109/DSAA49011.2020.00096>

# ANÁLISIS NUMÉRICO-COMPUTACIONAL DE UNA SOLDADURA GTAW DE PLANCHAS DE ACERO HIPOEUTECTOIDE

*Numerical-computational analysis of a GTAW weld of hypoeutectoid steel sheets*

Yuniel Ernesto Martínez-Pérez<sup>1</sup>,

Daniel Cabezas-Abreu<sup>2</sup>,

René Collazo-Carceller<sup>3</sup>,

Tiel García-Hernández<sup>4</sup>,

José Arzola Ruizz

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, La Habana, Cuba, <http://orcid.org/0000-0002-8761-0076>

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, La Habana, Cuba, <http://orcid.org/0000-0002-6176-4819>

<sup>3</sup> Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, La Habana, Cuba, <http://orcid.org/0000-0001-9139-7231>

<sup>4</sup> Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, La Habana, Cuba, <http://orcid.org/0000-0002-0783-5209>

<sup>5</sup> Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría, La Habana, Cuba, <https://orcid.org/0000-0003-1128-2245>

## INTRODUCCIÓN

La simulación numérica ayuda a optimizar los parámetros del proceso durante las primeras etapas de un nuevo diseño, evitando las costosas reparaciones que podrían producirse posteriormente (Eren & Karasu Asnaz, 2021). Sepe et al. (Raffaele Sepe, Alessandro De Luca, et al., 2021; Raffaele Sepe, Venanzio Giannella, et al., 2021; R. Sepe et al., 2021) desarrollaron una simulación de un proceso de soldadura de una soldadura a tope de planchas de acero hipoeutectoide basados en el método de los elementos finitos, obteniendo resultados similares a la experimentación que realizaron.

Zhang y Shirzadi (Zhang & Shirzadi, 2018), Yu et al. (Yu et al., 2018) y Memon et al. (Memon et al., 2021), emplearon la simulación para estudiar termomecánicamente una unión soldada realizada por el método de fricción agitación tradicional. Memon et al. (Memon et al., 2021) comparan esta variante con otra

sumergida mostrando la existencia de mayores índices de deformación y menor viscosidad en la unión sumergida. Kulawik et al. (Kulawik et al., 2021) investigaron la relación entre la tecnología de soldadura por arco de tungsteno con gas (GTAW) y los parámetros de las condiciones de contorno para la simulación del proceso de tratamiento térmico de elementos de acero de medio carbono.

Un modelo termo-mecánico-metalúrgico de una soldadura híbrida para predecir el tamaño de la zona de fusión y la formación de fases fue empleado por Urbanczyk y Adamiec (Urbanczyk & Adamiec, 2021), Du et al. (Du et al., 2021) y Han et al. (Han et al., 2020). Los autores emplearon diferentes métodos de soldadura lo que muestra la amplitud de opciones de esta técnica. Chen et al. (Chen & Guedes Soares, 2021) utilizaron la simulación de procesos de soldadura para estudiar una unión soldada en “T” por el proceso *metal inert gas* (MIG) empleando muestras más grandes a las indicadas por las normas para ensayos de tracción. Concluyeron que los parámetros de soldadura tienen una influencia más significativa en las respuestas estructurales que la dimensión de la placa.

Alhafadhi y Krallics (Al-hafadhi & Krallics, 2021) y Hu et al. (Hu et al., 2017) mostraron un procedimiento para predecir los estados de esfuerzos residuales en soldaduras multipasadas. Llegaron a la conclusión de que la simulación 3D puede utilizarse para estimar los esfuerzos residuales en diferentes regiones de la soldadura y ayudar a ahorrar tiempo. Peric et al. (Peric et al., 2020) realizaron una simulación numérica y en una estructura soldada con parche circular de acero para investigar las distribuciones del campo de temperatura y esfuerzos residuales causadas por la aplicación de la tecnología de soldadura de soldadura de alta densidad de corriente.

Alhafadhi y Krallics (Hasan Alhafadhi & Krallics, 2020) estudiaron los efectos de la transformación de fase en estado sólido sobre las tensiones residuales durante la soldadura de aceros de bajo y alto carbono demostrando que los esfuerzos residuales en el acero de bajo carbono no son afectados por el cambio de volumen causado por la transformación austenita-martensita, mientras que los esfuerzos en el acero con alto contenido de sí. Mientras que Zhang et al. (Zhang et al., 2021) estudiaron la evolución y distribución de los esfuerzos residuales térmicos en una soldadura de pasada simple de un acero al carbono. Determinaron que la austenita subenfriada y la deformación debido a la transformación austenítica, fueron cruciales para predecir los esfuerzos residuales de soldadura.

El presente trabajo tiene como objetivo modelar los esfuerzos residuales, la distorsión y los ciclos térmicos de una soldadura por arco de tungsteno con gas (GTAW) de un acero de bajo carbono, empleando el método de los elementos finitos teniendo en cuenta las transformaciones microestructurales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se declaran los materiales de aporte y base empleados. Las propiedades termo-dependientes y el comportamiento microestructural se determinados a través de un software de modelación a partir de la composición química, límite elástico (LE) y resistencia a la tracción (RT) a temperatura ambiente de cada uno de los materiales involucrados.

Se empleó una placa de 200 x 100 x 4 mm (largo x ancho x espesor) de un acero ASTM A-210 Gr. A1 (B) con preparación de borde en “V” (ángulo de 60°). Como material de aporte se empleó un alambre ER 70s6 (A). La composición, LE y RT a temperatura ambiente para ambos materiales, así como los parámetros de soldadura empleados, se muestran en la tabla I.

ASTM A-210 Gr. A1	ER 70s6	Parámetros	Valores
C	0.27		R <sub>áiz</sub> R <sub>elleno</sub>
	0.025		
N	0.93	I: Intensidad de corriente (A)	103.7
	1.45		
P	0.035	v: Velocidad de soldeo (cm/min)	4.8
	0.008		
S	0.035	U: Voltaje (V)	12
	0.011		
S	0.10		
i	0.84		

r	C --	0.02 5
o	M --	0.00 2
	V --	0.00 2
i	N --	0.01 3
u	C --	0.12
E	L 255	470
T	R 415	573

Se estudiaron puntos en la base ( $y=0$ ), centro ( $y=2$  mm) y superficie ( $y=4$  mm) de la placa en su sección media ( $z=100$  mm) para analizar el comportamiento de los esfuerzos residuales y la distorsión en el espesor de la geometría. Los puntos en la coordenada  $x$  están a 0; 1; 1.5; 2,5; 5; 10; 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80 y 90 mm desde el centro del cordón de soldadura. Debido a la simetría de la unión respecto a la dirección de avance de la fuente, solo se modeló el proceso una de las dos placas a unir.

#### 2.4. Mallado

Se dividió la pieza en cuatro secciones que coinciden con las zonas de soldadura como se muestra en la Figura 1. Se utilizó una malla de 1 mm en la dirección de desplazamiento de la fuente de calor en la ZF siendo el más pequeño, mientras que para el MB se empleó una malla de 1.5 mm.

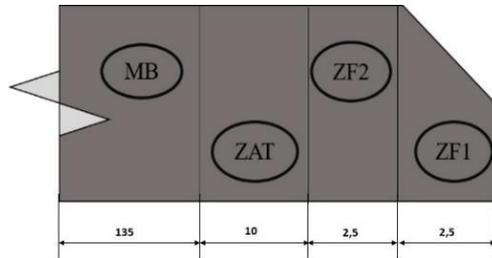


Figura 1. Seccionamiento para el mallado de las zonas de soldadura. Material Base (MB), Zona Afectada Térmicamente (ZAT) y Zona Fundida (ZF).

Se redujo el tamaño de la malla a 0,5mm para determinar la factibilidad del tamaño de los elementos mediante un análisis de convergencia de la temperatura máxima. Para la malla de 1mm se obtuvo una temperatura máxima de 1936,73°C y para la malla de 0,5mm fue de 1941,53°C como se observa en la Figura 2. Lo anterior representa un error relativo del 0,24% seleccionando la malla de 1 mm, resultando en 67452 nodos y 54145 elementos.

Se redujo el tamaño de la malla a 0,5mm para determinar la factibilidad del tamaño de los elementos mediante un análisis de convergencia de la temperatura máxima. Para la malla de 1mm se obtuvo una temperatura máxima de 1936,73°C y para la malla de 0,5mm fue de 1941,53°C como se observa en la Figura 2. Lo anterior representa un error relativo del 0,24% seleccionando la malla de 1 mm, resultando en 67452 nodos y 54145 elementos.

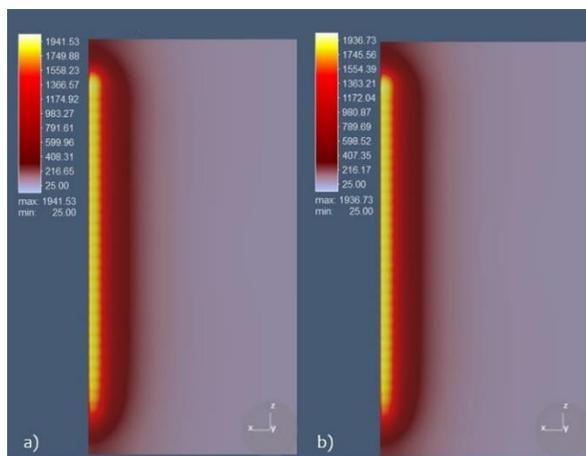


Figura 2. Convergencia de la malla empelada. a) Elementos de 0,5mm b) elementos de 1mm.

## 2.5 Simulación térmica

La simulación de procesos de soldadura suele realizarse en dos momentos. El primero corresponde al análisis térmico donde se obtiene la distribución de temperaturas en los componentes soldados. Según Masubuchi (Masubuchi, 1982) la ecuación de conducción de calor que gobierna el análisis térmico en sólidos está dada por la ecuación (1).

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = q + \lambda_x \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right) + \lambda_y \left( \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + \lambda_z \left( \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (1)$$

Donde  $\rho$  es la densidad ( $\text{kg}\cdot\text{m}^3$ ),  $c$  el calor específico ( $\frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$ ),  $\lambda_x, \lambda_y, \lambda_z$  la conductividad térmica ( $\frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$ ) en las tres direcciones (para materiales isotrópicos este coeficiente es el mismo en las tres direcciones y  $q$  el calor generado por unidad de volumen ( $\frac{\text{W}}{\text{m}^3}$ ).

Las pérdidas de calor al medio circundante por convección se consideran con el empleo de la ecuación 2 correspondiente a la ley de Newton (R. Sepe et al., 2021).

$$q_c = h(T - T_0) \quad (2)$$

Donde  $h$  es el coeficiente de convección ( $\frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}}$ ),  $T_0$  la temperatura ambiente (K) y  $T$  es la temperatura de la superficie (K). Las pérdidas por radiación están guiadas por la ecuación de Stefan-Boltzmann (ecuación 3) (R. Sepe et al., 2021).

$$q_r = eB(T^4 - T_0^4) \quad (3)$$

Donde  $e$  es el coeficiente de emisividad de la superficie del cuerpo y  $B$  la constante de Stefan-Boltzmann. Los valores de los coeficientes asociados a las condiciones de contorno térmicas se detallan en la tabla II.

Tabla 2. Coeficientes empleados en el análisis térmico para las condiciones de frontera. Fuente: Autor

Coeficiente	Valor
$h \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$	30
$T_0 \text{ (K)}$	298
$e$	0,8
$B \left( \frac{W}{m^2 \cdot K^4} \right)$	$5,67 \cdot 10^{-8}$
$\alpha \left( \frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$	1200

### 2.5.1 MODELO DE LA FUENTE DE CALOR

El flujo de calor volumétrico empleado es descrito mediante el modelo de Goldak (Goldak & Akhlaghi, 2005). La geometría del modelo se puede apreciar en la Figura 3 donde se observan sus diferentes parámetros geométricos. Este modelo combina dos fuentes elipsoidales, donde la mitad delantera está constituida por el cuadrante de una fuente elipsoidal y la mitad trasera por el cuadrante de otra. El modelo de Goldak es el más empleado dentro de la simulación de procesos de soldadura (Goldak & Akhlaghi, 2005).

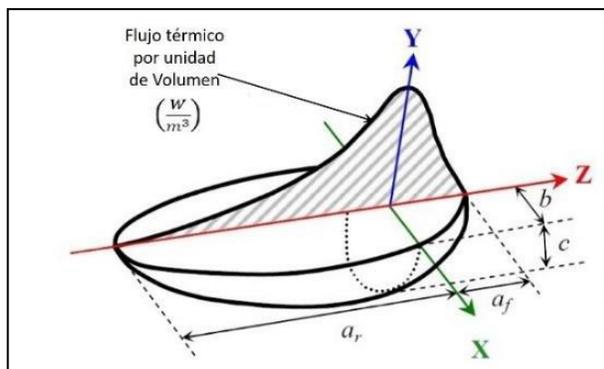


Figura 3. Distribución gaussiana de doble elipsoide de la fuente de calor (Modelo de Goldak). Fuente: (Xavier et al., 2016).

La configuración tridimensional del modelo de la fuente de calor empleado para los puntos que se encuentran en la zona delantera y trasera de la fuente viene dada por las ecuaciones 4 y 5 respectivamente (Goldak & Akhlaghi, 2005).

$$q(x,y,z)=\frac{6\sqrt{3}Qr_f}{cba_f\pi\sqrt{\pi}}e^{-3\left(\frac{x^2}{b^2}+\frac{y^2}{c^2}+\frac{z^2}{a_f^2}\right)} \quad (4)$$

$$q(x,y,z)=\frac{6\sqrt{3}Qr_r}{cba_r\pi\sqrt{\pi}}e^{-3\left(\frac{x^2}{b^2}+\frac{y^2}{c^2}+\frac{z^2}{a_r^2}\right)} \quad (5)$$

Donde  $a, b, c$  -parámetros dimensionales de la fuente de calor (m),  $r_f$  y  $r_r$  son coeficientes adimensionales de proporción de aporte del calor en la parte delantera y trasera respectivamente calculados según la ecuación 7 y 8 (Goldak & Akhlaghi, 2005). Y que deben cumplir que  $r_f + r_r = 2$ .  $Q$  es Aporte térmico efectivo del arco y se define según la ecuación 6 (Goldak & Akhlaghi, 2005; Lindgren, 2007; Silva et al., 2016; Silva et al., 2010).

$$Q=\frac{U*I*60}{v*1000}*\eta \quad (6)$$

Donde  $\eta=0,66$  es la eficiencia del proceso de acuerdo a lo planteado por Lindgren (Lindgren, 2007).

$$r_f=\frac{a_f}{(a_f+a_r)} \quad (7)$$

$$r_r=\frac{a_r}{(a_f+a_r)} \quad (8)$$

Los parámetros geométricos de la fuente de calor que se utilizaron se muestran en la tabla III.

Tabla 3. Parámetros geométricos de la fuente de calor. Fuente: Autor

Parámetro	Valor
af	6 mm
ar	15,1 mm
b	10 mm
d	2 mm
Parámetro	
o	1
Gaussian	
o	

## 2.6 SIMULACIÓN MECÁNICA

Los campos de temperatura obtenidos en el análisis térmico son empleados como cargas térmicas en el análisis estructural debido a las deformaciones generadas por las dilataciones térmicas. En el caso de análisis no lineales como los que se desarrollan en la simulación de procesos de soldadura, se asume una

descomposición de la deformación total ( $\varepsilon_{ij}$ ) en zonas según se muestra en la ecuación 9 y 10 (para el cálculo del esfuerzo).

$$\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ij}^e + \varepsilon_{ij}^p + \varepsilon_{ij}^{th} + \varepsilon_{ij}^{tp} + \varepsilon_{kl}^{tr} \quad (9)$$

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl} \left( \varepsilon_{ij} - \varepsilon_{ij}^p - \varepsilon_{ij}^{th} - \varepsilon_{kl}^{tp} - \varepsilon_{kl}^{tr} \right) \quad (10)$$

Donde  $\varepsilon_{ij}^e$  es la componente elástica,  $\varepsilon_{ij}^p$  la deformación plástica,  $\varepsilon_{ij}^{th}$  la deformación debida a la expansión térmica,  $\varepsilon_{ij}^{tp}$  la deformación plástica inducida por las transformaciones microestructurales,  $\varepsilon_{kl}^{tr}$  la deformación debida a los cambios de volumen asociados a la transformación,  $\sigma_{ij}$  el esfuerzo objetivo y  $C_{ijkl}$  el tensor constitutivo elástico.

La deformación térmica  $\varepsilon_{ij}^{th}$  se obtiene a través de la relación física de dilatación térmica (Goldak & Akhlaghi, 2005) reflejada en la ecuación (11).

$$\varepsilon_{ij}^{th} = \alpha(T - T_r) \quad (11)$$

Donde  $\alpha$  es el coeficiente de dilatación térmica del material,  $T$  la temperatura instantánea y  $T_r$  la temperatura de referencia donde la deformación térmica es nula (corresponde a la temperatura máxima de soldeo en procesos de enfriamiento) (R. Sepe et al., 2021).

Por su parte la componente elástica del material se determina mediante la ley de Hooke donde el módulo de Young termo-dependiente. La componente plástica se determina estableciendo el dominio elástico que, de manera general, se define en base al criterio de fluencia de Von Mises como muestran las ecuaciones (12) y (13).

$$\sigma_{eq} - \sigma_y < 0 \quad (12)$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy} + \tau_{yz} + \tau_{xz})^2} \quad (13)$$

Donde  $\sigma_{eq}$  es el esfuerzo equivalente de Von Mises,  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  y  $\tau_{xz}$  los esfuerzos normales y tangenciales que definen el estado tensional triaxial de un punto.

## 2.7 COMPORTAMIENTO MICROESTRUCTURAL DURANTE LA SOLDADURA

Se tuvo en cuenta el efecto de la microestructura en el proceso debido a que los aceros utilizados poseen una microestructura de tipo ferrítica. Para investigar la evolución microestructural del proceso de soldadura fue empleado el modelo Johnson-Mehl-Avrami-Kolmogorov (JMAK) basado en la teoría de recristalización difundida por Melvin Avrami que es ampliamente utilizada como modelo para analizar los procesos de transformación basados en la nucleación y el crecimiento. Describe, además, la cinética de los procesos de cristalización partiendo de una fase sólida cristalina (Fanfoni & Tomellini). El modelo es presentado en las ecuaciones (14) y (15), tomada de Fanfoni y Tomellini (Fanfoni & Tomellini).

$$X = \frac{V_f}{V_{eq}(T)} = 1 - e^{(-fN_r G_r^3 t^4)} \quad (14)$$

Donde  $X$  es el volumen de la fracción de la fase resultante,  $V_f$  es el volumen transformado,  $V_{eq}(T)$  es la cantidad de volumen en equilibrio de la fase en función de la temperatura  $T$ ,  $f$  es un factor de forma,  $N_r$  es la velocidad de nucleación,  $G_r$  es la velocidad de crecimiento y  $t$  es el tiempo.

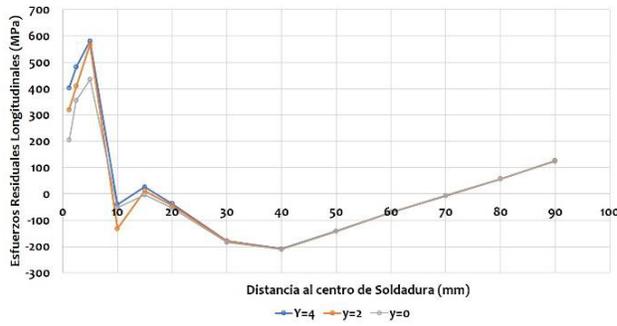
Para el caso donde ocurra una saturación en el lugar de nucleación entonces la ecuación (14) adopta la forma de la ecuación (15)

$$X = 1 - e^{(-fN_0 G_r^3 t^3)} \quad (15)$$

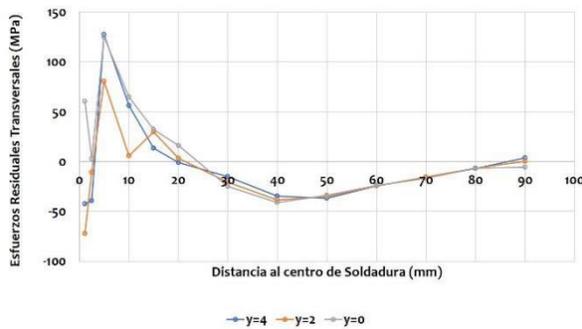
## 1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 ESFUERZOS RESIDUALES

Los esfuerzos residuales longitudinales se originan en sentido paralelo al cordón de soldadura (Radaj, 1992) mientras que los transversales lo hacen en la dirección perpendicular. En la Figura 4a se muestran los esfuerzos residuales longitudinales y en la Figura 4b los transversales en la base ( $y=0$ ), centro ( $y=2$  mm) y superficie ( $y=4$  mm), según la distancia al centro de soldadura en la sección media ( $z=100$  mm).



a)



b)

Figura 4. Comportamiento de los esfuerzos residuales en función de la distancia al centro de soldadura a) longitudinales b) transversales.

En las zonas cercanas a la línea central de soldadura (hasta los 10 mm) se presentan altos valores de esfuerzos residuales longitudinales tractivos debido a la resistencia a la contracción del material cuando inicia la fase de enfriamiento. Luego, disminuyen hasta cero, a medida que aumenta la distancia al centro del cordón de soldadura, tornándose compresivos (15-70 mm) en las zonas más alejadas. Pasados los 70 mm comienzan a ser de tracción nuevamente, coincidiendo con lo planteado en la literatura especializada (Goldak & Akhlaghi, 2005; Lindgren, 2007) para el comportamiento general de los esfuerzos residuales longitudinales y con los reportados por Sepe et al. (Raffaele Sepe, Alessandro De Luca, et al., 2021). Un comportamiento similar se aprecia en el espesor de la placa.

El máximo valor de esfuerzo longitudinal tractivo se encontró a los 5 mm del centro de soldadura (580,842 MPa) en la superficie, donde la fuente de calor tiene contacto directo con la placa; mientras que el de compresión se observó sobre los 40 mm (-200 MPa). Estas diferencias se justifican en la distribución de la temperatura y en el posterior enfriamiento al que es expuesta la placa, los cuales no ocurren simultáneamente en la superficie y el interior de esta.

Se observan diferencias en el comportamiento de los esfuerzos residuales transversales en el centro del cordón. En la superficie (y=4) resultaron ser de compresión, mientras que en la base comenzaron siendo de

tracción. A los 5 mm los esfuerzos en la superficie alcanzan el mayor valor (127.451 MPa) superando a los esfuerzos en el centro y base de la placa (125.129 MPa y 80,2518 MPa, respectivamente).

Los valores de los esfuerzos residuales transversales resultaron ser menores que los obtenidos para los esfuerzos longitudinales en cualquier sección del espesor de la placa en la vecindad de los 10 mm de distancia al centro de soldadura. Luego de los 20 mm ambos tipos de esfuerzos disminuyen a cero para luego transformarse en esfuerzos de compresión. Aun en esta situación las magnitudes de los esfuerzos residuales longitudinales continúan siendo mayores que los transversales.

### 3.2 DISTORSIÓN

En la Figura 5 se describe el comportamiento de la distorsión total contra diferentes longitudes respecto al centro de soldadura para ( $y=4$ ;  $y=2$ ,  $y=0$ ) en la sección media de la placa ( $z=100$ ).

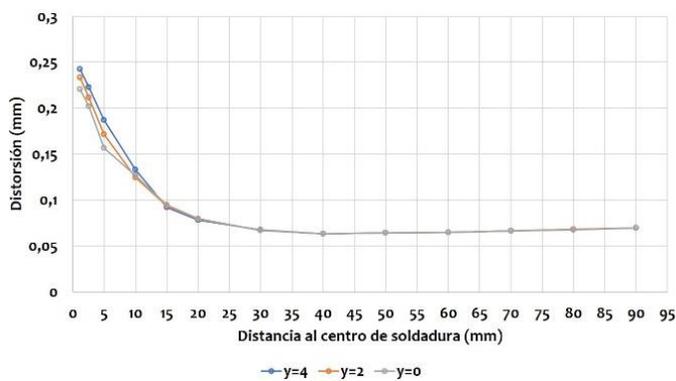


Figura 5. Comportamiento de distorsión en función de la distancia al centro de soldadura.

Las mayores magnitudes de distorsión se observan en las zonas cercanas al centro de soldadura. Los valores tienden a disminuir con el aumento de la distancia al centro del cordón. Hasta los 5 mm se observan las mayores diferencias en el comportamiento de la distorsión según el espesor de la placa. Esto se debe al efecto de la dilatación y contracción del material durante el proceso de soldadura. Las magnitudes de distorsión en la superficie tienden a ser mayores que para el centro y la base de la placa, además disminuyen en el espesor. A partir de los 5 mm, la distorsión, en los tres puntos del espesor analizados, es similar.

El comportamiento de la distorsión coincide con la relación entre la distorsión y los esfuerzos residuales reportados por la literatura especializada. El comportamiento observado en la distorsión hasta los 5 mm coincide con el aumento de los esfuerzos residuales longitudinales y transversales. A partir de los 20 mm el comportamiento de la distorsión en el espesor parece estar relacionado con la transformación a esfuerzos residuales de compresión, tanto para los transversales como para los longitudinales. La relación entre estos

dos fenómenos de soldadura es consistente con lo reportado en la literatura especializada (Goldak & Akhlaghi, 2005).

Las diferencias entre las magnitudes de distorsión en los distintos puntos del espesor analizados coinciden con las observadas en estos puntos para los esfuerzos longitudinales y transversales. Antes de los 20 mm los comportamientos de los fenómenos estudiados no parecen coincidir, sin embargo, cuando la distorsión es similar en los tres puntos del espesor luego de los 20 mm, los esfuerzos en los tres puntos del espesor también parecen coincidir.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se presenta un modelo numérico, basado en el MEF, para la simulación de un proceso de soldadura destinado a realizar una unión a tope con ranura en V de dos pasadas. Para evaluar las tensiones residuales, se ha realizado un análisis termo-mecánico no lineal en 3D. La originalidad de la técnica propuesta se encuentra en la simulación de la interacción que se produce entre el material de aporte y el material base durante el proceso de soldadura, considerada escasamente en la literatura debido a que se consideran procesos autógenos y que no sufren cambios microestructurales debido al tipo de acero que generalmente se emplea. Como resultado, fue posible predecir los esfuerzos residuales que afectan a la unión, causados por las distorsiones térmicas. Existe una marcada diferencia entre los esfuerzos residuales longitudinales y los transversales en las zonas cercanas a la línea central de soldadura. La magnitud de la distorsión y de los esfuerzos residuales está influenciada por el espesor de la placa.

## Referencias Bibliográficas

- Al-hafadhi, M. H., & Krallics, G. (2021). Prediction and numerical simulation of residual stress in multi-pass pipe welds. *Pollack Periodica*, *16*(2), 7-12. <https://doi.org/https://doi.org/10.1556/606.2020.00127>
- Chen, B. Q., & Guedes Soares, C. (2021). Experimental and numerical investigation on welding simulation of long stiffened steel plate specimen. *Marine Structures*, *75*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.marstruc.2020.102824>
- Du, Z., Sun, X., Ng, F. L., Chew, Y., Tan, C., & Bi, G. (2021). Thermo-metallurgical simulation and performance evaluation of hybrid laser arc welding of chromium-molybdenum steel. *Materials and Design*, *210*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matdes.2021.110029>
- Eren, I., & Karasu Asnaz, M. S. (2021). Finite Element Simulation and Experimental Validation of Welding Distortion of Fillet Welded T-joints. *Journal of Polytechnic*. <https://doi.org/https://doi.org/10.2339/politeknik.881438>

- Fanfoni, M., & Tomellini, M. (1998). The Johnson-Mehl-Avrami-Kolmogorov model: A brief review. *Nuovo Cimento della Societa Italiana di Fisica D - Condensed Matter, Atomic, Molecular and Chemical Physics, Biophysics*, 20(7), 1171-1182. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/BF03185527>
- Goldak, J. A., & Akhlaghi, M. (2005). *Computational Welding Mechanics*. Springer US. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/b101137>
- Han, Y., Chen, J., Ma, H., Zhao, X., & Wu, C. (2020). Numerical Simulation of Arc and Droplet Behaviors in TIG-MIG Hybrid Welding. *Materials*, 13, 1-15. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ma13204520>
- Hasan Alhafadhi, M., & Krallics, G. (2020). Numerically simulated prediction of residual stresses in welding considering phase transformation effects. *Journal of Physics: Conference Series*, 1527(1), 1-9. <https://doi.org/https://doi.org/10.1088/1742-6596/1527/1/012017>
- Hu, Z., Qin, X., & Shao, T. (2017). Welding Thermal Simulation and Metallurgical Characteristics Analysis in WAAM for 5CrNiMo Hot Forging Die Remanufacturing. *Procedia Engineering*, 207. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.982>
- Kulawik, A., Wróbel, J., & Sobiepański, M. (2021). Experimental and simulation of C45 steel bar heat treatment with the GTAW method application. *Heat and Mass Transfer/Waerme- und Stoffuebertragung*, 57(4), 595-604. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00231-020-02964-0>
- Lindgren, L. E. (2007). *Computational Welding Mechanics: Thermomechanical and Microstructural Simulations*. Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/https://doi.org/10.1533/9781845693558>
- Masubuchi, K. (1982). *Analysis of welded structures: Residual stress, distortion, and their consequences* (Vol. 15). Pergamon Press. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0026-0800\(82\)90012-x](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0026-0800(82)90012-x)
- Memon, S., Tomków, J., & Derazkola, H. A. (2021). Thermo-mechanical simulation of underwater friction stir welding of low carbon steel. *Materials*, 14(17), 1-17. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ma14174953>
- Peric, M., Nizetic, S., Tonkovic, Z., Garasic, I., Horvat, I., & Boras, I. (2020). Numerical simulation and experimental investigation of temperature and residual stress distributions in a circular patch welded structure. *Energies*, 13(20), 1-11. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/en13205423>
- Radaj, D. (1992). *Heat Effects of Welding. Temperature Field, Residual Stress, Distortion*. Springer. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-642-48640-1>
- Sepe, R., De Luca, A., Greco, A., & Armentani, E. (2021). Numerical evaluation of temperature fields and residual stresses in butt weld joints and comparison with experimental measurements. *Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures*, 44(1), 182-198. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/ffe.13351>

- Sepe, R., Giannella, V., Greco, A., & De Luca, A. (2021). FEM simulation and experimental tests on the smaw welding of a dissimilar t-joint. *Metals*, *11*(7). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/met11071016>
- Sepe, R., Greco, A., De Luca, A., Caputo, F., & Berto, F. (2021). Influence of thermo-mechanical material properties on the structural response of a welded butt-joint by FEM simulation and experimental tests. *Forces in Mechanics*, *4*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.finmec.2021.100018>
- Silva, C. C., De Assis, J. T., Philippov, S., & Farias, J. P. (2016). Residual stress, microstructure and hardness of thin-walled low-carbon steel pipes welded manually. *Materials Research*, *19*(6), 1215-1225. <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2016-0217>
- Silva, C. C., de Souza Neto, A. B., da Silva, F. D. A., de Freitas, F. E. S., & Farias, J. P. (2010). Welding of the ASTM a106 Gr. B steel pipes for high-temperature service - part 2 - microstructure and hardness. *Welding International*, *24*(3), 231-240. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/09507110902843958>
- Urbanczyk, M., & Adamiec, J. (2021). Hybrid Welding (Laser–Electric Arc MAG) of High Yield Point Steel S960QL. *Materials*(14). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ma14185447>
- Xavier, C. R., Delgado, H. G., De Castro, J. A., & Ferreira, A. F. (2016). Numerical predictions for the thermal history, microstructure and hardness distributions at the HAZ during welding of low alloy steels. *Materials Research*, *19*(3). <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2015-0068>
- Yu, H., Zheng, B., & Lai, X. (2018). A modeling study of welding stress induced by friction stir welding. *Journal of Materials Processing Technology*, *254*, 213-220. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2017.11.022>
- Zhang, C., & Shirzadi, A. A. (2018). Measurement of residual stresses in dissimilar friction stir-welded aluminium and copper plates using the contour method. *Science and Technology of Welding and Joining*, *23*(5), 394-399. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.1080/13621718.2017.1402846>
- Zhang, K., Dong, W., & Lu, S. (2021). Finite element and experiment analysis of welding residual stress in S355J2 steel considering the bainite transformation. *Journal of Manufacturing Processes*, *62*(December 2020), 80-89. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.12.029>

# ESTUDIO DE POTENCIAL DE LA TECNOLOGÍA HIDROELÉCTRICA DE BOMBEO EN CUBA: CASO DE ESTUDIO DEL PROYECTO MAYARÍ

## *Potential assessment of pumped storage technology in Cuba: The Mayarí project case study*

Leonardo Peña-Pupo<sup>1</sup>,

Ramón Hidalgo-González<sup>2</sup>,

Ingrid N. Vidaud-Quintana<sup>3</sup>,

Jyrki Luukkanen<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Control Automático, Universidad de Oriente, Cuba, leonardo.pena@uo.edu.cu, Orcid 0000-0003-3779-9576

<sup>2</sup> Dirección de Inversiones, Empresa de Fuentes Renovables de Energía (EMFRE), Cuba, hgonzalez@emfre.une.cu

<sup>3</sup> Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Oriente, Cuba, ingrid@uo.edu.cu, Orcid 0000-0001-8067-1899;

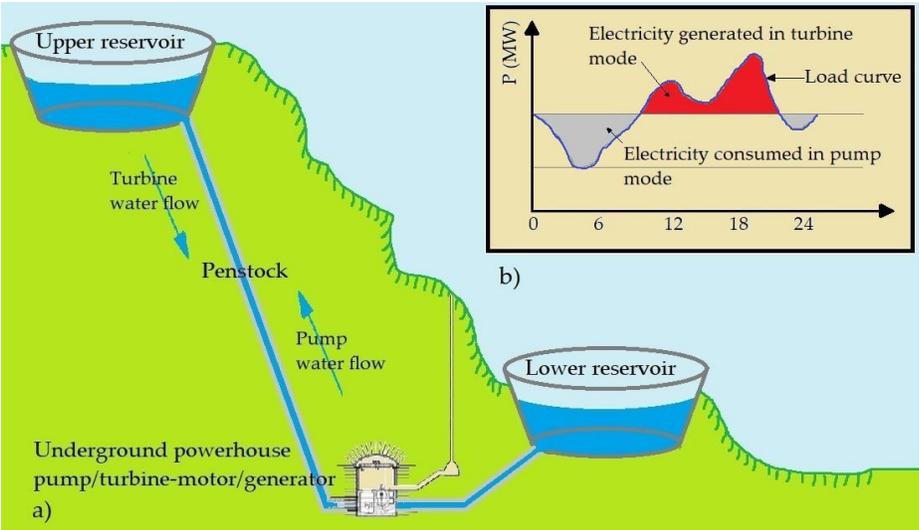
## INTRODUCTION

Power systems evolution towards high penetration of renewable production has been under extensive research already for years. Nevertheless, the stochastic nature of variable renewable energies (VRE) like solar PV or wind, demands energy storage technologies to maintain the stability of the power system grid. Energy storage, among other technologies, has been one of the most popular topics in recent engineering-related conferences and renewable energy journals. Currently, pumped hydro energy storage (PHES) is one of the most suitable technologies of massive energy storage for small autonomous island grids (He et al., 2021; Rehman et al., 2015). According to the International Hydropower Association (IHA)'s Hydropower Status Report 2021, PHES plants currently account for over 90 per cent of the world's grid-scale energy storage applications, with 160 GW of installed capacity and 9000 GWh in energy storage capacity by the end of 2020 (IHA, 2021).

PHES has been in use for more than a century to store the surplus of electricity production. Currently, PHES is the most used Electrical Energy Storage (EES) for power system applications (He et al., 2021). These facilities are the most efficient and practical large-scale energy storage systems, with typical overall efficiency in the range of 70–85%. PHES, like the scheme shown in Figure 1 a), entails pumping water from a lower reservoir to a nearby upper reservoir when there is surplus power generation (typically in early morning) and allowing the water to return to the lower reservoir through a turbine to generate electricity

when there is a supply shortfall (generally during the evening or night)

As shown in Figure 1 b), the PHES aims to flatten the demand curve of the electrical system, consuming electricity at times when there is little demand and generating at those when demand is maximum. In a few minutes, they are capable of operating, which gives them advantages that are not always economically evaluated for the reliability of the electrical system to which they are connected (Menéndez et al., 2020; Nibbi et al., 2022).



**Figure 1.** PHES operation principle (a) and typically Cuba's daily load curve (b).

The Current Cuban electric sector is fossil-based at more than 95 percent [6]. Hydropower and other renewable energy sources (including wind and solar power) contributed slightly less than 2 per cent combined [7,8]. Electricity from renewable sources in 2021 represented 4 per cent, including sugar cane biomass. To change the current electricity situation, the Cuban government has elaborated a policy to increase generation by renewable sources of energy to 24% of the primary energy sources by 2030. With the future installation of the 700 MW with photovoltaic generation and the 680 MW with wind energy [9], according to the future planning of the Cuban Electric System and under normal operating conditions, intermittent energy could be stored in PHES plants. Some research work states that Cuban electrical system needs to add energy storage capacities, control strategy and to increase flexibility capacity [6,9].

The flexibility of PHES plants allows large thermal and nuclear power plants to operate most efficiently at their peak production. This was the main motivation for the development of pumped-storage technology in the 1980s in Cuba (Pupo. Leonardo Peña & González. Ramón Hidalgo, 2019) with the first PHES project in Fomento municipality. Unfortunately, the Fomento pumped hydro project was stopped in the early

beginning when the Cuban government decided to no longer continuously install the nuclear power plant of Juraguá in Cienfuegos Province during the 1990s. Today, PHES plants in the Cuban electrical grid could play a greater role than previously thought. PHES may be the enabling technology that allows for the higher penetration of VRE into the grid. Nevertheless, due to the generation of the VRE's stochastic nature, flexible energy storage capacity is needed to improve its grid integration. So, variable-speed PHES technologies could be the best solution to VRE integration in Cuba.

The coincidence of the maximum generation of the grid connected PV plants and the relative low demand at those times compared to the maximum demand peak, is considered to be of added value for PHES investment. This technology and others that pursue the accumulation of energy are of vital importance for the electrical system of any country in the 21st century with a high presence of VRE. However, the greatest advantage of this technology over other storage technologies is its large storage capacity. Another great advantage for the stability of the electrical system is the contribution to grid inertia, mainly from generator inertia

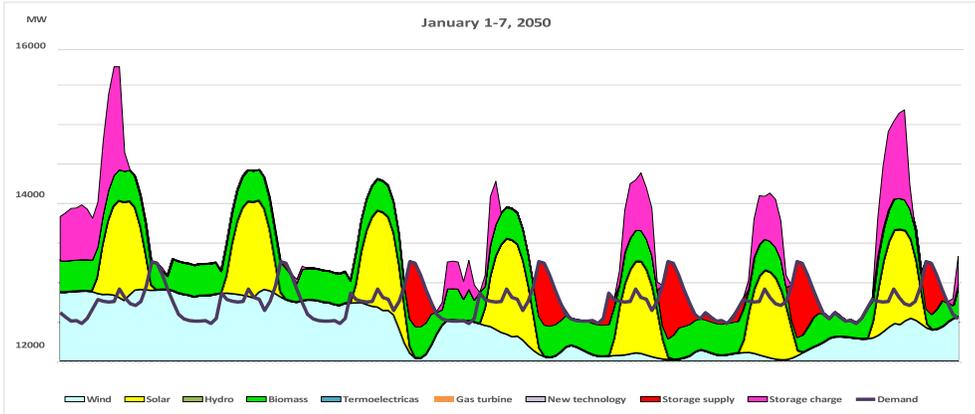
This paper presents for the first time the updated potential of PHES deployment in Cuba and the future role of this technology in a necessary fossil-based matrix change. In addition, there are, assessed from the technical point of view, the advantages of renewable integration in the construction of the Mayarí PHES project. The remainder of the paper is organized as follows: In Section 2 we present a review of the main PHES advantages and some drawbacks for current Cuban electrical grid. In Section 3 we investigate and present for the first time the historical and technological background of PHES projects in Cuba. Following, in Section 4, we discuss about Cuban Eastern region for PHES deployment potentialities and present the Mayarí PHES case study for high VRE integration. Section 4.1 presents the main project data of Mayarí PHES, and current Cuban challenges for PHES deployment. Lastly, Section 5 offers some conclusions and an outlook for further research.

## REVIEW OF THE MAIN ADVANTAGES OF PHES FOR THE CUBAN ELECTRICAL GRID

The Current Cuban electrical grid has no storage facilities. So, PHES projects could increase grid flexibility and stability. After a category 3 Ian hurricane hit Cuba on September 27 (2022), a blackout for about three days occurred. Frequency instability caused the electrical system to go down showing lack of flexibility and low frequency control capacities (Coban et al., 2022; Peña-Pupo et al., 2022), both primary and secondary. This could be improved by adding energy storage capacities.

According to Luukkanen, *et al.* (2022) (Luukkanen et al., 2022b), the future Cuban electrical grid needs storage capacity investments in pumped storage and hydrogen. Using the Long-range Integrated Development Analysis (LINDA) model to evaluate future scenarios for Cuba (Alberto Alvarez et al., 2021),

in (Luukkanen et al., 2022b) it is proposed to invest in PHES projects in Cuba. The LINDA model has been used to model future energy systems in some countries (Alberto Alvarez et al., 2021). This model for Cuba is named *CubaLinda* model (Luukkanen et al., 2022a). It is an Excel-based tool built to create future scenarios for energy analysis.



Cuba’s 2050 first week scenario is shown in Figure 2 with the *CubaLinda* model. Electricity demand could be flattened using storage charge (like PHES) at high shares of VRE sources and supply electricity at maximum peak demand.

**Figure 2.** Cuba’s future energy scenario at 2050. Source:(Luukkanen et al., 2022b)

PHES plants can provide inertia and load balancing services to the grid. In the case of variable speed technology, they can provide response times in seconds or even milliseconds (Coban et al., 2022; Vasudevan et al., 2021). Despite other storage technologies, PHES is a technically matured and economically viable option for large scale energy storage (Vasudevan et al., 2021). This technology has offered cost-effective grid services and balancing for decades. Whereas the oldest installations (1970s) were mostly provided with reversible pump-turbine units at fixed speed (synchronous machines), current

installations are often provided with variable speed units (Koochi-Fayegh & Rosen, 2020), which increase PHES availability, efficiency and grid flexibility.

Variable speed PHES has great potential in providing flexibility for power systems to help solve the frequency control problem caused by VRE (Z. Zhao et al., 2022). Despite the cost increment, variable speed PHES could be able to provide about 33% more flexibility than traditional fixed-speed pumped-storage units, according to (Xu et al., 2023). Other remarkable characteristics of PHES plants are low operation and maintenance costs (Koochi-Fayegh & Rosen, 2020) and long lifetime, typically 50 years for electromechanical machines to 100 years for dams. Due to this lifetime and large-scale storage, PHES brings the lowest current storage cost (J.-F. Zhao et al., 2022). The large-scale capacity is especially suited for daily or even weekly energy storage applications.

However, some of the drawbacks of PHES for Cuba are both high capital and environmental costs (Koochi-Fayegh & Rosen, 2020; Shang et al., 2020). Other negative aspects are topographic limitations, i.e., available elevation difference between both upper and lower reservoirs. Despite those drawbacks, the construction of PHP in Cuba is a necessary challenge, and technically-economically feasible, according to the official report (Pupo Leonardo Peña & González Ramón Hidalgo, 2019). It constitutes a necessary investment in electrical infrastructure for the economic development of the country. One way to solve the capital intensity of this technology could be the foreign investment consideration (Del-Campo, 2020).

## HISTORICAL AND TECHNOLOGICAL BACKGROUND OF PHES PROJECTS IN CUBA

PHES was first used in the United States in 1930 but the first known use of PHES was found in Italy and Switzerland in the 1890's (Uría-Martínez et al., 2021). Currently, PHES is the most established and economically feasible of all available storage technologies despite its main disadvantages of being capital intensive and negative environmental impact. It has been the commercially dominant technology for years. Also, relevance in the development of this technology has been revived worldwide, mainly due to the deployment of VRE.

Among some of the storage technologies currently available for Cuba (Peña et al., 2018; Vazquez et al., 2018), with capacities of up to several GWh, hydro is the only technologically and economically mature medium capable of massive storage. According to Vazquez, *et al.* (2018) (Vazquez et al., 2018), Cuba has adequate hydropower resources and mountainous regions with more than 300 m altitude drop (Peña-Pupo et al., 2022; Peña et al., 2022) (Figure 3), which can be used to deploy the necessary PHES required for a governmental plan of 100% energy from a renewable energy sources.



**Figure 2.** Potential regions for PHEs projects deployment in Cuba. Source: (Peña et al., 2022)

Some studies have been carried out in Cuba for the construction of pumped storage hydropower plants since the 1970s. Its further development was mainly motivated by the goal to build the Nuclear Power Plant (NPP) in Juraguá, Cienfuegos. It was necessary to control the generation of electricity and guarantee the base load at dawn, especially due to the nature of the isolated system (seen as a country) of the Cuban Electric System.

Since the 1980s, extensive studies have been carried out in all the mountainous areas of Cuba thanks to the collaboration of specialists from the extinct socialist countries, mainly from the former Czechoslovak Socialist Republic. During the years 2016-2019 all of these sites were visited by some of the authors, by means of field assessment studies. The total potential capacity of identified sites for PHEs in Cuba reaches 16.18 GW. Thirty-one sites with very good hydrological, geological and topographical conditions have been studied for the construction of PHEs, located in the three geopolitical regions of the country (Figure 3): region 1 (East), region 2 (Center) and region 3 (West).

In the western area, twelve sites (Table 1) have been identified, located in the Sierra del Rosario Mountain range with an excellent location due to its proximity to the largest country's electricity consumption and generation centers. That's why the most recently evaluated site for PHEs in Cuba has been Cajálbana in Pinar del Rio province. Technical and commercial PHEs offers have been received from Europe and Asia since the 1980's to date. Nevertheless, feasibility studies have shown that this project was not feasible until date (Vazquez et al., 2018). Close difference in electricity prices between peak and down and electricity subventions are the main not feasible causes until date. From the author's point of view, limited policy and regulatory support can also be considered causes of the high-risk investment result.

**Table 1.** Cuba's western region PHES studied projects.

Site	Capacity	Net Head	Tunnel Length	Upper Reservoir	Lower Reservoir	Gross	L/H
	[MW]	[m]	[m]	[106 m]	[106 m]	[m]	-
San Marcos	200	312.8	2190	6.4	4.4	314.4	7
Los Palacios 1	500	264.2	3410	6.2	5.2	266.6	12.9
Los Palacios 2	500	327.7	2890	5.6	4.1	328.85	8.8
Santa Cruz	500	264.1	1575	8.1	5.1	281.2	5.6
San Francisco	500	187	2010	10.3	7.3	213	10.8
San Cristobal 1	500	236.3	1170	5.6	5.6	252.95	4.9
San Cristobal 2	500	398.2	1410	3.3	3.3	402.75	3.5
San Cristobal 3	500	403.6	1290	3.3	3.3	405	3.2
San Cristobal 4	500	363.5	2570	3.7	3.7	363.2	7.1

Bayate	500	273	2760	25.5	8.4	286.8	10.1
San Claudio	500	319.3	1660	6.7	4.2	335	5.2
Cajálbana	120	276	1420	6.12	1.2	269	5.27

---

<sup>1</sup> Only tunnels for penstock.

Table 1 shows the main design characteristics of the PHES in the western region of Cuba. The studied potential capacity of PHES projects in the western region reaches 5320 MW. Nevertheless, some of these projects are not currently economically feasible due to the ratio between pipeline length and hydraulic net head (L/H) being greater than 10.

In the central region of Cuba, four sites have been evaluated since the 1970's. The main design PHES characteristics of these four studied sites are shown in Table 2. The central region's potential capacity for PHES projects reaches 1860 MW.

**Table 2.** Cuba's Central region PHES studied projects.

Site	Capacity	Net Head	Tunnel Length <sup>1</sup>	Upper Reservoir Capacity	Lower Reservoir Capacity	Gross Head	L/H
	[MW]	[m]	[m]	[106 m]	[106 m]	[m]	-
Caracusey	470	324	645	0.3	4.2	326.8	5.33
Hondo	450	284.5	520	8.51	4.70	296.5	7.76
Hanabanilla	470	283.75	300	1.21	4.55	286.5	3.74
Guanayara	470	289.1	440	0.6	4.60	294.45	4.73

<sup>1</sup> Only tunnels for penstock

The Caracusey PHES project, historically known as the Fomento project due to the municipality's location, was initially designed to operate within the Juraguá nuclear power plant in Cienfuegos Province. This project resulted in the fourth being the most economical project in the central region. However, the rest have good L/H indicator and favorable technical characteristics as shown in Table 2. The Caracusey PHES project was previously stopped by the Cuba's government in 1990's as a consequence of no longer continuous with the Juraguá NPP. Currently, this PHES could be useful for VRE integration in the central region of Cuba and to achieve the ambitious governmental goals of 100% renewable energy generation.

Just in the central region, near of Hanabanilla reservoir, is located Cuba's greatest 43 MW Small Hydropower Plant (SHPP). Despite the same names, the Hanabanilla PHES project and Hanabanilla SHPP locations are close to each other but they are different hydro projects.

Cuba's eastern region has been deeply evaluated for years for the deployment of hydropower plants. In

these regions there are the most mountainous hills of Cuba: The Nipe-Sagua-Baracoa in the north-east and the Maestra in the south-east. The Maestra is the largest mountain range and home to Pico Real del Turquino, the country's highest peak at 1974 metres.

Fifth-ten sites were identified for PHES projects in the eastern region of Cuba (Table 3). The total potential capacity of the eastern region reaches 9000 MW, the greatest in Cuba. Three sites resulted with no favourable ( $L/H > 10$ ) ratio in the eastern region (Table 3). Although all of the eastern projects are possible, technically speaking, two Eastern PHES projects have great real potential in the future energy sector of Cuba: Baconao 2 and Mayarí PHES projects. Both PHES projects could be combined with the construction of dams. In the first case, part of the projected Baconao dam for water supply in Santiago de Cuba province could be used as an upper reservoir of Baconao 2 PHES project.

The main advantage of the Mayarí PHES project is the already constructed Mayarí dam in Holguín province that could be used as a lower reservoir for the Mayarí PHES project. The Moa and Nibujon PHES projects are good too, but Moa PHES is more expensive and far away than the Mayarí PHES. Nibujón PHES is located in a protected area which is its main weakness.

As a general rule, the main drawbacks of PHES deployment in Cuba are, in order of importance from the sense of economic, environmental, policy and regulatory support. Most of Easter's PHES potential lies in natural protected regions with a high biodiversity value, so additional measures can be taken.

Cuba has an identified and updated great potential for PHES projects in three-country regions. This paper was presented then for the first time. The total PHES potential project of Cuba is in the amount of 16.18 GW. This figure represents approximately 2.5 times of the current Cuba's installed power from all sources.

**Table 3.** Cuba's Eastern region PHES studied projects.

Site	Capacity	Net Head	Tunnel Length	Upper Reservoir Capacity	Lower Reservoir Capacity	Gross Head	L/H
	[MW]	[m]	[m]	[106 m]	[106 m]	[m]	-
Pinares	600	367.7	2365	5.5	4.5	369.2	6.4
Piloto	600	378.7	2060	4.25	4.25	376.1	5.4
Guayabo	600	374.6	3250	8.6	4.3	379.3	8.7
Mayarí	600	450.7	2580	4.55	3.55	451.5	5.7
Levisa	600	328	3530	4.9	4.9	344.5	10.8
Moa	600	496.5	2965	-	3.3	497.4	6
Jiguani	600	460	1640	3.5	3.5	464.1	3.6
Nibujon	600	466.4	1610	4.5	3.5	467	3.5
Naranjo	600	346.6	2680	5.7	4.7	348.7	7.7

Baconao 3	600	426.8	2050	3.8	3.8	425.5	4.8
Baconao 2	600	414.2	1400	-	3.9	431.8	3.4
Baconao 1	600	365.3	920	4.4	4.5	366.5	2.5
Santiago de Cuba	600	227.5	2670	10.1	7.1	238.1	11.7
Cauto	600	288.2	3440	5.7	5.7	290	11.9
Mota	600	384.7	2510	4.2	4.2	388.5	6.5

---

<sup>1</sup> Only tunnels for penstock

## 2. EASTERN REGION DISCUSSION AND THE MAYARÍ PHES PROJECT CASE STUDY

The eastern region of Cuba is made up of five provinces: Las Tunas, Holguín (Figure 4), Granma, Santiago de Cuba and Guantánamo. The provinces of Granma and Santiago de Cuba do not border the north coast, characterized by higher wind speeds. That's why future wind energy developments are not planned in these two provinces. Similarly, the mostly flat land province of Las Tunas, does not have mountainous regions for the development of hydropower plants, although it is favorable for the installation of wind farms along the entire north coast.

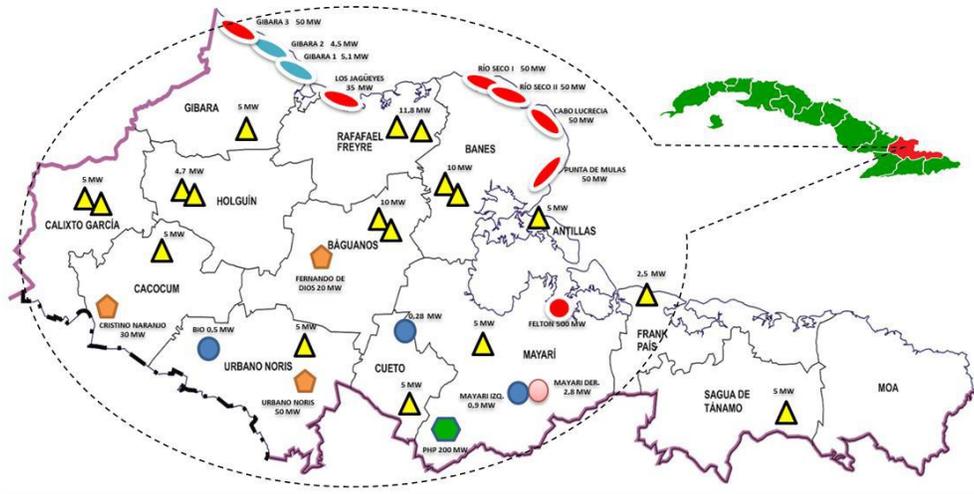


Figure 4. Holguín province. Some power plants and future projects.

Likewise, the provinces of Guantánamo and Holguín have sufficient conditions for the deployment of PHES plants in their mountainous areas and wind farms along the north coast. However, only Holguín actually has the required electrical infrastructure with conditions to incorporate new power plants of more than 200 MW capacity. The green hexagon in Figure 4, represents the projected 200 MW Mayarí PHES plant.

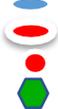
Holguín has Cuba’s largest thermal power plant with an installed capacity of 500 MW in two units (Red dot in Figure 4). In addition, Holguín is one of the country’s provinces with the greatest potential for the development of thermal power plants with biomass from sugar cane.

The existence in Holguín of the unique nickel and cobalt factories of Cuba, the rising tourist development and the large size of the province with respect to the number of inhabitants, make Holguín a good study case to assess the performance of a PHES plant connected to the national electrical system. The future electricity development of Holguín could be high, specifically in VRE as Table 4 shows.

**Table 4.** Installed capacity of operational and future projection of power plants at Holguín.

   	Power Plant	Capacity (MW)	Number of Units	Status
	Small Hydro	2.8	1	Operation
	Small Hydro	1.68	4	Projected
	PV Plants	80	19	Projected
	Biomass1	100	3	Projectio n
	Wind farm	9.6	2	Operatio



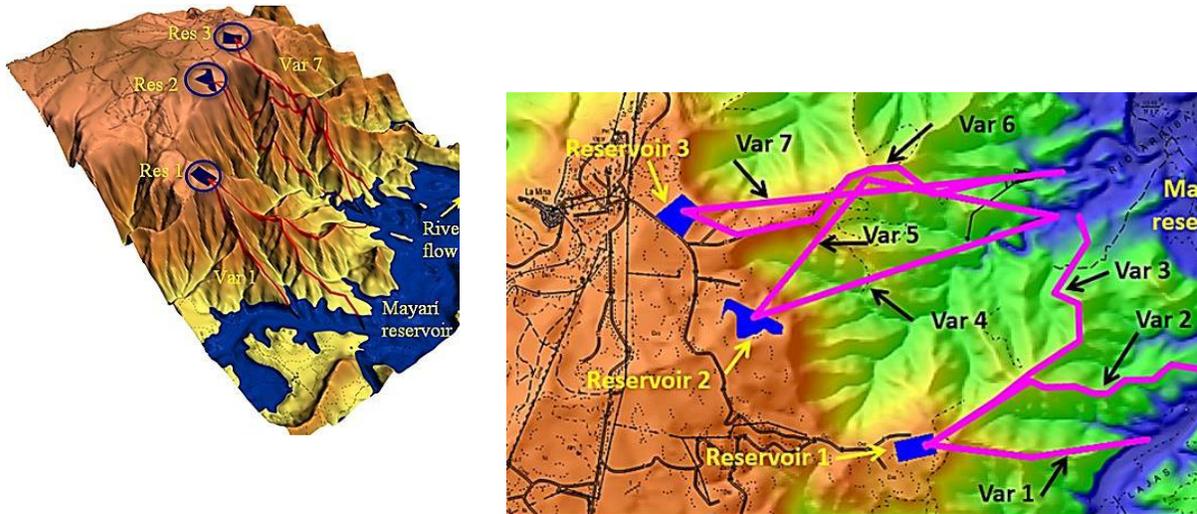
	Wind farm	300	6	Projected
	Thermal <sup>2</sup>	500	2	Operatio n
	Mayarí PHES	200	2	Projected

---

<sup>1</sup> from sugar cane industry. <sup>2</sup>Fossil

For all the reasons explained above, in this work the province of Holguín has been selected as a study case, despite of all the power plants are interconnected to the national electrical system. Figure 4 shows the location of existing power plants in Holguín province. Future power plant projects are shown in Figure 4.

After two years of evaluation of variants (since 2019) and real construction conditions of these 31 sites, two sites with high potential and ideal conditions for the exploitation of this form of energy accumulation were defined, one in the Cuba's central region at the Guamuaya massif and another one in the eastern region in the Sierra Cristal belonging to the Holguín province. This last site takes advantage of the opportunity to have a reservoir already built: Mayarí dam (Figure 5 a) and b)). This has excellent hydrological characteristics according to the studies carried out by RAUDAL<sup>®</sup> engineers and designers.



**Figure 5.** Studied variants for Mayarí PHES project.

Seven variants of layouts were studied depending on the type of conduction and location of the upper and lower reservoirs, shown in Figure 5 a) and b). Three locations for upper reservoirs were analyzed. As a lower reservoir, it is proposed the already built reservoir of the Mayarí dam.

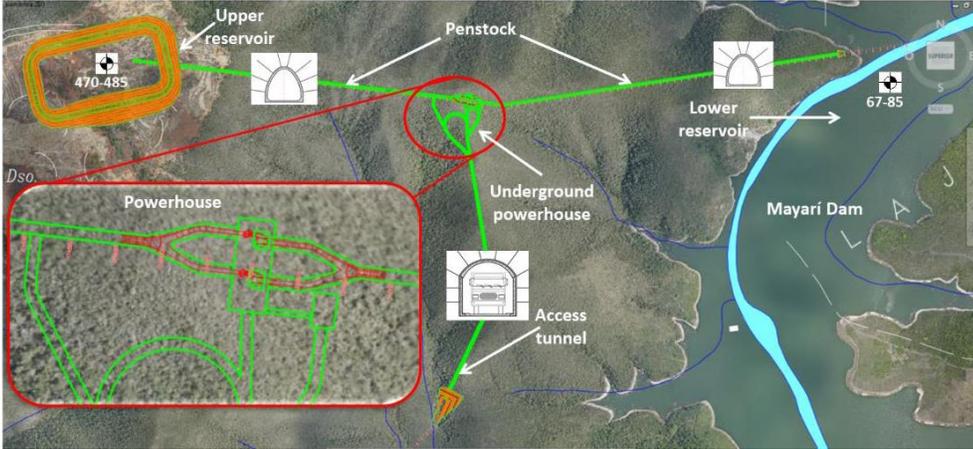
The layouts of each variant (Figure 5, a) and b)) were selected based on two main types of water conduction: steel pipes or tunnels. Combined conduction was also evaluated according to the topographical characteristics of each possible layout. The results have shown that driving through tunnels is cheaper than using pipelines, mainly due to the dimensions of the steel pipe that would need to be installed. Figure 5, b) shows in 3D the potential of this location. The use of pipelines is usually more expensive and causes a greater impact on the surrounding environment. Many species are there, some of which are endemic.

The ratio between the length of the pipeline and the hydraulic head ( $L/H$ ) is less than 10, which is the threshold considered as the technical-economic feasibility index for these power plants. In all the studied variants, the  $L/H$  ratio ranges between 5 and 7. Another relevant factor is the fact that the lower reservoir is built and in operation with proven hydrological guarantees through simulations for 100 years.

#### *4.1. Mayarí PHES project main project data*

The selected variant of the eastern region from the technical and economic point of view was variant 1, shown in Figure 5. This PHES project is located specifically in Mayarí municipality, close to the already built Mayarí dam as shown in Figure 6. According to the geological study carried out by RAUDAL<sup>®</sup>, it has good conditions for this type of work. The height differences between both reservoirs range between 350m

and 450m in relatively short lengths (2-3 km), which is good for PHES projects.



**Figure 6.** Selected variant 1 for Mayarí PHES, main layouts.

The upper reservoir with a calculated capacity of  $0,88 \times 10^6 \text{ m}^3$  will be constructed in an abandoned open sky mine by the nickel industry. Both the feeding tunnel and discharge will be an ovoidal section, made of concrete. Similarly, the access tunnel will be constructed with concrete. The tunnel non-linearity layout seen in Figure 6 is due to the rocks fracturing. The best conditions route has been selected according to the tunnel quality Q index.

The access road to the plant will border the Mayarí dam on the left, above the maximum level of the reservoir. From the construction point of view, the main sizes are listed in Table 5.

In the plant design phase, the technical possibility of reaching an installed power of 200 MW was taken into account. However, due to topographical and hydrological conditions, it is possible to install larger powers of up to 600 MW (Table 3). The final value will depend on the technical-economic feasibility study of the Mayarí PHES project.

**Table 5.** Main construction sizes of Mayarí PHES project

Dimension	Value	Unit
Installed capacity	2x100	MW

Vertical tunnel length	370	m
Horizontal tunnel length	1571	m
Intake tunnel diameter	4	m
Access tunnel length	1221	m
Submersion level <sup>1</sup>	30	m
Power house chamber size	17x26x4 0	m <sup>3</sup>

---

<sup>1</sup> Minimum operational.

From a technological point of view, the installation of 2x100 MW is being assessed with a design head of 475 m and 478 m respectively. Likewise, a nominal flow rate of 61.31 m<sup>3</sup>/s in the turbine regime and 40.87 m<sup>3</sup>/s in the pumping regime.

The L/H ratio (penstock length divided by hydraulic head) of this variant has resulted in the lowest of all (2.29). Actually, this is a determining indicator when evaluating variants and defining economic feasibility. Projects having an L/H ratio under 10 show promise as a PHES project. The L/H ratio is also an indicator of the surge chamber need, so it's considered as a feasibility indicator.

From the electrical point of view, it is considered that the Mayarí PHES plant will generate four hours daily and will operate in the pumping regime six hours' daily for 255 days per year. The Table 6 summarizes the values of electricity generated and consumed in a diary and yearly. The volume of the upper reservoir, considering evaporation losses, has been calculated at close to 1hm<sup>3</sup> (1 million m<sup>3</sup>) as shown in Table 6.

**Table 6.** Main Mayarí PHES project production indicators.

Indicator	Unit	Turbine	Pump
Electricity (Generated/Consumed) diary	kWh/day	800.0	804.60
Electricity (Generated/Consumed) yearly	GWh/year	204.0	205.17
Upper reservoir volume	106 m3	1	

The Cuban hydropower sector has to deal with some challenges to increase capacity and flexibility at lower operation costs. From the author's point of view, current limited policy, regulatory support for PHES and your necessary ancillary services can be considered the major causes of the PHES risk investment result. So, to increase the feasibility of PHES projects, targeted market mechanisms must be adopted aiming to remunerate the plant owner for the whole set of ancillary services provided to the system. In addition, considering new technologies like variable speed, PHES can improve round-trip efficiency.

### 3. CONCLUSIONS

The project for the construction of PHES plants in Cuba is necessary, feasible, technically and economically feasible. It constitutes an investment in infrastructure necessary for the economic development of the country. The selected project in the eastern part of the country is an attractive project since it has proven technical guarantees in addition to having a cost reduction compared to similar works, since it has a reservoir built and in operation with high hydrological guarantees. The main advantages of these technologies are manifested in four aspects: greater energy independence, greater integration of the RES, greater security of the Electric System and greater guarantee of electricity supply. As it is a renewable source, it guarantees savings due to the importation of fossil fuels and implies a reduction in the emission of polluting gases such as CO<sub>2</sub>. In the same way, it allows the efficient integration of variable RES such as photovoltaic and wind power, guaranteeing the use of all that is generated without prejudice to the electrical system and guaranteeing the reliability of the system.

REFERENCES –

- Alberto Alvarez, E., Korkeakoski, M., Santos Fuentesfría, A., Lourdes Filgueiras Sainz de Rozas, M., Arcila Padura, R., & Luukkanen, J. (2021). Long-Range Integrated Development Analysis: The Cuban Isla de la Juventud Study Case. *Energies*, *14*(10), 2865. <https://doi.org/10.3390/en14102865>
- Coban, H. H., Rehman, A., & Mousa, M. (2022). Load Frequency Control of Microgrid System by Battery and Pumped-Hydro Energy Storage. *Water*, *14*(11), 1818. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/w14111818>
- Del-Campo, A. J. W. (2020). Hidroenergía. Características de red fluvial en Cuba. *Boletín informativo renovable.cu*, 8(Agosto 2020), pp. 2-4. [www.cubaenergia.cu/](http://www.cubaenergia.cu/)
- He, W., King, M., Luo, X., Dooner, M., Li, D., & Wang, J. (2021). Technologies and economics of electric energy storages in power systems: Review and perspective. *Advances in Applied Energy*, *4*(2021), 100060. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.adapen.2021.100060>
- IHA, H. (2021). *2021 Hydropower Status Report: sector trends and insights. 2021. London.*
- Koochi-Fayegh, S., & Rosen, M. A. (2020). A review of energy storage types, applications and recent developments. *Journal of Energy Storage*, *27*(2020), 101047. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.est.2019.101047>
- Luukkanen, J., Saunders, A., Majanne, Y., & Korkeakoski, M. (2022a). Modelling Cuban energy system with CubaLinda model, Prospects for 10% renewable scenario. In J. Luukkanen, A. Saunders, Y. Majanne, & M. Korkeakoski (Eds.), *CUBAN ENERGY FUTURES. The transition towards a Renewable Energy System- Political, Economic, Social and Environmental Factors* (Vol. 3, pp. 335). Finland Futures Research Centre (FFRC). University of Turku. Finland
- Luukkanen, J., Saunders, A., Majanne, Y., & Korkeakoski, M. (2022b, 28/11-2/12/2022). *Possibilities and challenges for developing a 100% renewables electricity system for Cuba* III Simposio Internacional sobre Generación Distribuida (SIGEDI 2022), Palacio de las Convenciones de La Habana. Cuba.
- Menéndez, J., Fernández-Oro, J. M., & Loredó, J. (2020). Economic Feasibility of Underground Pumped Storage Hydropower Plants Providing Ancillary Services. *applied sciences*, *10*(11). <https://doi.org/10.3390/app10113947>
- Nibbi, L., Sospiro, P., De Lucia, M., & Wu, C.-C. (2022). Improving Pumped Hydro Storage Flexibility in China: Scenarios for Advanced Solutions Adoption and Policy Recommendations. *Energies*, *15*(21), 7918. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/en15217918>
- Peña-Pupo, L., Martínez-García, H., García-Vílchez, E., Domínguez, A. H., & Fariñas-Wong, E. Y. (2022). Improvements in Frequency Control of an AC Microgrid by Means of Micro-Hydropower Combined Flow-

Reduced Dump Load Control Method. *Renewable Energies and Power Quality Journal (RE&PQJ)*, 20(September 2022), 506-511. <https://doi.org/https://doi.org/10.24084/repqj20.350>

Peña, P. L., Fariñas, W. E. Y., & Brito, S. A. L. (2022). The role of hydropower in the Cuban electricity System and future plans toward 2030. In J. Luukkanen, A. Saunders, A. Santos, Y. Majanne, M. L. F. S. d. Rozas, & J. Laitinen (Eds.), *Cuban energy systems Development-Technological Challenges and Possibilities* (Vol. 2, pp. 255). Finland Futures Research Centre (FFRC). University of Turku. Finland

Peña, P. L., Gutiérrez, U. L., Ramón, H. G., & Domínguez, A. H. (2018). Integration Proposal of a Solar Thermal Power Plant to the Cuban National Electric System. *Revista Tecnología Química*, Vol 38(3), pp 551-561. septiembre-diciembre de 2018.

Peña, P. L., & Hidalgo, G. R. (2019). Acumulación de energía hidráulica en Cuba. Proyección hacia el año 2030.

*Boletín informativo renovable.cu*, 4(2019), 2-6.

Peña, P. L., & Hidalgo, G. R. (2019). Acumulación de energía hidráulica en Cuba. Proyección hacia el año 2030.

*Boletín informativo renovable.cu*, 4(2019), 2-6.

Rehman, S., Al-Hadhrami, L. M., & Alam, M. M. (2015). Pumped hydro energy storage system: A technological review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44(2015), 586-598.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.12.040>

Shang, D., Pei, P., & Zuo, Y. (2020). Techno-Economic Feasibility Analysis of Pumped Storage Hydroelectricity in Abandoned Underground Coal Mines. *Journal of Energy Resources Technology*, 142(12). <https://doi.org/10.1115/1.4047406>

Uría-Martínez, R., Johnson, M. M., & Shan, R. (2021). *U. S. Hydropower Market Report*.

Vasudevan, K. R., Ramachandaramurthy, V. K., Venugopal, G., Ekanayake, J. B., & Tiong, S. K. (2021). Variable speed pumped hydro storage: A review of converters, controls and energy management strategies. *Renewable*

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110156>

Vazquez, L., Majanne, Y., Castro, M., Luukkanen, J., Hohmeyer, O., Vilaragut, M., & Díaz, D. (2018). Energy System Planning towards Renewable Power Systems: Energy Matrix Change in Cuba by 2030. *IFAC-Papers-onLine*, 51(28), 522-527. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.11.756>

Xu, Z., Deng, C., & Yang, Q. (2023). Flexibility of variable-speed pumped-storage unit during primary frequency control and corresponding assessment method. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 145(2023), 108691. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2022.108691>

Zhao, J.-F., Oh, U.-J., Park, J.-C., Park, E. S., Im, H.-B., Lee, K. Y., & Choi, J.-S. (2022). A Review of World-wide Advanced Pumped Storage Hydropower Technologies. *IFAC PapersOnLine*, 55-9(2022), 170-174.

<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.07.030>

Zhao, Z., Yuan, Y., He, M., Jurasz, J., Wang, J., & Egusquiza, M. (2022). Stability and efficiency performance of pumped hydro energy storage system for higher flexibility. *Renewable Energy*, 199(2022), 1482-1494. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.09.085>

# ESTUDIO DE POTENCIAL DE LA TECNOLOGÍA HIDROELÉCTRICA DE BOMBEO EN CUBA: CASO DE ESTUDIO DEL PROYECTO MAYARÍ

## *Potential assessment of pumped storage technology in Cuba: The Mayarí project case study*

Leonardo Peña-Pupo,

Ramón Hidalgo-González,

Ingrid N. Vidaud-Quintana,

Jyrki Luukkanen

<sup>1</sup> Departamento de Control Automático, Universidad de Oriente, Cuba, leonardo.pena@uo.edu.cu, Orcid 0000-0003-3779-9576

<sup>2</sup> Dirección de Inversiones, Empresa de Fuentes Renovables de Energía (EMFRE), Cuba, hgonzalez@emfre.une.cu <sup>3</sup> Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Oriente, Cuba, ingrid@uo.edu.cu, Orcid 0000-0001-8067-1899; <sup>4</sup> Turku School of Economics, University of Turku, Finland; jyrki.luukkanen@utu.fi, Orcid 0000-0003-0223-9827

## INTRODUCTION

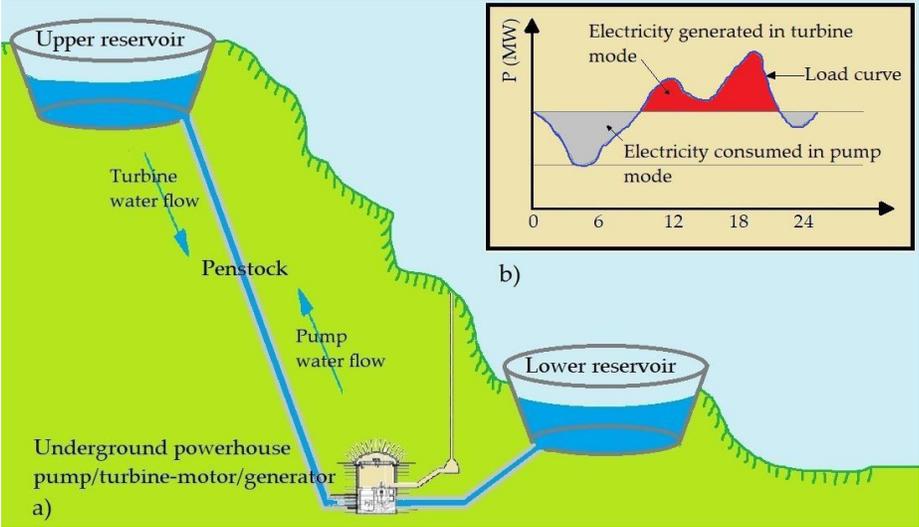
Power systems evolution towards high penetration of renewable production has been under extensive research already for years. Nevertheless, the stochastic nature of variable renewable energies (VRE) like solar PV or wind, demands energy storage technologies to maintain the stability of the power system grid. Energy storage, among other technologies, has been one of the most popular topics in recent engineering-related conferences and renewable energy journals. Currently, pumped hydro energy storage (PHES) is one of the most suitable technologies of massive energy storage for small autonomous island grids (He et al., 2021; Rehman et al., 2015). According to the International Hydropower Association (IHA)'s Hydropower Status Report 2021, PHES plants currently account for over 90 per cent of the world's grid-scale energy storage applications, with 160 GW of installed capacity and 9000 GWh in energy storage capacity by the end of 2020 (IHA, 2021).

PHES has been in use for more than a century to store the surplus of electricity production. Currently, PHES is the most used Electrical Energy Storage (EES) for power system applications (He et al., 2021). These facilities are the most efficient and practical large-scale energy storage systems, with typical overall

III Convención Internacional Ciencia y Conciencia, Universidad de Oriente, Cuba, 2023

efficiency in the range of 70–85%. PHES, like the scheme shown in Figure 1 a), entails pumping water from a lower reservoir to a nearby upper reservoir when there is surplus power generation (typically in early morning) and allowing the water to return to the lower reservoir through a turbine to generate electricity when there is a supply shortfall (generally during the evening or night).

As shown in Figure 1 b), the PHES aims to flatten the demand curve of the electrical system, consuming electricity at times when there is little demand and generating at those when demand is maximum. In a few minutes, they are capable of operating, which gives them advantages that are not always economically evaluated for the reliability of the electrical system to which they are connected (Menéndez et al., 2020; Nibbi et al., 2022).



**Figure 1.** PHES operation principle (a) and typically Cuba's daily load curve (b).

The Current Cuban electric sector is fossil-based at more than 95 percent [6]. Hydropower and other renewable energy sources (including wind and solar power) contributed slightly less than 2 per cent combined [7,8]. Electricity from renewable sources in 2021 represented 4 per cent, including sugar cane biomass. To change the current electricity situation, the Cuban government has elaborated a policy to increase generation by renewable sources of energy to 24% of the primary energy sources by 2030. With the future installation of the 700 MW with photovoltaic generation and the 680 MW with wind energy [9], according to the future planning of the Cuban Electric System and under normal operating conditions, intermittent energy could be stored in PHES plants. Some research work states that Cuban electrical system needs to add energy storage capacities, control strategy and to increase flexibility capacity [6,9].

The flexibility of PHES plants allows large thermal and nuclear power plants to operate most efficiently  
 III Convención Internacional Ciencia y Conciencia, Universidad de Oriente, Cuba, 2023

at their peak production. This was the main motivation for the development of pumped-storage technology in the 1980s in Cuba (Pupo, Leonardo Peña & González, Ramón Hidalgo, 2019) with the first PHEs project in Fomento municipality. Unfortunately, the Fomento pumped hydro project was stopped in the early beginning when the Cuban government decided to no longer continuously install the nuclear power plant of Juraguá in Cienfuegos Province during the 1990s. Today, PHEs plants in the Cuban electrical grid could play a greater role than previously thought. PHEs may be the enabling technology that allows for the higher penetration of VRE into the grid. Nevertheless, due to the generation of the VRE's stochastic nature, flexible energy storage capacity is needed to improve its grid integration. So, variable-speed PHEs technologies could be the best solution to VRE integration in Cuba.

The coincidence of the maximum generation of the grid connected PV plants and the relative low demand at those times compared to the maximum demand peak, is considered to be of added value for PHEs investment. This technology and others that pursue the accumulation of energy are of vital importance for the electrical system of any country in the 21st century with a high presence of VRE. However, the greatest advantage of this technology over other storage technologies is its large storage capacity. Another great advantage for the stability of the electrical system is the contribution to grid inertia, mainly from generator inertia.

This paper presents for the first time the updated potential of PHEs deployment in Cuba and the future role of this technology in a necessary fossil-based matrix change. In addition, there are, assessed from the technical point of view, the advantages of renewable integration in the construction of the Mayarí PHEs project. The remainder of the paper is organized as follows: In Section 2 we present a review of the main PHEs advantages and some drawbacks for current Cuban electrical grid. In Section 3 we investigate and present for the first time the historical and technological background of PHEs projects in Cuba. Following, in Section 4, we discuss about Cuban Eastern region for PHEs deployment potentialities and present the Mayarí PHEs case study for high VRE integration. Section 4.1 presents the main project data of Mayarí PHEs, and current Cuban challenges for PHEs deployment. Lastly, Section 5 offers some conclusions and an outlook for further research.

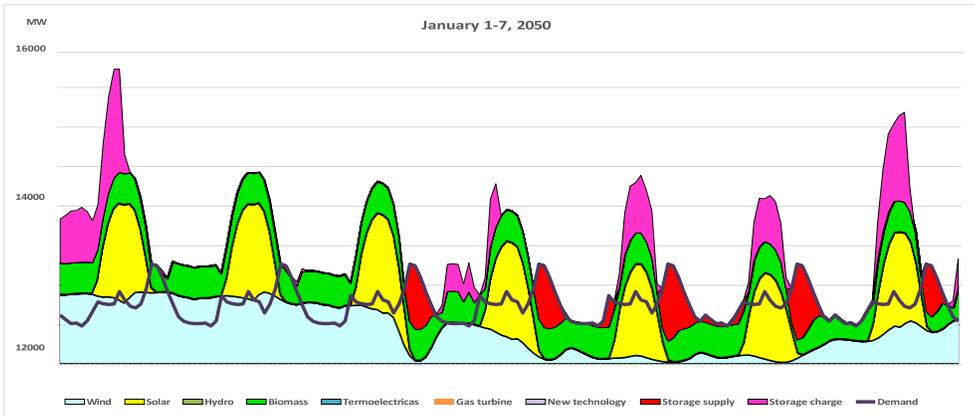
## REVIEW OF THE MAIN ADVANTAGES OF PHEs FOR THE CUBAN ELECTRICAL GRID

The Current Cuban electrical grid has no storage facilities. So, PHEs projects could increase grid flexibility and stability. After a category 3 Ian hurricane hit Cuba on September 27 (2022), a blackout for about three days occurred. Frequency instability caused the electrical system to go down showing lack of flexibility and low frequency control capacities (Coban et al., 2022; Peña-Pupo et al., 2022), both primary

and secondary. This could be improved by adding energy storage capacities.

According to Luukkanen, *et al.* (2022) (Luukkanen et al., 2022b), the future Cuban electrical grid needs storage capacity investments in pumped storage and hydrogen. Using the Long-range Integrated Development Analysis (LINDA) model to evaluate future scenarios for Cuba (Alberto Alvarez et al., 2021), in (Luukkanen et al., 2022b) it is proposed to invest in PHES projects in Cuba. The LINDA model has been used to model future energy systems in some countries (Alberto Alvarez et al., 2021). This model for Cuba is named *CubaLinda* model (Luukkanen et al., 2022a). It is an Excel-based tool built to create future scenarios for energy analysis.

Cuba’s 2050 first week scenario is shown in Figure 2 with the *CubaLinda* model. Electricity demand could be flattened using storage charge (like PHES) at high shares of VRE sources and supply electricity at maximum peak demand.



**Figure 2.** Cuba’s future energy scenario at 2050. Source:(Luukkanen et al., 2022b)

PHES plants can provide inertia and load balancing services to the grid. In the case of variable speed technology, they can provide response times in seconds or even milliseconds (Coban et al., 2022; Vasudevan et al., 2021). Despite other storage technologies, PHES is a technically matured and economically viable option for large scale energy storage (Vasudevan et al., 2021). This technology has offered cost-effective grid services and balancing for decades. Whereas the oldest installations (1970s) were mostly provided with reversible pump-turbine units at fixed speed (synchronous machines), current

installations are often provided with variable speed units (Koochi-Fayegh & Rosen, 2020), which increase PHES availability, efficiency and grid flexibility.

Variable speed PHES has great potential in providing flexibility for power systems to help solve the frequency control problem caused by VRE (Z. Zhao et al., 2022). Despite the cost increment, variable speed PHES could be able to provide about 33% more flexibility than traditional fixed-speed pumped-storage units, according to (Xu et al., 2023). Other remarkable characteristics of PHES plants are low operation and maintenance costs (Koochi-Fayegh & Rosen, 2020) and long lifetime, typically 50 years for electromechanical machines to 100 years for dams. Due to this lifetime and large-scale storage, PHES brings the lowest current storage cost (J.-F. Zhao et al., 2022). The large-scale capacity is especially suited for daily or even weekly energy storage applications.

However, some of the drawbacks of PHES for Cuba are both high capital and environmental costs (Koochi-Fayegh & Rosen, 2020; Shang et al., 2020). Other negative aspects are topographic limitations, i.e., available elevation difference between both upper and lower reservoirs. Despite those drawbacks, the construction of PHP in Cuba is a necessary challenge, and technically-economically feasible, according to the official report (Pupo Leonardo Peña & González Ramón Hidalgo, 2019). It constitutes a necessary investment in electrical infrastructure for the economic development of the country. One way to solve the capital intensity of this technology could be the foreign investment consideration (Del-Campo, 2020).

## 2. HISTORICAL AND TECHNOLOGICAL BACKGROUND OF PHES PROJECTS IN CUBA

PHES was first used in the United States in 1930 but the first known use of PHES was found in Italy and Switzerland in the 1890's (Uría-Martínez et al., 2021). Currently, PHES is the most established and economically feasible of all available storage technologies despite its main disadvantages of being capital intensive and negative environmental impact. It has been the commercially dominant technology for years. Also, relevance in the development of this technology has been revived worldwide, mainly due to the deployment of VRE.

Among some of the storage technologies currently available for Cuba (Peña et al., 2018; Vazquez et al., 2018), with capacities of up to several GWh, hydro is the only technologically and economically mature medium capable of massive storage. According to Vazquez, *et al.* (2018) (Vazquez et al., 2018), Cuba has adequate hydropower resources and mountainous regions with more than 300 m altitude drop (Peña-Pupo et al., 2022; Peña et al., 2022) (Figure 3), which can be used to deploy the necessary PHES required for a governmental plan of 100% energy from a renewable energy sources.



**Figure 2.** Potential regions for PHEs projects deployment in Cuba. Source: (Peña et al., 2022)

Some studies have been carried out in Cuba for the construction of pumped storage hydropower plants since the 1970s. Its further development was mainly motivated by the goal to build the Nuclear Power Plant (NPP) in Juraguá, Cienfuegos. It was necessary to control the generation of electricity and guarantee the base load at dawn, especially due to the nature of the isolated system (seen as a country) of the Cuban Electric System.

Since the 1980s, extensive studies have been carried out in all the mountainous areas of Cuba thanks to the collaboration of specialists from the extinct socialist countries, mainly from the former Czechoslovak Socialist Republic. During the years 2016-2019 all of these sites were visited by some of the authors, by means of field assessment studies. The total potential capacity of identified sites for PHEs in Cuba reaches 16.18 GW. Thirty-one sites with very good hydrological, geological and topographical conditions have been studied for the construction of PHEs, located in the three geopolitical regions of the country (Figure 3): region 1 (East), region 2 (Center) and region 3 (West).

In the western area, twelve sites (Table 1) have been identified, located in the Sierra del Rosario Mountain range with an excellent location due to its proximity to the largest country's electricity consumption and generation centers. That's why the most recently evaluated site for PHEs in Cuba has been Cajálbana in Pinar del Rio province. Technical and commercial PHEs offers have been received from Europe and Asia since the 1980's to date. Nevertheless, feasibility studies have shown that this project was not feasible until date (Vazquez et al., 2018). Close difference in electricity prices between peak and down and electricity subventions are the main not feasible causes until date. From the author's point of view, limited policy and

regulatory support can also be considered causes of the high-risk investment result.

**Table 1.** Cuba's western region PHES studied projects.

Site	Capacity	Net Head	Tunnel Length	Upper Reservoir	Lower Reservoir	Gross Head	L/H
	[MW]	[m]	[m]	[106 m]	[106 m]	[m]	-
San Marcos	200	312.8	2190	6.4	4.4	314.4	7
Los Palacios 1	500	264.2	3410	6.2	5.2	266.6	12.9
Los Palacios 2	500	327.7	2890	5.6	4.1	328.85	8.8
Santa Cruz	500	264.1	1575	8.1	5.1	281.2	5.6
San Francisco	500	187	2010	10.3	7.3	213	10.8
San Cristobal 1	500	236.3	1170	5.6	5.6	252.95	4.9
San Cristobal 2	500	398.2	1410	3.3	3.3	402.75	3.5
San Cristobal 3	500	403.6	1290	3.3	3.3	405	3.2

San Cristobal	4 500	363.5	2570	3.7	3.7	363.2	7.1
Bayate	500	273	2760	25.5	8.4	286.8	10.1
San Claudio	500	319.3	1660	6.7	4.2	335	5.2
Cajálbana	120	276	1420	6.12	1.2	269	5.27

<sup>1</sup> Only tunnels for penstock.

Table 1 shows the main design characteristics of the PHES in the western region of Cuba. The studied potential capacity of PHES projects in the western region reaches 5320 MW. Nevertheless, some of these projects are not currently economically feasible due to the ratio between pipeline length and hydraulic net head (L/H) being greater than 10.

In the central region of Cuba, four sites have been evaluated since the 1970's. The main design PHES characteristics of these four studied sites are shown in Table 2. The central region's potential capacity for PHES projects reaches 1860 MW.

**Table 2.** Cuba's Central region PHES studied projects.

Site	Capacity	Net Head	Tunnel Length	Upper Reservoir Capacity	Lower Reservoir Capacity	Gross Head	L/H
	[MW]	[m]	[m]	[106 m]	[106 m]	[m]	-
Caracusey	470	324	645	0.3	4.2	326.8	5.33

Hondo	450	284.5	520	8.51	4.70	296.5	7.76
Hanabanilla	470	283.75	300	1.21	4.55	286.5	3.74
Guanayara	470	289.1	440	0.6	4.60	294.45	4.73

---

<sup>1</sup> Only tunnels for penstock

The Caracusey PHES project, historically known as the Fomento project due to the municipality's location, was initially designed to operate within the Juraguá nuclear power plant in Cienfuegos Province. This project resulted in the fourth being the most economical project in the central region. However, the rest have good L/H indicator and favorable technical characteristics as shown in Table 2. The Caracusey PHES project was previously stopped by the Cuba's government in 1990's as a consequence of no longer continuous with the Juraguá NPP. Currently, this PHES could be useful for VRE integration in the central region of Cuba and to achieve the ambitious governmental goals of 100% renewable energy generation.

Just in the central region, near of Hanabanilla reservoir, is located Cuba's greatest 43 MW Small Hydropower Plant (SHPP). Despite the same names, the Hanabanilla PHES project and Hanabanilla SHPP locations are close to each other but they are different hydro projects.

Cuba's eastern region has been deeply evaluated for years for the deployment of hydropower plants. In these regions there are the most mountainous hills of Cuba: The Nipe-Sagua-Baracoa in the north-east and the Maestra in the south-east. The Maestra is the largest mountain range and home to Pico Real del Turquino, the country's highest peak at 1974 metres.

Fifth-ten sites were identified for PHES projects in the eastern region of Cuba (Table 3). The total potential capacity of the eastern region reaches 9000 MW, the greatest in Cuba. Three sites resulted with no favourable (L/H>10) ratio in the eastern region (Table 3). Although all of the eastern projects are possible, technically speaking, two Eastern PHES projects have great real potential in the future energy sector of Cuba: Baconao 2 and Mayarí PHES projects. Both PHES projects could be combined with the construction of dams. In the first case, part of the projected Baconao dam for water supply in Santiago de Cuba province could be used as an upper reservoir of Baconao 2 PHES project.

The main advantage of the Mayarí PHES project is the already constructed Mayarí dam in Holguín

province that could be used as a lower reservoir for the Mayarí PHEs project. The Moa and Nibujón PHEs projects are good too, but Moa PHEs is more expensive and far away than the Mayarí PHEs. Nibujón PHEs is located in a protected area which is its main weakness.

As a general rule, the main drawbacks of PHEs deployment in Cuba are, in order of importance from the sense of economic, environmental, policy and regulatory support. Most of Cuba's PHEs potential lies in natural protected regions with a high biodiversity value, so additional measures can be taken.

Cuba has an identified and updated great potential for PHEs projects in three-country regions. This paper was presented then for the first time. The total PHEs potential project of Cuba is in the amount of 16.18 GW. This figure represents approximately 2.5 times of the current Cuba's installed power from all sources.

**Table 3.** Cuba's Eastern region PHES studied projects.

Site	Capacity	Net Head	Tunnel Length	Upper Reservoir Capacity	Lower Reservoir Capacity	Gross Head	L/H
	[MW]	[m]	[m]	[106 m]	[106 m]	[m]	-
Pinares	600	367.7	2365	5.5	4.5	369.2	6.4
Piloto	600	378.7	2060	4.25	4.25	376.1	5.4
Guayabo	600	374.6	3250	8.6	4.3	379.3	8.7
Mayarí	600	450.7	2580	4.55	3.55	451.5	5.7
Levisa	600	328	3530	4.9	4.9	344.5	10.8
Moa	600	496.5	2965	-	3.3	497.4	6
Jiguani	600	460	1640	3.5	3.5	464.1	3.6
Nibujon	600	466.4	1610	4.5	3.5	467	3.5
Naranjo	600	346.6	2680	5.7	4.7	348.7	7.7

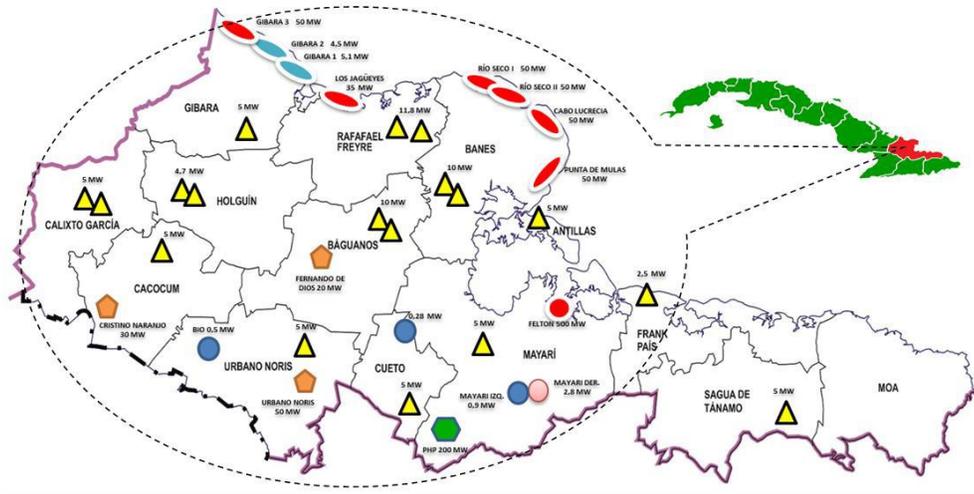
Baconao 3	600	426.8	2050	3.8	3.8	425.5	4.8
Baconao 2	600	414.2	1400	-	3.9	431.8	3.4
Baconao 1	600	365.3	920	4.4	4.5	366.5	2.5
Santiago de Cuba	600	227.5	2670	10.1	7.1	238.1	11.7
Cauto	600	288.2	3440	5.7	5.7	290	11.9
Mota	600	384.7	2510	4.2	4.2	388.5	6.5

---

<sup>1</sup> Only tunnels for penstock

### 3. EASTERN REGION DISCUSSION AND THE MAYARÍ PHES PROJECT CASE STUDY

The eastern region of Cuba is made up of five provinces: Las Tunas, Holguín (Figure 4), Granma, Santiago de Cuba and Guantánamo. The provinces of Granma and Santiago de Cuba do not border the north coast, characterized by higher wind speeds. That's why future wind energy developments are not planned in these two provinces. Similarly, the mostly flat land province of Las Tunas, does not have mountainous regions for the development of hydropower plants, although it is favorable for the installation of wind farms along the entire north coast.



**Figure 4.** Holguín province. Some power plants and future projects.

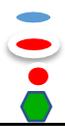
Likewise, the provinces of Guantánamo and Holguín have sufficient conditions for the deployment of PHES plants in their mountainous areas and wind farms along the north coast. However, only Holguín actually has the required electrical infrastructure with conditions to incorporate new power plants of more than 200 MW capacity. The green hexagon in Figure 4, represents the projected 200 MW Mayarí PHES plant.

Holguín has Cuba’s largest thermal power plant with an installed capacity of 500 MW in two units (Red dot in Figure 4). In addition, Holguín is one of the country’s provinces with the greatest potential for the development of thermal power plants with biomass from sugar cane.

The existence in Holguín of the unique nickel and cobalt factories of Cuba, the rising tourist development and the large size of the province with respect to the number of inhabitants, make Holguín a good study case to assess the performance of a PHES plant connected to the national electrical system. The future electricity development of Holguín could be high, specifically in VRE as Table 4 shows.

**Table 4.** Installed capacity of operational and future projection of power plants at Holguín.

   	Power Plant	Capacity (MW)	Number of Units	Status
--	-------------	------------------	-----------------------	--------

	Small Hydro	2.8	1	Operatio n
	Small Hydro	1.68	4	Projected
	PV Plants	80	19	Projected
	Biomass1	100	3	Projectio n
	Wind farm	9.6	2	Operatio n
	Wind farm	300	6	Projected
	Thermal2	500	2	Operatio n
	Mayarí PHES	200	2	Projected

<sup>1</sup> from sugar cane industry. <sup>2</sup>Fossil

For all the reasons explained above, in this work the province of Holguín has been selected as a study case, despite of all the power plants are interconnected to the national electrical system. Figure 4 shows the location of existing power plants in Holguín province. Future power plant projects are shown in Figure 4.

After two years of evaluation of variants (since 2019) and real construction conditions of these 31 sites, two sites with high potential and ideal conditions for the exploitation of this form of energy accumulation were defined, one in the Cuba's central region at the Guamuaya massif and another one in the eastern region in the Sierra Cristal belonging to the Holguín province. This last site takes advantage of the opportunity to

have a reservoir already built: Mayarí dam (Figure 5 a) and b)). This has excellent hydrological characteristics according to the studies carried out by RAUDAL<sup>®</sup> engineers and designers.

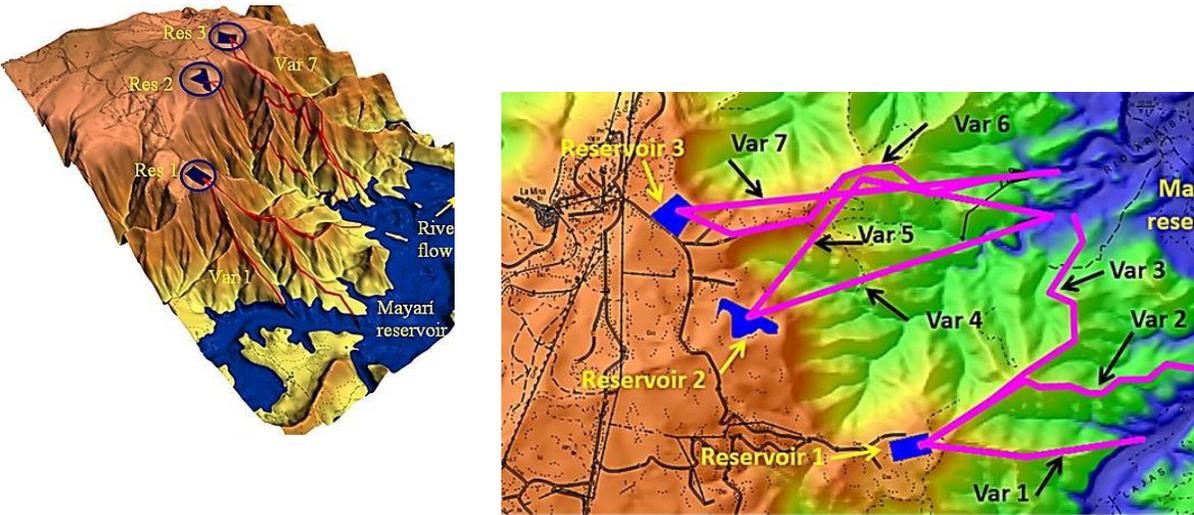


Figure 5. Studied variants for Mayarí PHES project.

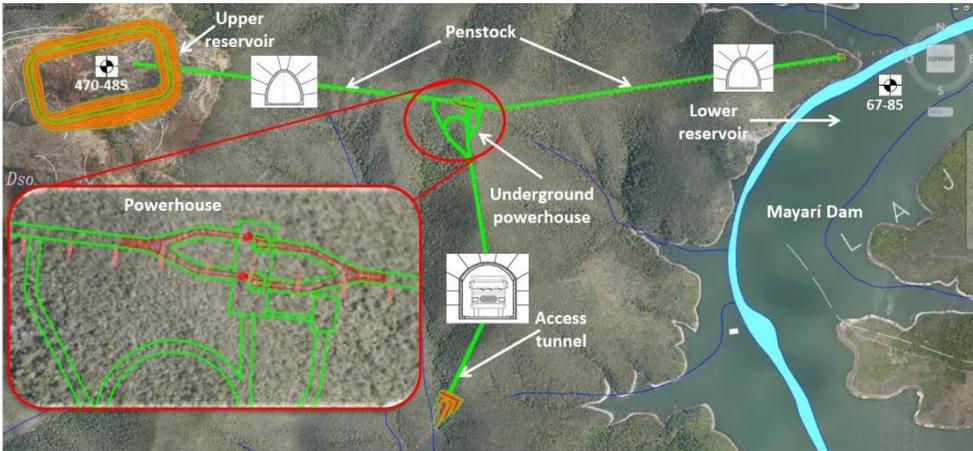
Seven variants of layouts were studied depending on the type of conduction and location of the upper and lower reservoirs, shown in Figure 5 a) and b). Three locations for upper reservoirs were analyzed. As a lower reservoir, it is proposed the already built reservoir of the Mayarí dam.

The layouts of each variant (Figure 5, a) and b)) were selected based on two main types of water conduction: steel pipes or tunnels. Combined conduction was also evaluated according to the topographical characteristics of each possible layout. The results have shown that driving through tunnels is cheaper than using pipelines, mainly due to the dimensions of the steel pipe that would need to be installed. Figure 5, b) shows in 3D the potential of this location. The use of pipelines is usually more expensive and causes a greater impact on the surrounding environment. Many species are there, some of which are endemic.

The ratio between the length of the pipeline and the hydraulic head (L/H) is less than 10, which is the threshold considered as the technical-economic feasibility index for these power plants. In all the studied variants, the L/H ratio ranges between 5 and 7. Another relevant factor is the fact that the lower reservoir is built and in operation with proven hydrological guarantees through simulations for 100 years.

*4.1. Mayarí PHEs project main project data*

The selected variant of the eastern region from the technical and economic point of view was variant 1, shown in Figure 5. This PHEs project is located specifically in Mayarí municipality, close to the already built Mayarí dam as shown in Figure 6. According to the geological study carried out by RAUDAL<sup>®</sup>, it has good conditions for this type of work. The height differences between both reservoirs range between 350m and 450m in relatively short lengths (2-3 km), which is good for PHEs projects.



**Figure 6.** Selected variant 1 for Mayarí PHEs, main layouts.

The upper reservoir with a calculated capacity of  $0,88 \times 10^6 \text{ m}^3$  will be constructed in an abandoned open sky mine by the nickel industry. Both the feeding tunnel and discharge will be an ovoidal section, made of concrete. Similarly, the access tunnel will be constructed with concrete. The tunnel non-linearity layout seen in Figure 6 is due to the rocks fracturing. The best conditions route has been selected according to the tunnel quality Q index.

The access road to the plant will border the Mayarí dam on the left, above the maximum level of the reservoir. From the construction point of view, the main sizes are listed in Table 5.

In the plant design phase, the technical possibility of reaching an installed power of 200 MW was taken into account. However, due to topographical and hydrological conditions, it is possible to install larger powers of up to 600 MW (Table 3). The final value will depend on the technical-economic feasibility study of the Mayarí PHES project.

**Table 5.** Main construction sizes of Mayarí PHES project

Dimension	Value	Unit
Installed capacity	2x100	MW
Vertical tunnel length	370	m
Horizontal tunnel length	1571	m
Intake tunnel diameter	4	m
Access tunnel length	1221	m
Submersion level <sup>1</sup>	30	m

Power house chamber size	17x26x4 0	m <sup>3</sup>
--------------------------	--------------	----------------

---

<sup>1</sup> Minimum operational.

From a technological point of view, the installation of 2x100 MW is being assessed with a design head of 475 m and 478 m respectively. Likewise, a nominal flow rate of 61.31 m<sup>3</sup>/s in the turbine regime and 40.87 m<sup>3</sup>/s in the pumping regime.

The L/H ratio (penstock length divided by hydraulic head) of this variant has resulted in the lowest of all (2.29). Actually, this is a determining indicator when evaluating variants and defining economic feasibility. Projects having an L/H ratio under 10 show promise as a PHES project. The L/H ratio is also an indicator of the surge chamber need, so it's considered as a feasibility indicator.

From the electrical point of view, it is considered that the Mayarí PHES plant will generate four hours daily and will operate in the pumping regime six hours' daily for 255 days per year. The Table 6 summarizes the values of electricity generated and consumed in a diary and yearly. The volume of the upper reservoir, considering evaporation losses, has been calculated at close to 1hm<sup>3</sup> (1 million m<sup>3</sup>) as shown in Table 6.

**Table 6.** Main Mayarí PHES project production indicators.

Indicator	Unit	Turbine	Pump
Electricity (Generated/Consumed) diary	kWh/day	800.0	804.60
Electricity (Generated/Consumed) yearly	GWh/year	204.0	205.17
Upper reservoir volume	106 m <sup>3</sup>	1	

The Cuban hydropower sector has to deal with some challenges to increase capacity and flexibility at lower operation costs. From the author's point of view, current limited policy, regulatory support for PHES and your necessary ancillary services can be considered the major causes of the PHES risk investment result. So, to increase the feasibility of PHES projects, targeted market mechanisms must be adopted aiming to remunerate the plant owner for the whole set of ancillary services provided to the system. In addition, considering new technologies like variable speed, PHES can improve round-trip efficiency.

#### 4. CONCLUSIONS

The project for the construction of PHES plants in Cuba is necessary, feasible, technically and economically feasible. It constitutes an investment in infrastructure necessary for the economic development of the country. The selected project in the eastern part of the country is an attractive project since it has proven technical guarantees in addition to having a cost reduction compared to similar works, since it has a reservoir built and in operation with high hydrological guarantees. The main advantages of these technologies are manifested in four aspects: greater energy independence, greater integration of the RES, greater security of the Electric System and greater guarantee of electricity supply. As it is a renewable source, it guarantees savings due to the importation of fossil fuels and implies a reduction in the emission of polluting gases such as CO<sub>2</sub>. In the same way, it allows the efficient integration of variable RES such as photovoltaic and wind power, guaranteeing the use of all that is generated without prejudice to the electrical system and guaranteeing the reliability of the system.

#### REFERENCES –

- Alberto Alvarez, E., Korkeakoski, M., Santos Fuentefría, A., Lourdes Filgueiras Sainz de Rozas, M., Arcila Padura, R., & Luukkanen, J. (2021). Long-Range Integrated Development Analysis: The Cuban Isla de la Juventud Study Case. *Energies*, 14(10), 2865. <https://doi.org/10.3390/en14102865>
- Coban, H. H., Rehman, A., & Mousa, M. (2022). Load Frequency Control of Microgrid System by Battery and Pumped-Hydro Energy Storage. *Water*, 14(11), 1818. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/w14111818>

Del-Campo, A. J. W. (2020). Hidroenergía. Características de red fluvial en Cuba. *Boletín informativo renovable.cu*, 8(Agosto 2020), pp. 2-4. [www.cubaenergia.cu/](http://www.cubaenergia.cu/)

He, W., King, M., Luo, X., Dooner, M., Li, D., & Wang, J. (2021). Technologies and economics of electric energy storages in power systems: Review and perspective. *Advances in Applied Energy*, 4(2021), 100060. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.adapen.2021.100060>

IHA, H. (2021). *2021 Hydropower Status Report: sector trends and insights. 2021. London.*

Koohi-Fayegh, S., & Rosen, M. A. (2020). A review of energy storage types, applications and recent developments.

*Journal of Energy Storage*, 27(2020), 101047. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.est.2019.101047> Luukkanen, J., Saunders, A., Majanne, Y., & Korkeakoski, M. (2022a). Modelling Cuban energy system with

CubaLinda model, Prospects for 10% renewable scenario. In J. Luukkanen, A. Saunders, Y. Majanne, & M. Korkeakoski (Eds.), *CUBAN ENERGY FUTURES. The transition towards a Renewable Energy System- Political, Economic, Social and Environmental Factors* (Vol. 3, pp. 335). Finland Futures Research Centre (FFRC). University of Turku. Finland

Luukkanen, J., Saunders, A., Majanne, Y., & Korkeakoski, M. (2022b, 28/11-2/12/2022). *Possibilities and challenges for developing a 100% renewables electricity system for Cuba III* Simposio Internacional sobre Generación Distribuida (SIGEDI 2022), Palacio de las Convenciones de La Habana. Cuba.

Menéndez, J., Fernández-Oro, J. M., & Loredó, J. (2020). Economic Feasibility of Underground Pumped Storage Hydropower Plants Providing Ancillary Services. *applied sciences*, 10(11). <https://doi.org/10.3390/app10113947>

Nibbi, L., Sospiro, P., De Lucia, M., & Wu, C.-C. (2022). Improving Pumped Hydro Storage Flexibility in China: Scenarios for Advanced Solutions Adoption and Policy Recommendations. *Energies*, 15(21), 7918. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/en15217918>

Peña-Pupo, L., Martínez-García, H., García-Vílchez, E., Domínguez, A. H., & Fariñas-Wong, E. Y. (2022). Improvements in Frequency Control of an AC Microgrid by Means of Micro-Hydropower Combined Flow- Reduced Dump Load Control Method. *Renewable Energies and Power Quality*

*Journal (RE&PQJ)*, 20(September 2022), 506-511.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.24084/repqj20.350>

Peña, P. L., Fariñas, W. E. Y., & Brito, S. A. L. (2022). The role of hydropower in the Cuban electricity System and future plans toward 2030. In J. Luukkanen, A. Saunders, A. Santos, Y. Majanne, M. L. F. S. d. Rozas, & J. Laitinen (Eds.), *Cuban energy systems Development-Technological Challenges and Possibilities* (Vol. 2, pp. 255). Finland Futures Research Centre (FFRC). University of Turku. Finland

Peña, P. L., Gutiérrez, U. L., Ramón, H. G., & Domínguez, A. H. (2018). Integration Proposal of a Solar Thermal Power Plant to the Cuban National Electric System. *Revista Tecnología Química*, Vol 38(3), pp 551-561. septiembre-diciembre de 2018.

Peña, P. L., & Hidalgo, G. R. (2019). Acumulación de energía hidráulica en Cuba. Proyección hacia el año 2030.

*Boletín informativo renovable.cu*, 4(2019), 2-6.

Peña, P. L., & Hidalgo, G. R. (2019). Acumulación de energía hidráulica en Cuba. Proyección hacia el año 2030.

*Boletín informativo renovable.cu*, 4(2019), 2-6.

Rehman, S., Al-Hadhrami, L. M., & Alam, M. M. (2015). Pumped hydro energy storage system: A technological review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44(2015), 586-598.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.12.040>

Shang, D., Pei, P., & Zuo, Y. (2020). Techno-Economic Feasibility Analysis of Pumped Storage Hydroelectricity in Abandoned Underground Coal Mines. *Journal of Energy Resources Technology*, 142(12). <https://doi.org/10.1115/1.4047406>

Uría-Martínez, R., Johnson, M. M., & Shan, R. (2021). *U. S. Hydropower Market Report*.

Vasudevan, K. R., Ramachandramurthy, V. K., Venugopal, G., Ekanayake, J. B., & Tiong, S. K. (2021). Variable speed pumped hydro storage: A review of converters, controls and energy management strategies. *Renewable*

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110156>

Vazquez, L., Majanne, Y., Castro, M., Luukkanen, J., Hohmeyer, O., Vilaragut, M., & Díaz, D. (2018). Energy System Planning towards Renewable Power Systems: Energy Matrix Change in Cuba by 2030. *IFAC-Papers-onLine*, 51(28), 522-527. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.11.756>

Xu, Z., Deng, C., & Yang, Q. (2023). Flexibility of variable-speed pumped-storage unit during primary frequency control and corresponding assessment method. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 145(2023), 108691. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2022.108691>

Zhao, J.-F., Oh, U.-J., Park, J.-C., Park, E. S., Im, H.-B., Lee, K. Y., & Choi, J.-S. (2022). A Review of World-wide Advanced Pumped Storage Hydropower Technologies. *IFAC PapersOnLine*, 55-9(2022), 170-174.

<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.07.030>

Zhao, Z., Yuan, Y., He, M., Jurasz, J., Wang, J., & Egusquiza, M. (2022). Stability and efficiency performance of pumped hydro energy storage system for higher flexibility. *Renewable Energy*, 199(2022), 1482-1494. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.09.085>

# EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN MEDIANTE EL ESTUDIO TIPO

## EVALUATION OF THE CAPACITY OF A MEASUREMENT SYSTEM THROUGH THE TYPE 1 STUDY

Yoel Portuondo Paisan

Francisco Lafargue Pérez

Antonio H. González Danger

<sup>1</sup> Universidad de Oriente, Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial, Dpto. Manufactura y Materiales Avenida de las Américas S/N Santiago de Cuba, Cuba. Tel: 53-22643120.

Email: yoelportuondo@uo.edu.cu

<sup>2</sup> Universidad de Oriente, Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial, Dpto. Manufactura y Materiales Avenida de las Américas S/N Santiago de Cuba, Cuba. Tel: 53-22643120.

Email: lafargue@uo.edu.cu

<sup>3</sup> Universidad de Oriente, Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial, Avenida de las Américas S/N Santiago de Cuba, Cuba. Tel: 53-22643120.

Email: danger@uo.edu.cu

### V. INTRODUCCIÓN

El análisis de los sistemas de medición debe implementarse en todos los procesos del sistema, ya que el riesgo de un sistema de medición defectuoso puede conducir a la aceptación de productos incorrectos o al rechazo de productos buenos [1]. El manual de análisis del sistema de medición (MSA) [2], tiene como propósito presentar los lineamientos para evaluar la calidad de un sistema de medición. El manual [2] y Minitab [3] describen un estudio de sistema de medición tipo 1 que evalúa únicamente la variación que proviene del sistema de medición. Específicamente, este estudio evalúa los efectos del sesgo y la repetibilidad sobre las mediciones de un operador y una parte de referencia. Un estudio tipo 1 del sistema de medición se utiliza al principio del análisis de sus sistemas de medición para concentrarse únicamente en el sistema de medición, y no en cualquier otra fuente de variación. De hecho, muchas organizaciones requieren un estudio tipo 1 del sistema de medición como el primer paso en un análisis de un sistema de medición completo. Luego de certificar el sistema de medición con un

estudio tipo 1 del sistema de medición, pueden ser utilizadas las otras herramientas para estudios del sistema de medición para ampliar el MSA y considerar las otras fuentes de variación de la medición [3].

El estudio tipo 1 del sistema de medición es utilizado para mediciones mecánicas, eléctricas, químicas así como en otros tipos de mediciones. En [4 y 5] se aplica el estudio en la medición de partes mecánicas de automóviles y obtenidas de procesos de manufactura respectivamente. En [6] se aplica en la industria farmacéutica específicamente en la fabricación de gel de hidróxido de aluminio. También [7] aplicó el estudio para mediciones ópticas empleando un Escáner Óptico de 3D.

En los procedimientos de calibración de instrumentos de medición no se contempla el estudio tipo 1, debido a que en el mismo se tiene en cuenta la tolerancia de la característica de calidad a medir. Muchas empresas se limitan a utilizar instrumentos calibrados sin la implementación del estudio tipo 1 del sistema, lo cual puede traer consigo que se empleen instrumentos calibrados pero no capaces de entregar resultados con desviaciones que no sobrepasen los límites de tolerancias, este problema se pone de manifiesto cuando las tolerancias a verificar son pequeñas. El objetivo del presente trabajo es evaluar la capacidad de un proceso de medición mediante un estudio tipo 1 del sistema de medición.

La repetibilidad es la capacidad del sistema de medición de realizar mediciones consistentes de la misma parte. Siempre habrá cierta variación en las mediciones incluso en un sistema de medición capaz, pero si la variación es demasiado grande en relación con la tolerancia de las partes, el sistema de medición será demasiado variable para su propósito. La variación de las mediciones de un sistema de medición deben ser pequeñas en comparación con la tolerancia.

## VI. MATERIALES Y MÉTODOS

Para llevar a cabo la evaluación se toma como muestra un calibre, el mismo se caracteriza por su capacidad de controlar más de una dimensión ya sea interior o exterior. Son llamados también de posición y forma. Una vez definida la característica de calidad a controlar se selecciona el medio de medición idóneo a emplear, se seleccionó un Micrómetro de Palanca con las siguientes características metrológicas.

Rango de medición: 0 – 25 mm, resolución: 0.001 mm, Tolerancia a verificar: 0,003 mm, diámetro exterior: 7,666 mm.

Se comprueba si el instrumento tiene suficiente resolución para realizar el control de la característica de calidad según el criterio planteado en [8]:

$$\text{Resolución} \leq 5 \% \text{ de la tolerancia}$$

En caso que no se cumpla el criterio debe emplearse otro instrumento de medición que cumpla con el requisito.

*A. Procedimiento para la implementación del estudio tipo I del sistema de medición e interpretación de los resultados*

Para realizar el análisis se toma preferentemente una pieza patrón, de la cual el valor de referencia  $x_M$  debe estar lo más próximo posible a la mitad de la zona de tolerancia de la característica de calidad a medir. A la pieza patrón se le realizan 50 mediciones bajo condiciones de repetibilidad en diferentes secciones del diámetro, de acuerdo con la figura 1. Si no se dispone de un patrón se tomará como tal una pieza de la producción que esté centrada.

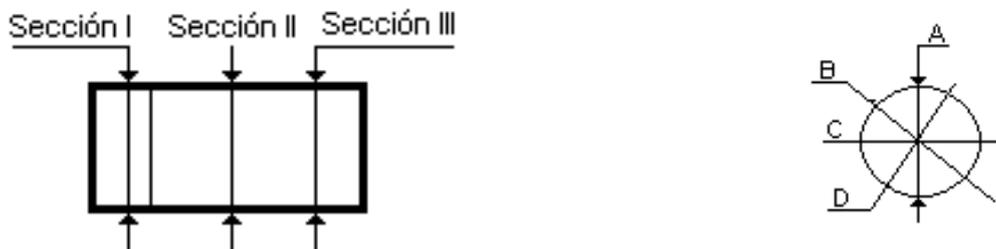


Fig. 1. Secciones y puntos de medición. Fuente: autores

**Una vez obtenidos los valores de medición se comprueba si los mismos proceden de una distribución normal. Según [9] muchos procedimientos estadísticos requieren, o funcionan mejor, cuando el supuesto de normalidad se cumple, lo que influye directamente sobre las inferencias y estimaciones de los resultados obtenidos. Para realizar la comprobación se emplea el software estadístico Minitab 17.**

Para evaluar la capacidad de un sistema de medición se emplean los índices  $C_g$  y  $C_{gk}$ , los cuales se calculan de acuerdo a las ecuaciones 1 y 2 [2,8,10]. El índice  $C_g$  evalúa la repetibilidad de un sistema de medición, el mismo compara la variación del estudio (la dispersión de las mediciones del sistema de medición) con un porcentaje de la tolerancia. El índice  $C_{gk}$  evalúa el sesgo del sistema de medición, el cual es la diferencia entre la medición

promedio del sistema de medición y el valor de referencia oficial: el valor "verdadero" que es el objetivo del sistema de medición. También evalúa la repetibilidad y el sesgo en conjunto, compara la variación del estudio con la tolerancia, pero también considera si las mediciones se encuentran "dentro de los valores objetivo".

$$C_g = \frac{0.2 \cdot T}{6s_n} \quad (1)$$

$$C_{gk} = \frac{0.1 \cdot T - |(\bar{x}_n - x_M)|}{3s_n} \quad (2)$$

donde  $T$  es la tolerancia de la característica,  $S_n$  es desviación estándar,  $\bar{x}_n$  la media de las series de repeticiones de medición y  $x_M$  el valor de referencia del patrón.

**Para la interpretación de los índice  $C_g$  y  $C_{gk}$  se tiene en cuenta lo siguiente:**

El medio de medición es capaz si  $C_g \geq 1.33$  y  $C_{gk} \geq 1.33$  [10, 11]

Los valores de  $C_g$  mayores que 1.33 indican que la dispersión de las mediciones del sistema de medición es adecuadamente estrecha en relación con su rango de tolerancia.

Un valor de  $C_{gk}$  de 1.33 es un valor de referencia común para denotar un sistema de medición capaz: uno que es tanto preciso (repetibilidad adecuada) como exacto (poco sesgo).  $C_{gk}$  disminuye a medida que aumenta la diferencia entre la medición promedio del sistema de medición y el valor de referencia.

El sesgo se analiza con una prueba t de la hipótesis nula de que no existe ningún sesgo. Básicamente, esta prueba determinar si la medición media difiere significativamente del valor de referencia. Si existe un sesgo estadísticamente significativo, se concluye que el sistema de medición está midiendo consistentemente por encima o por debajo del valor correcto [3].

El porcentaje de variabilidad de la repetibilidad (% Var (Repetibilidad)) y el de repetibilidad y sesgo (% Var (Repetibilidad y Sesgo)) se determinan por las ecuaciones 3 y 4 [12].

$$\%Var(repetibilidad) = \frac{20}{C_g} \quad (3)$$

$$\%Var(\text{repetibilidad y sesgo}) = \frac{20}{C_{gk}} \quad (4)$$

**Para que la variación que se debe al sistema de medición sea pequeña debe cumplirse lo siguiente:**

$$\%Var (\text{Repetibilidad}) \leq 15$$

$$0 \leq \%Var (\text{Repetibilidad y Sesgo}) \leq 15$$

$$\%Var (\text{Repetibilidad}) \leq \%Var (\text{Repetibilidad y Sesgo})$$

## VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez realizadas las mediciones con el micrómetro de palanca en las diferentes secciones del calibre se muestran los resultados en la tabla 1.

**Tabla 1. Valores de medición con el micrómetro para el estudio tipo 1 del sistema de medición. Fuente: autores**

Capacidad del instrumento			
de medición			
Característica de calidad			
Objeto de medición:	Designación:	Valor nominal:	Tolerancia:
Calibre	Diámetro exterior	7,666 mm	0,003 mm
Instrumento de medición			
Nombre: micrómetro de palanca			
Código:	Rango de medición:	Valor de división:	Resolución:
15910	0 – 25 mm	0,001 mm	0,001 mm

Patrón :	Valor de referencia $x_M$ :	
	7,667 mm	

Condiciones de medición

Temperatura inicial:	Temperatura final:	Variación de temperatura:
20 °C	20,1 °C	0,1 °C

Humedad relativa Inicial:	Humedad relativa Final:	Variación Humedad relativa:
63,1 %	62,6 %	0,5 %

Registro de valores en mm

1 - 5	6 - 10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-45	46-50
7,665	7,666	7,665	7,666	7,671	7,666	7,667	7,665	7,665	7,665
7,665	7,661	7,665	7,667	7,669	7,666	7,667	7,666	7,665	7,665
7,665	7,667	7,669	7,667	7,667	7,667	7,667	7,663	7,667	7,666
7,668	7,664	7,664	7,664	7,667	7,666	7,667	7,666	7,667	7,666
7,668	7,669	7,666	7,665	7,666	7,666	7,664	7,665	7,665	7,665

Valor de referencia  $x_M = 7,667\text{mm}$

Media  $\bar{x}_n = 7,666\text{ mm}$

---

Desviación estándar  $S_n = 0,0016\text{mm}$

¿Resolución  $\leq 5\%$  de la tolerancia?                      Si                      no X

Índices de capacidad:

¿ $C_g \geq 1.33$  y  $C_{gk} \geq 1.33$ ?                      Si                      no X

---

Se observa que para el micrómetro los índices de capacidad ( $C_g$  y  $C_{gk}$ ) arrojaron valores inferiores a 1,33 por lo que este instrumento no es capaz o no está apto estadísticamente (La aptitud estadística del medio de medición se basa en la determinación de la dispersión propia del medio de medición que se encuentra estrechamente relacionada con la incertidumbre de la medición, Coello [13]). Debido a que el micrómetro no cumplió con la condición necesaria, es decir, que debe tener suficiente resolución, era de esperar que el mismo no tuviera suficiente capacidad. Dicho resultado coincide con lo planteado en [8].

El sistema de medición debe mejorarse por lo que se propone el empleo de un nuevo instrumento de medición de acuerdo con la disponibilidad de medios de medición existentes en el laboratorio, que en este caso fue un Optímetro Horizontal calibrado y certificado por el órgano metrológico correspondiente.

**Tabla 2. Valores de medición con el óptimetro horizontal para el estudio tipo 1 del sistema de medición.**

**Fuente: autores**

---

Capacidad del instrumento de medición

---

Característica de calidad

---

---

Objeto de medición:	Designación:	Valor nominal:	Tolerancia:
Calibre	Diámetro exterior	7,666 mm	0,003 mm

---

Instrumento de medición

Nombre: Optímetro Horizontal

---

Código:	Rango de medición:	Valor de división:	Resolución:
760333	0-500 mm	0,0001 mm	0,0001 mm

---

Patrón : Valor de referencia  $x_M$   
: 7,667 mm

Condiciones de medición

---

Temperatura inicial:	Temperatura final:	Variación de temperatura:
20,2 °C	20,3 °C	0,1 °C

---

Humedad relativa Inicial: Humedad relativa Final: Variación Humedad relativa:

68,1 %                      68,4 %                      0,3 %

---

---

Registro de valores en mm

---

1 - 5	6 - 10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36-40	41-45	46-50
7,667	7,6671	7,6671	7,667	7,6671	7,6671	7,6669	7,667	7,667	7,667
7,667	7,6669	7,6671	7,6671	7,6669	7,667	7,6671	7,667	7,667	7,667
7,6671	7,667	7,6671	7,6671	7,6669	7,6671	7,6671	7,667	7,6669	7,667
7,667	7,6671	7,667	7,6671	7,667	7,6669	7,667	7,667	7,6669	7,667
7,667	7,6671	7,6671	7,6669	7,667	7,6671	7,667	7,667	7,6669	7,667

---

Valor de referencia  $x_M = 7,667\text{mm}$

Media  $\bar{x}_n = 7,667016\text{ mm}$

¿Resolución  $\leq 5\%$  de la tolerancia?

Si X

no

Índices de capacidad:

$C_g = 1,41$

$C_{gk} = 1,33$

¿ $C_g \geq 1.33$  y  $C_{gk} \geq 1.33$ ?

Si X

no

---

En la tabla 2 se presentan los valores de las mediciones realizadas. La misma, además del registro de los valores de las mediciones, también ofrece las características metroológicas del instrumento de medición y las condiciones ambientales en las que se realizaron las mediciones.

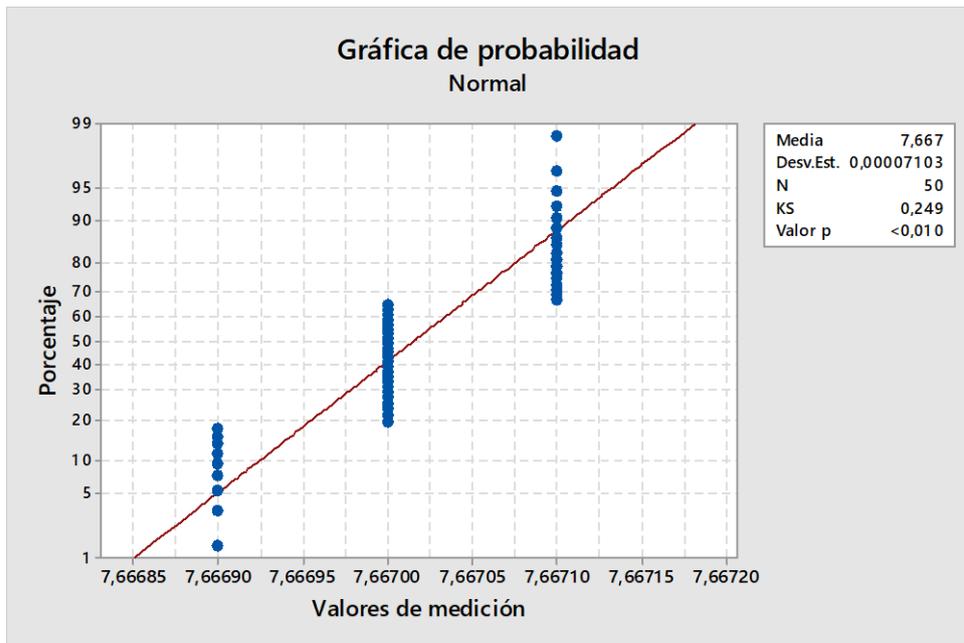


Fig. 2. Prueba de normalidad

En la figura 2 se muestran los resultados de la prueba de normalidad, de acuerdo al criterio Kolmogorov–Smirnov, se obtuvo un valor  $KS= 0.249$  y se concluye que los datos de las mediciones del diámetro del calibre se comportan de una manera normal, puesto que el valor  $KS > 0.05$  (1, 2).

En la figura 3 se muestran los resultados del estudio tipo1 del sistema de medición, los índices de capacidad ( $C_g$  y  $C_{gk}$ ) arrojaron valores superiores a 1.33, lo cual avala la propuesta de utilización del Optímetro como medio de medición idóneo. Estos resultados fueron altamente valorados por la entidad empresarial ya que demostraron que en la misma no se hacía una correcta selección del instrumento de medición para la medición de los calibres, lo cual provoca un aumento en la variación del sistema de medición, con respecto a variabilidad tolerada, e influye negativamente en la calidad final del producto.

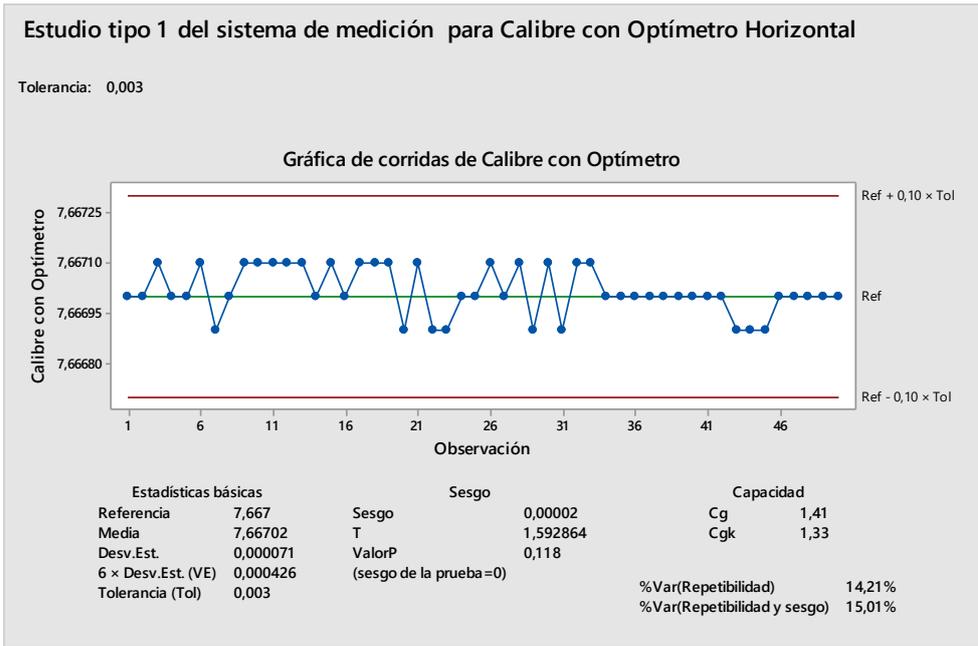


Fig. 3. Estudio tipo 1 del sistema de medición. Elaboración propia.

Por otra parte, en la gráfica de corridas todas las mediciones del diámetro del calibre se encuentran dentro del rango de tolerancia de  $\pm 10\%$ . El valor P del sesgo = 0.118 es mayor que el nivel de significancia de 0.05, por lo que el sistema de medición presenta un sesgo estadísticamente no significativo. El %Var (Repetibilidad) con un valor de 14% cumple el requisito, sin embargo el %Var (Repetibilidad y Sesgo) = 15,01 % sobrepasa por 0,1 el valor de referencia de 15% lo cual indica que el sistema debe ser mejorado aunque podría emplearse en el proceso bajo un monitoreo.

VIII. CONCLUSIONES

Los resultados de la evaluación de la capacidad del sistema de medición mediante el estudio tipo 1 arrojaron que el medio de medición empleado (Optímetro Horizontal) es capaz de entregar valores dentro de los límites de tolerancias para la pieza. Debido a que los valores de los índices Cg y Cgk, estuvieron próximos a los valores permisibles, así como el porcentaje de repetibilidad y el de repetibilidad-sesgo (este superó el valor permisible por 0,1 %), el sistema requiere ser mejorado y puede ser empleado bajo monitoreo. Teniendo en cuenta que las especificaciones del diámetro exterior del calibre no pueden ser modificadas debido a la alta precisión y exactitud que debe tener dicha dimensión la empresa debería invertir en la adquisición de una máquinas de medir por 3 coordenadas que a futuro abarataría los costos al disminuir la aceptación de piezas malas y el rechazo de piezas buenas.

## IX. REFERENCIAS

1. Beylihan E., Elevli S. Fuzzy Measurement System Analysis Approach: A Case Study. *International Journal of Engineering Research and Development*. UMAGD, (2022) 14(1), 176-185. <https://doi.org/10.29137/umagd.986483>
2. Automotive Industry Action Group. (2010). *Measurement Systems Analysis. Reference Manual* (4th ed.). US: Chrysler Group LLC-Ford Motor Company- General Motors Corporation.
3. Minitab, A type 1 gage study. 2021. [Consultado el: 12 de diciembre de 2022]. Disponible en:  
<https://support.minitab.com/es-mx/minitab/20/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/measurement-system-analysis/supporting-topics/other-gage-studies-and-measures/type-1-gage-study/>
4. Cuautle-Gutiérrez, L., & Lobato-Ramírez, J. F. (2020). Validación y liberación de dispositivo de medición para OEM automotriz, utilizando herramientas estadísticas en concurso de metrología a nivel nacional. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 28(79), 93-98.
5. Pedrosa, I., Juarros-Basterretxea, J., Robles-Fernández, A., Basteiro, J., & García-Cueto, E. (2015). Pruebas de bondad de ajuste en distribuciones simétricas, ¿qué estadístico utilizar? *Universitas Psychologica*, 14(1), 245-254. <http://dx.doi.org/10.11144/Javeriana.upsy13-5.pbad>
6. Otero Fernández, M. G., Mazorra Lopetey, A., & Ulloa Enríquez, M. U. (2014). Evaluación del sistema de medición en la fabricación de gel de hidróxido de aluminio. *Revista Cubana de Farmacia*, 48(4), 533-541. Recuperado de <http://scielo.sld.cu/pdf/far/v48n4/far02414.pdf>
7. Vagovský J, Buranský I, Görög A. Evaluation of measuring capability of the optical 3D scanner. *Proced Eng* 2015;100:198–1206. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.01.484>
8. Robert Bosch GmbH: Capability of measurement and Test Processes: Publication series Quality assurance within Bosch Group, no. 10. 2019 Stuttgart (Germany). [Consultado el: 12 de diciembre de 2022]. Disponible en:  
[https://assets.bosch.com/media/global/bosch\\_group/purchasing\\_and\\_logistics/information\\_for\\_business\\_partners/downloads/quality\\_docs/general\\_regulations/bosch\\_publications/booklet-no10-capability-of-measurement-and-test-processes\\_en.pdf](https://assets.bosch.com/media/global/bosch_group/purchasing_and_logistics/information_for_business_partners/downloads/quality_docs/general_regulations/bosch_publications/booklet-no10-capability-of-measurement-and-test-processes_en.pdf)

9. Pedrosa, I., Juarros-Basterretxea, J., Robles-Fernández, A., Basteiro, J., & García-Cueto, E. (2015). Pruebas de bondad de ajuste en distribuciones simétricas, ¿qué estadístico utilizar? *Universitas Psychologica*, 14(1), 15-24. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.upsy13-5.pbad>
10. Andrejiová, M., & Kimáková, Z. (2014). Indices Cg and Cgk in the assessment of the measuring device capability. *Annals of Faculty Engineering Hunedoara - International Journal of Engineering*, 12(4), 113 -116. ISSN: 1584-2673
11. Seyed Habib A. Rahmati, Mohsen Sadegh A. Fuzzy Gauge Capability (Cg and Cgk) through Buckley Approach *International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering* Vol:9, No:8, 2015
12. P. POLÁK, R. DRLIČKA, J. ŽITŇANSKÝ. Capability assessment of measuring equipment using statistic method. *Managment Systems in Production Engineering* 4(16)/2014  
  
<https://doi.org/10.12914/MSPE-08-04-2014>
13. Coello, N.: Determinación de la influencia de la incertidumbre de la medición sobre la magnitud efectiva de la tolerancia. Evento COMEC 2004, Santa Clara, Cuba.

# **TEMPERATURAS DE LA PARED Y PUNTO DE ROCÍO DE LOS GASES PRODUCTO DE LA COMBUSTIÓN EN LOS CAR DEL GENERADOR DE VAPOR BKZ-340-140-M/29,**

**(Temperatures of the wall and point of dew of the gases product of combustion in the CAR of the steam generator BKZ-340-140-M/29).**

MSc.Jorge Portuondo Pera

Dr.PT Luís Oliva Ruiz

Dr.PT Rene Lesme Jaén<sup>2</sup>, Lic.

<sup>1</sup>Central Termoeléctrica "Antonio Maceo Grajales"

<sup>2</sup>"Universidad de Oriente".

<sup>3</sup>"Universidad de Oriente

Email: portuondo@cterente.une.cu, oliva@fim.uo.edu.cu, lesme@fim.uo.edu.cu

## **1. Introducción**

Al producirse el derrumbe del campo socialista de Europa y la URSS en 1991, se experimenta una brusca disminución del suministro de petróleo a Cuba por lo que fue necesario la utilización del petróleo cubano para el funcionamiento normal de las Centrales Termoeléctricas, alcanzando en la actualidad el 81,6 % (Estadística UNE 2011) para garantizar la generación de electricidad en el país.

La quema de estos combustibles caracterizados por un alto contenido de azufre, el cual aumenta la temperatura de condensación de los vapores de ácido sulfúrico[1,7,8] ha traído como consecuencia serios problemas de corrosión y ensuciamiento en las zonas convectivas de bajas temperaturas y en las superficies de transferencia de los calentadores de aire regenerativos en todas las centrales termoeléctricas de Cuba, disminuyendo el tiempo de servicio de los mismos, lo que conduce a la necesidad de sustituir los cestos corroídos del equipo, así como el de incrementar la temperatura de los gases de escape[8], disminuyendo el rendimiento del generador de vapor y su capacidad de generación por la falta de tiro provocado por el incremento del consumo de combustible.

En el presente trabajo se presenta el resultado del estudio sobre el comportamiento de la temperatura de la superficie fría de los calentadores de aire regenerativos del generador de vapor BKZ-340-140-M/29, 340 t/h de vapor a 140 MPa y 545 °C, instalado en la unidad de 100 MW de la Central Termoeléctrica “Antonio Maceo Grajales”, en la provincia de Santiago de Cuba, con respecto a la temperatura del punto de rocío de los vapores de ácido sulfúrico a partir de los parámetros normativos para el crudo cubano, con alto contenido de azufre ( $S^t = 4,388 \%$ ), comparando sus resultados con lo establecido para el combustible de diseño, Mazut 20 con un contenido menor de azufre. ( $S^t = 2,2 \%$ )

## 2. Materiales y Métodos

Para determinar tanto la temperatura de la pared de los cestos fríos del calentador de aire regenerativo, como la temperatura de punto de rocío de los vapores de ácido sulfúrico, se utilizaron las ecuaciones correspondientes, mostrada posteriormente en el trabajo, así como los gráficos que vinculan las variables relacionadas al proceso de corrosión, al considerar el uso de combustible sulfurado en la central térmica Antonio Maceo Grajales, como es el caso del crudo cubano mejorado 1400 para ser comparado con el combustible de diseño Mazut 20 cuyas características fisicoquímicas se muestran en la tabla 1

Tabla 1. Características fisicoquímicas de los combustibles utilizados en la CTE Antonio Maceo Grajales, Santiago de Cuba

<b>Propiedades</b>	<b>UM</b>	<b>Mazut 20</b>	<b>PCM-1400</b>
Valor calórico inferior	MJ/kg	41.156	39.047
Azufre	%	2.2	4, 388
Carbono	%	85.80	82.31
Hidrógeno	%	10.1	10,67

Humedad	%	0.70	1,63
Asfáltenos	%	6.7	14,6

En la tabla 2 se muestran los datos técnicos principales de los calentadores de aire regenerativos objeto de estudio en la investigación.

Tabla 2. Datos técnicos principales de los calentadores de aire regenerativo tipo PBJI-5100, [1.15]

Nº	Parámetro	Valor
1	Superficie de calentamiento parte fría	2975 m <sup>2</sup>
2	Superficie de calentamiento parte caliente	7970 m <sup>2</sup>
7	Altura de las láminas parte fría	580 mm
8	Altura de las láminas parte caliente	1060 mm
9	Espesor de las láminas de los cestos fríos	1,2 mm
9	Espesor de las láminas de los cestos calientes	0,6 mm

Conforme a las condiciones de la corrosión, la superficie de calentamiento del CAR condicionalmente está separada en parte fría y parte caliente. En la parte caliente se encuentran las láminas que prácticamente no están sometidas a la corrosión, las mismas son onduladas, y

con un espesor de 0,6 mm. En la parte fría las láminas están sujetas a una corrosión activa y se fabrican con un espesor de 1,2 mm. [1.9.15]

El material de fabricación de las láminas es de acero CT3. Los paquetes de láminas están ubicados en dos pisos, en el primer piso están dispuestos los cestos de la parte fría y en el segundo piso los cestos de la parte caliente.

En los calentadores de aire, el proceso de corrosión está condicionado en gran medida, por la temperatura de la superficie de calentamiento. La experiencia de campo ha demostrado que no hay una dependencia estable entre la velocidad de corrosión y la temperatura del metal de los cestos de acuerdo con la figura 1. En la misma se muestra la incidencia de la velocidad de corrosión en función de la temperatura del metal, para diferentes coeficientes de exceso de aire [1]

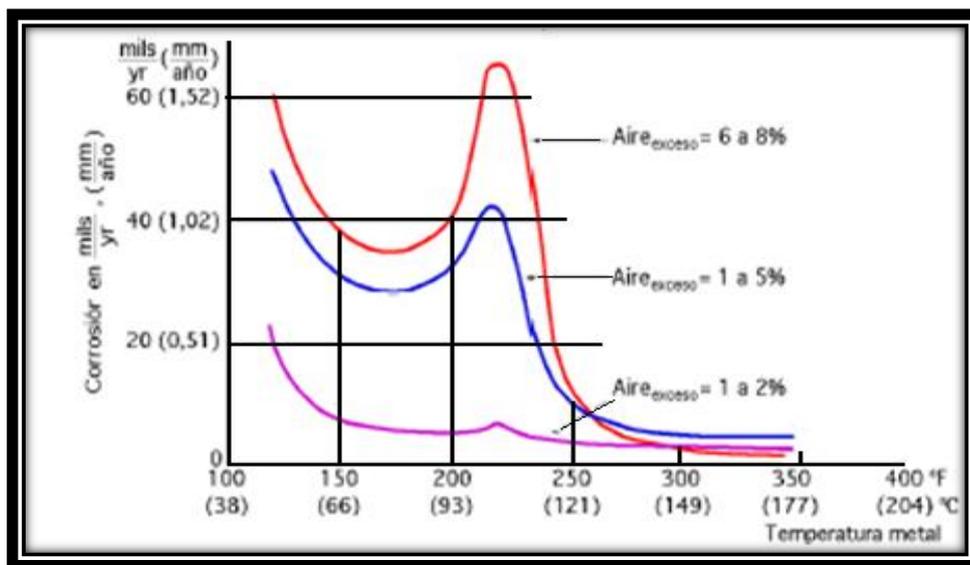


Figura 1: Efecto del exceso de aire sobre la corrosión a baja temperatura del acero al Carbono [1].

Según el gráfico de la (Fig.1) se puede observar que es recomendable para disminuir los efectos de la corrosión, en los cestos del calentador mantener su temperatura por encima de los 121°C, independiente del contenido de azufre en el combustible. [6.15].

Otro método para evitar en gran medida el efecto de la corrosión en los cestos del calentador de aire regenerativo, es la temperatura del aire precalentado a la entrada de este [6.11].

Cuando la producción de vapor de una caldera varía entre 100% y 75% de la carga nominal, el coeficiente de exceso de aire en el horno tiende a mantenerse en el rango de los límites normados [ 1.15]; para este generador de vapor  $\alpha_{nn}= 1,05$ .

En las Unidades de 100MW [4] para cargas menores a 75MW se puede determinar el coeficiente de exceso de aire normativo a través de la ecuación (1), [4].

$$\alpha_h = 1,0365 + 0,00273N_e - 3,4 \times 10^{-5} N_e^2 \quad (1)$$

Dónde:  $\alpha_h$  = coeficiente de exceso de aire a la salida del horno

$N_e$  = carga de la unidad en MW

El coeficiente medio de exceso de aire en el CAR se puede determinar a través de la ecuación (2), [17]

$$\bar{\alpha}_{car} = 0,5(\alpha' + \alpha'') \quad (2)$$

Donde:

$$\alpha' = \alpha_h + \Delta\alpha$$

$$\alpha'' = \alpha' + \Delta\alpha_c$$

Siendo:

$\alpha'$  Exceso de aire entrada CAR

$\alpha''$ : Exceso de aire salida CAR

$\Delta\alpha$  ,  $\Delta\alpha_c$  - infiltraciones de aire en conductos y CAR

El comportamiento por diseño de la temperatura de los gases a la salida del generador de vapor se podrá determinar con la ecuación [4]:

$$t_g = 131,95 + 0,297N_e \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3)$$

Para determinar la temperatura del punto de rocío, se utilizó la gráfica representada por la (Fig.2),

[4] aunque otros autores plantean el uso de otras ecuaciones.

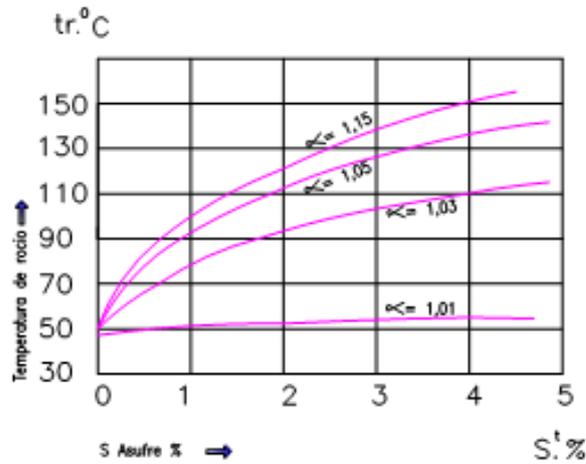


Figura 2. Dependencia

aire a la salida del horno y el azut [6.15]

Para el cálculo de la temperatura mínima del metal de los cestos fríos del calentador de aire regenerativos en la literatura [2.17] se plantea la ecuación siguiente:

$$t_p = \frac{(x_1 \alpha_1 t_g + x_2 \alpha_2 t_a)}{(x_1 \alpha_1 + x_2 \alpha_2)}, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4)$$

Dónde:  $t_p$ ,  $t_g$  y  $t_a$  son, la temperatura mínima de la pared de los cestos de los calentadores, de los gases a la salida, y del aire a la entrada en  $^\circ\text{C}$ , respectivamente. Siendo la temperatura del aire  $t_a = 80 \div 100 \text{ } ^\circ\text{C}$ , [15]

$X_1, X_2$  = Fracciones de las superficies de calentamiento o de la sección transversal del calentador bañada por los gases. ( $X_1 = H_g/H$ ). y aire. ( $X_2 = H_a/H$ ), respectivamente.

$H_g, H_a$  = Superficies total de calentamiento, por el lado de los gases y del aire respectivamente en  $\text{m}^2$ .

$\alpha_1, \alpha_2$  = coeficientes de transferencia de calor por el lado de los gases y del aire respectivamente,  $\text{W}/\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

El coeficiente de transmisión de calor para calentadores de aire regenerativos, se determina con la siguiente expresión según referencia [2.17]:

$$\alpha = A_{car} \frac{\lambda}{d_e} \left( \frac{w d_e}{\nu} \right)^{0.8} \text{Pr}^{0.4} C_T C_L, \text{ } \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}} \quad (5)$$

Donde.

$A_{car}$  : Coeficiente de corrección por el tipo de estampado del calentador de aire.

Para láminas de acero onduladas  $A_{car} = 0,027$

Para láminas de acero lisa y distanciadas  $A_{car} = 0,021$

$P_r$  : Número de Prandtl.

$w$  : Velocidad media del fluido m/s.

$\lambda$  : Coeficiente de conductividad térmica del fluido W/m °C

$\nu$  : Viscosidad cinemática del fluido m<sup>2</sup>/seg.

Las características físicas del aire y los gases ( $\lambda$ ,  $\nu$  y  $P_r$ ) se obtienen mediante nomogramas [17]:

$C_T$  : Coeficiente de corrección por temperatura, es función de la temperatura del fluido y la temperatura de la superficie de transferencia igual a 1.

$C_L$  : Coeficiente de corrección a la longitud relativa igual a 1.

$d_e$  : Diámetro equivalente igual a 7.8 m

$$d_e = \frac{4f}{U_m}, m$$

$f$  : Sección transversal para el paso de los fluidos, m<sup>2</sup>

$U_m$  : Perímetro bañado, m

La velocidad media de los gases necesaria para la determinación de los coeficientes de transferencia de calor se determina por la siguiente ecuación [17]:

$$w_g = \frac{B_c \nu_g \bar{T}_g}{273 f_g}, m/s$$

Donde:

$B_c$  : Consumo de combustible, kg/s

$f_g$  : Sección transversal para el paso de los gases, m<sup>2</sup>

$v_g$  : Volumen total de gases, m<sup>3</sup> N/ kg

$\bar{T}_g$  : Temperatura media de los gases, K

Para el cálculo de la velocidad media del aire a su paso por el calentador, puede utilizarse la siguiente ecuación [17]:

$$w_a = \frac{(\beta_{ca} + \frac{\Delta\alpha_{car}}{2} + r_{car})(B_c V^o \bar{T}_a)}{273 f_a}, m/s$$

Donde:

$\beta_{ca}$  : Coeficiente que relaciona la cantidad de aire a la salida del calentador de aire real con la teórica.,  $\beta_{ca} = \alpha_h - \Delta\alpha_h$

$\Delta\alpha_{ca}$  : Infiltraciones de aire en el calentador de aire.

$r_{ca}$  : Coeficiente de recirculación de aire

$B_c$  : Consumo de combustible de cálculo, kg/s

$f$  : Sección transversal para el paso de los fluidos, m<sup>2</sup>

$V^o$  : Volumen teórico de aire m<sup>3</sup>/kg

$\bar{T}_a$  : Temperatura media del aire, K

$\alpha_h$  : Coeficiente de exceso de aire a la salida del horno.

$\Delta\alpha_h$  : Infiltración de aire en el horno.

El valor de la sección transversal para el paso de los fluidos, se calcula mediante las siguientes ecuaciones [17]:

Para los gases:

$$f_g = 0,785D^2 x_1 k_r k_l z_{car}, m^2$$

Para el aire:

$$f_a = 0,785D^2 x_2 k_r k_l z_{car}, m^2$$

Donde:

$z_{car}$ : Número de CAR en paralelo

$D_r$ : Diámetro interior del rotor del CAR, m

$k_r$ : Coeficiente que tiene en cuenta, la sección ocupada por los tabiques y el cubo de la rueda del CAR igual a 0,908

$k_l$ : Coeficiente que tiene en cuenta, la sección del rotor del CAR ocupada por las láminas, igual a 0,860

### 3. Resultados y Discusión

#### 3.1 Temperatura de punto de rocío y coeficiente de exceso de aire

En la tabla 3 se muestran los resultados del coeficiente de exceso de aire a la salida del horno y el medio en los CAR a partir de las ecuaciones (1) y (2) respectivamente. El exceso de aire disminuye a medida que aumenta la carga ya que en la operación del generador de vapor a bajas cargas, se hace necesario aumentar el exceso de aire al horno, para lograr una mejor combustión y disminución de las pérdidas por incompleta combustión química  $q_3$  [1.15] y de esta forma lograr aumentar la turbulencia que favorezca la formación de la mezcla adecuada para el proceso de combustión [8]. Es necesario señalar que a bajas cargas la calidad de atomización del combustible disminuye a causa de su baja presión, trayendo como consecuencia que el tamaño de las gotas no sea el adecuado, produciéndose una distribución no uniforme en la zona de combustión, efecto el cual puede compensarse con la utilización de una mayor cantidad de oxígeno [6.15]. Los valores de los coeficientes de exceso de aire a la salida del horno como se puede observar dependen de la carga del generador de vapor. En nuestro caso se tomó desde 50 a 70 MW a intervalo de 10 MW y posterior a 70 a intervalos de 5 MW debido a que es la zona en donde el coeficiente de exceso de aire a la salida del horno no varía.

En dicha tabla se puede observar además el comportamiento creciente del coeficiente medio de exceso de aire en los calentadores de aire regenerativos a medida que disminuye la carga debido

a las infiltraciones de aire que ocurren en los diferentes agregados del generador de vapor debido a la diferencia de presión entre los gases y el medio [15].

**Tabla 3. Coeficientes medio de exceso de aire en el CAR en dependencia de la carga**

<b>Carga (MW)</b>	<b>Flujo de vapor (t/h)</b>	$\alpha_h$	$\alpha'$	$\alpha''$	$\alpha_m$
50	158,0	1,088	1,264	1,420	1,342
60	189,5	1,074	1,219	1,362	1,291
70	221,3	1,061	1,191	1,324	1,258
75	237,2	1,050	1,170	1,298	1,234
80	253,1	1,050	1,163	1,287	1,225
95	301,1	1,050	1,145	1,259	1,202

A.

**B. Con el uso del grafico representado en la (Fig.2), [6.15] se determinaron los valores de la temperatura del punto de rocío de los vapores de  $H_2SO_4$  para diferentes cargas de los combustibles estudiados, los cuales aparecen en la tabla 4. En esta se muestra que para las mismas cargas e iguales coeficientes de exceso de aire, se obtienen diferentes valores de la temperatura de punto de rocío lo cual destaca la influencia del azufre en el combustible según su composición físico química [10.15].**

Tabla 4. Resultados de la determinación de la temperatura del punto de rocío de los vapores de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ .)

Parámetros	Unidad	Cargas					
		95 MW	80 MW	75 MW	70 MW	60 MW	50 MW
Flujo de vapor	t/h	301,1	253,1	237,2	221,3	189,5	158,0
Temperatura del punto de rocío para $S^t = 4,38\%$	°C	134,6	134,6	134,6	136,1	138,1	140,9
Temperatura del punto de rocío para $S^t = 2,5\%$	°C	118,0	118,0	118,0	119,0	120,5	122,6
Coefficiente de exceso de aire salida horno $\alpha_h$	--	1,050	1,050	1,050	1,061	1,074	1,088

La temperatura mínima de la pared de los cestos de los CAR determinado por la expresión (4), [15.16] y presentado en la tabla 5 muestra que los valores obtenidos están en el rango recomendado por la (Fig.2), es decir por encima de 121 °C, [1.15] con una temperatura del aire precalentado de 100 °C para reducir la velocidad de corrosión. Aún así hay que señalar que el proceso de condensación de los vapores de ácido sulfúrico en los CAR [6.7] es inevitable para el caso del combustible con  $S^t = 4,38\%$  al no poderse lograr una temperatura en la pared, superior a la de punto de rocío, esto se muestra en la (Fig.4). En la literatura [16] se plantea que la temperatura de la pared debe ser de 10 °C, superior a la del punto de rocío.

### 3.2 Temperatura de la pared

En la tabla 6 se muestran los valores de la temperatura mínima de la pared de los cestos de los CAR determinado por la misma expresión (4) para el mazut con  $S^t = 2,2\%$ , con valores inferiores a la anterior pero por encima de 121 °C, en la (Fig5) se muestra un comportamiento contrario, es decir la temperatura de la pared se mantuvo por encima de la temperatura de punto de rocío de los vapores de ácido sulfúrico para todas las cargas, evitando así la condensación de estos sobre la superficie utilizando una temperatura del aire precalentado de 80 °C a la entrada de los CAR [15].

Tabla 5. Resultados del cálculo de las temperaturas mínimas de pared de los cestos de los CAR. Para el crudo nacional 1400 con  $S^t = 4,38\%$

Parámetros	Unidad	Cargas					
		50MW	60MW	70MW	75MW	80MW	95MW
Velocidad de los gases $w_g$	m/s	6,3	7,1	8,1	8,5	9	10,5
Velocidad del aire $w_a$	m/s	5,3	6,1	7	7,4	7,9	9,2
Coefficiente de transferencia de calor por el lado de los gases $\alpha_1$	W/m <sup>2</sup> °C	46,7	51,5	56,5	58,6	61,2	68,7
Coefficiente de transferencia de calor por el lado del aire $\alpha_2$	W/m <sup>2</sup> °C	41,8	46,6	51,8	54,1	56,8	64,6
Temperatura media de la pared	°C	182	184,9	188,3	189,4	192,0	195,6
Temperatura mínima de la pared	°C	127,6	128,1	128,6	128,5	128,4	128,4

Tabla 6 Resultados del cálculo de las temperaturas mínimas de pared de los cestos de los CAR para el Mazut 20 con  $S^t = 2,2\%$

Parámetros	Unidad	Cargas
------------	--------	--------

		50MW	60MW	70MW	75MW	80MW	95MW
Velocidad de los gases $w_g$	m/s	6,3	7,3	8,2	8,2	9,3	10,4
Velocidad del aire $w_{aire}$	m/s	5,3	6,4	7,3	7,3	8,3	9,4
Coefficiente de transferencia de calor por el lado de los gases $\alpha_1$	W/m <sup>2</sup> °C	40,1	44,9	48,8	48,8	53,6	58,2
Coefficiente de transferencia de calor por el lado del aire $\alpha_2$	W/m <sup>2</sup> °C	36,3	41,7	46,1	46,3	51,2	56,1
Temperatura media de la pared	°C	141	144	147	148	149	150
Temperatura mínima de la pared	°C	119,3	120,6	122	122,7	123,5	125,9

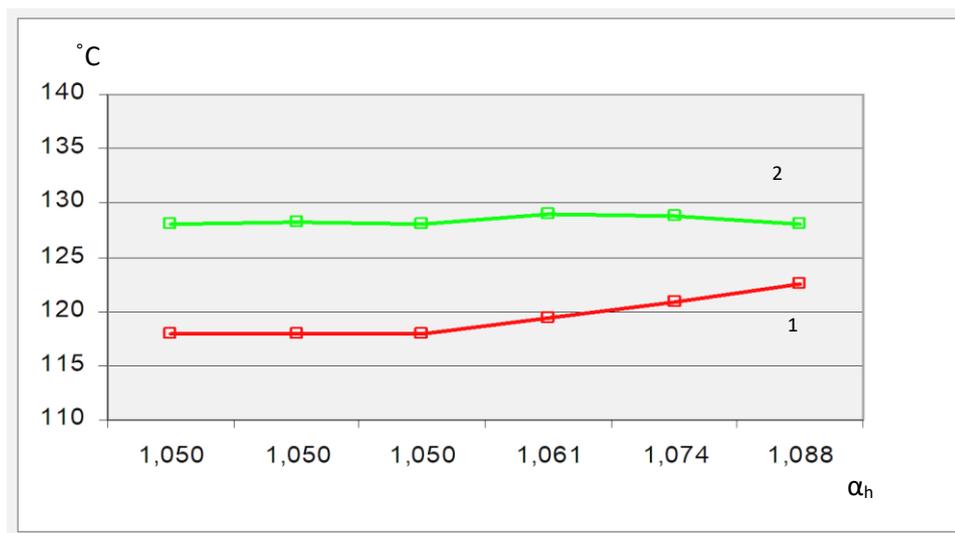
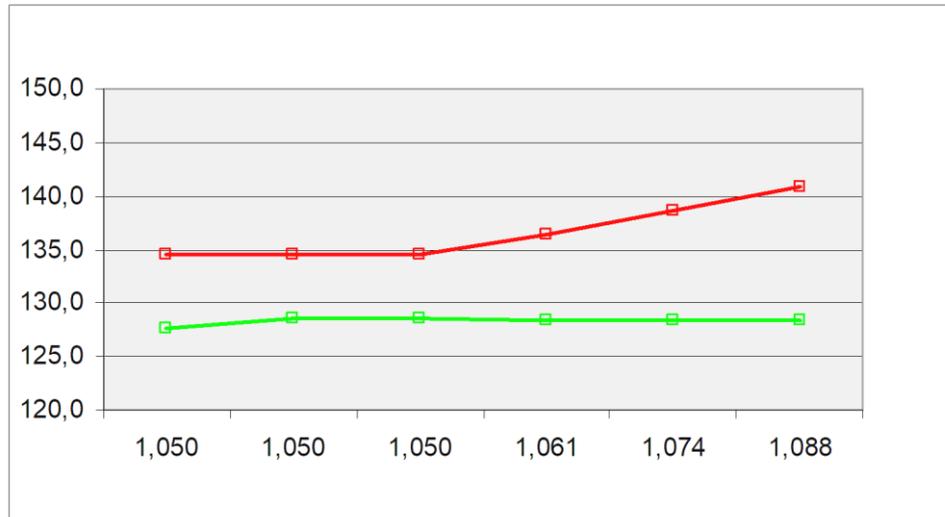


Figura 4. Comportamiento de la temperatura de la pared (2) con respecto a la temperatura del punto de rocío de los vapores de  $H_2SO_4$  (1), para diferentes coeficientes de exceso de aire y cargas con el combustible de diseño cuyo contenido de azufre es  $S^l=2,2\%$ .

1



2

Figura 5. Comportamiento de la temperatura de la pared (2) con respecto a la temperatura del punto de rocío de los vapores de  $H_2SO_4$  (1), para diferentes coeficientes de exceso de aire y cargas con crudo nacional cuyo contenido de azufre es  $S^l=4,38\%$ .

$\alpha_h$

### 3.3 Corrosión en los cestos fríos del calentador de aire regenerativo

En la (Fig.6) se puede observar el nivel de corrosión que enfrentan los cestos de los calentadores de aire regenerativos como consecuencia de la condensación de los vapores de ácido sulfúrico en la zona de baja temperatura del generador de vapor [15], al no mantenerse una temperatura en la pared de los cestos, superior a la del punto de rocío de dichos vapores ,provocando el deterioro de los mismos y la perdida de eficiencia del generador de vapor ,al disminuir la transferencia de calor entre el aire y los gases producto de la combustión al expulsando estos últimos con mayor temperatura a la atmosfera.



Figura 6: Proceso de corrosión en los cestos fríos de los calentadores de aire regenerativos.

#### 4. CONCLUSIONES

Con la quema del crudo nacional la temperatura de la pared de los cestos fríos se mantiene por debajo de la temperatura del punto de rocío de los vapores de ácido sulfúrico, provocando la condensación de estos sobre dicha pared para todas las cargas, aun cuando se mantienen los parámetros de diseño, por lo tanto, el proceso de corrosión será permanente.

Bajo las condiciones de diseño la durabilidad de los cestos fríos es de un año con uno o tres meses de explotación.

Con el régimen de explotación, el exceso de aire y la temperatura del aire precalentado están fuera de los valores normativos, el proceso de corrosión en los cestos fríos de los calentadores será más agresivo debido al incremento de la velocidad de corrosión, reduciendo la vida útil de los mismos desde un año a ocho meses.

Para evitar la corrosión en los cestos fríos a causa de la condensación de los vapores de ácido sulfúrico, es necesario lograr valores de temperatura en el aire precalentado superiores a los de diseño, para poder lograr que la temperatura de la superficie fría sea mayor que la del punto de rocío de dichos vapores y con esto se extendería la vida útil de los cestos.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. Calisté Manzano Nidia. Determinación de la temperatura mínima del metal de los cestos de los CAR del generador de vapor BKZ-340-140/29M en función de la carga para minimizar el efecto corrosivo de los gases producto de la combustión en combustible de alto contenido de azufre. Tesis de maestría en eficiencia energética universidad de oriente año 2011.
2. Colectivo de autores: Cálculo térmico de los generadores de vapor. Método normativo. En idioma ruso. Editorial Energía. 1973
3. Contrato de Modernización de equipos y sistemas de dos unidades soviéticas de 100 MW, CTE Antonio Maceo Grajales RENTE. 1999.
4. Metodología de cálculo de sobreconsumos Central Termoeléctrica “Antonio Maceo Grajales” (RENTE). Vig. Desde 2002-02. —5p.
5. Navarro, R. P. “Estudio de la Corrosión en generadores de vapor que consumen crudo nacional”. Trabajo de Diploma. Universidad de Oriente, 2001.
6. Oliva. Luis. [et.al.]. Explotación y materiales constructivos de generadores de vapor/ -- Santiago de Cuba: Ediciones ISPJAM, 1988. —292p
7. Prieto. Montenegro. L F: Análisis del comportamiento de la caída de presión en el eje convectivo del generador de vapor en la unidad # 6 de la CTE 10 de octubre con la quema del crudo cubano. Tesis de maestría, Universidad de Oriente año 2000
8. Borroto Nordelo Aníbal. A. González. Rubio: Combustión y Generación de Vapor .Cienfuegos. Editorial Universo Sur. 2007.
9. Fernández Díez Pedro: Centrales térmicas. España. Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética. Universidad de Cantabria. 2010.
10. Fajardo Rizo Mario: Evaluación de la efectividad del sistema de limpieza acústica, en la unidad #4 de la CTE Antonio Maceo Grajales. Tesis de maestría en eficiencia energética. Universidad de oriente año 2011.
11. Ye. Pysmennyy. G. Polupan. Carvajal I. Mariscal. F. Sánchez Silva: Manual para el cálculo de precalentadores de aire y bancos de tubos aletados. Editorial REVERTE 197 p. 2007.

12. [ocw.universia.net/es / instituciones/4/universidad- de - Cantabria](http://ocw.universia.net/es/instituciones/4/universidad-de-cantabria). Cálculo Integral combustión. psicometría, mecanismo de transferencia de calor, intercambiadores de calor.2012.
13. <http://www.slideshare.net/orlandojeanpaul/intercambiador-de-calor>: Introducción y diseño de intercambiadores de calor. Universidad de Oklahoma.2012.
14. Generación, Transporte y Uso del Vapor. Combustión y combustibles. Tomado de: <http://wwwfim.uo.edu.cu>, 15 de marzo del 2010.
15. Portuondo Pera Jorge: Factibilidad técnico económica del uso de láminas esmaltadas en los cestos fríos de los calentadores de aire regenerativos de las unidades de 100 MW de la Central Termoeléctrica “Antonio Maceo Grajales” Tesis de maestría en eficiencia energética. Universidad de oriente año 2013.
16. V.A.Grigorieva. V.M.Zorina: Céntrales termoeléctricas y electronucleares. Editorial Energoizdat. Moscú 1982.
17. Tanquero Nelson: Guía metodológica para proyectos de curso de generadores de vapor. La Habana: Editorial ISPJAE.1987.

# **PERFECCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE MANTENIMIENTO A LA LOCOMOTORA CHINA DF7G-C DEL TALLER FERROVIARIO DE SANTIAGO DE CUBA.**

## **Improvement of the maintenance system for the Chinese DF7G-C locomotive of the Santiago de Cuba Railway Workshop**

MSc. Ing. Antonio Hipolito González Danger,

Dr. Yoel Portuondo Paisan,

MSc Ing. Carlos Eduardo Alfaro Rodríguez<sup>3</sup>, MSc.

Lic. Georgina Fernández García

<sup>1</sup>Departamento de Manufactura y Materiales, Universidad de Oriente, Cuba, danger@uo.edu.cu.

<sup>2</sup>Departamento de Manufactura y Materiales, Universidad de Oriente, Cuba, yoel@uo.edu.cu.

<sup>3</sup>Departamento de Manufactura y Materiales, Universidad de Oriente, Cuba, alfa@uo.edu.cu.

<sup>4</sup>Departamento de Matemática, Universidad de Oriente, Cuba, georgina.fernandez@uo.edu.cu.

## **INTRODUCCION**

La conservación de una locomotoras es muy importante e implica una serie de actuaciones que hay que hacer a medida que pasa el tiempo, de forma programada, lo que se llama Mantenimiento Preventivo Planificado. Como estrategia de Mantenimiento, el MPP se basa en revisiones, inspecciones, cambios y ajustes, realizados a unas ciertas frecuencias, sobre los diferentes equipos de un proceso productivo, con el fin de asegurar su condición operativa adecuada, minimizando el riesgo de ocurrencia de correctivos emergentes. El Mantenimiento Preventivo Planificado constituyó durante un tiempo el sistema más avanzado, pues sobre la fiabilidad de los componentes de cada equipo que basó su sistema de reparaciones por ciclos de mantenimiento, esto no ha sido lo ideal, ya que trajo consigo un alto manejo de documentación en ocasiones innecesarias lo que produjo desarmes de equipos en perfectas condiciones de trabajo, y cambios de piezas o elementos en buen estado, o reparaciones de equipos modernos

sin tener los conocimientos necesarios para acometer esta tarea, lo cual significa paradas imprevistas, pérdidas de equipamientos productivos, y costos económicos de gran cuantía.

Al realizar un análisis del sistema de mantenimiento aplicado a las locomotoras Chinas DF7G-C se detectaron fallas en el funcionamiento de diversos componentes de varios de sus sistemas antes de llegar al tiempo establecido de 40 000 Km para su aplicación por lo que se hace necesario el perfeccionamiento del sistema de gestión del mantenimiento en las locomotoras chinas mediante el estudio de la fiabilidad permitiendo una mayor disposición técnica.

### **MATERIALES Y METODOS:**

La presente investigación se realizó en la UEB Talleres Ferroviarios Santiago de Cuba. La muestra seleccionada se sustenta en 11 Locomotoras de la serie 52563 hasta la 52573, en esta se evaluó el periodo comprendido entre el día 1 de abril del 2021, hasta el día 15 de junio del 2022, para un total de 730 días de observación.

Es válido aclarar que se seleccionó esa etapa a partir de que la baja disponibilidad de piezas para la intercambiabilidad limitó el proceso de mantenimiento eficiente y esto afectaría el estudio de fiabilidad. En la investigación se tuvo en cuenta aspectos relacionados con: kilometraje recorrido, así como cantidad de roturas o averías, tiempos de fallas y tiempos de reparación.

Los elementos a tener en cuenta en la investigación son: sistema de aire, sistema eléctrico, el motor diesel y sus agregados, a los que se les realizó el análisis en cuanto a horas de trabajo, tipos de mantenimientos realizados en el período.

#### **Metodología de las investigaciones experimentales.**

Se seleccionó como objeto de estudio al personal responsabilizado con la ejecución de los mantenimientos técnicos y reparación de las Locomotoras Chinas DF7G-C (un jefe de brigada, cuatro mecánicos de equipos tractivos "A", igual cantidad de electricistas de equipos tractivos "Ä", dos mecánicos de aire "A," un engrasador, dos ayudante y un técnico en equipos tractivos), a los que se le aplicó la entrevista según cuestionario estandarizado aplicando la metodología descrita.

#### **Metodología para determinar los índices de fiabilidad de las locomotoras chinas DF7G-C.**

Para poder analizar el comportamiento de la capacidad de trabajo de un objeto técnico mediante la teoría de la fiabilidad, se deben de conocer primeramente criterios cualitativos algunos términos, definiciones y conceptos generales que se plantean a continuación. Según Luna

Lauzurique, 1982, la teoría de la fiabilidad es una ciencia de la ingeniería relativamente joven que se ocupa, precisamente, del estudio del comportamiento de los artículos en la explotación, vale decir, del cambio de su cualidad en el tiempo. Para tener un mejor entendimiento del concepto de fiabilidad, se brindan los siguientes conceptos básicos.

**Fundamento matemático para los cálculos de los indicadores de mantenimiento.**

Cálculos de los parámetros que contiene un sistema fiable del mantenimiento.

Según datos estadísticos, se puede determinar la probabilidad del **trabajo sin fallas** por la siguiente expresión:

Probabilidad de trabajar sin falla: **P (t)**: Es la propiedad del objeto técnico que establece que en los límites de un período de explotación no surjan fallas.

$$P(t) = \frac{N_0 - \sum n(t)}{N_0} \tag{2.1}$$

Donde:

$N_1$  - cantidad de objetos en buen estado al final de la prueba.

$N_0$  - cantidad de objetos al principio de la explotación o la prueba.

$N(\Delta t)$  - cantidad de objetos que fallaron al cabo de período de tiempo (t).

De igual manera se calculó **la probabilidad de la falla Q (t)**.

$$P(t) + Q(t) = 1$$

$$Q(t) = 1 - P(t) \tag{2.2}$$

**El Tiempo de trabajo medio hasta la falla  $t_0$** . Es la esperanza matemática del trabajo del objeto técnico hasta que alcanza la primera falla.

$$t_0 = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_{oi}}{N_0} \tag{2.3}$$

$N_0$

Donde:

$t_{oi}$ - tiempo promedio de trabajo hasta la falla.

$N_o$  - cantidad de equipos.

**El flujo de la falla  $W(t)$  de la locomotora china DF7G-C.**

$$W(t) = \frac{nf}{N(\Delta t)} \quad (2.4)$$

Donde:

$nf$ : es la cantidad de fallas en el intervalo de tiempo ( $\Delta t$ ).

$N(\Delta t)$ : cantidad de objetos con capacidad de trabajo en el intervalo de tiempo ( $\Delta t$ ).

**El tiempo medio de restablecimiento de la capacidad de trabajo de la locomotora china DF7G-C. ( $T_b$ )**

$$T_b = \sum_{i=1}^m t_{bi} \quad (2.5)$$

$M$

**El tiempo o volumen de trabajo promedio hasta la falla  $T_s$ .**

$$T_s = \sum_{i=1}^m t_i \quad (2.6)$$

$N_o$

**El coeficiente de disponibilidad ( $K_d$ ):** Es la probabilidad de que el objeto técnico esté apto para el trabajo en un momento arbitrariamente escogido, excepto en los períodos de mantenimiento.

$$K_d = \frac{T_s}{T_s + T_r} \quad (2.7)$$

$$T_s + T_b$$

$T_s$  - tiempo o volumen de trabajo hasta la falla.

$T_b$  - tiempo promedio invertido en la eliminación de la falla.

**El coeficiente de utilización técnica o de aprovechamiento técnico (Kut):** Es la relación entre el valor esperado del tiempo en que el objeto técnico mantiene su capacidad de trabajo, y la suma de este y el tiempo de todas las paradas ocasionadas por los mantenimientos y las reparaciones, durante un período cualquiera de su utilización.

$$K_{ut} = \frac{T_s}{T_s + t_{mt} + t_{rep}} \quad (2.8)$$

$$T_s + t_{mt} + t_{rep}$$

Dónde:

$T_s$  - tiempo del objeto con capacidad de trabajo.

$t_{mt}$  - tiempo adicional de parada debido a los mantenimientos planificados y no planificados.

$t_{rep}$  - tiempo adicional de parada por reparaciones planificadas y no planificadas.

**El coeficiente de disponibilidad operativa Kdo.** Este coeficiente caracteriza la posibilidad de que el objeto tenga capacidad de trabajo en cualquier momento del tiempo. Su valor puede ser determinado por:

$$K_{do} = K_d \times P(t) \quad (2.9)$$

Donde:

$K_d$  - coeficiente de disponibilidad.

$P(t)$  - probabilidad de trabajo sin fallas durante un intervalo de tiempo dado.

La estimación de la fiabilidad de la locomotora china DF7G-C con la ayuda de estos métodos matemáticos, brinda importantes aportes sobre la disponibilidad técnica de las mismas en condiciones reales de explotación. Todos estos índices e indicadores pueden realizar el pronóstico estadístico de los fallos de sus elementos, lo cual permite prever la demanda de intercambio de piezas, agregados y resolver otros importantes problemas de la explotación de

estos equipos de tracción. Además permite una gran predicción en la corrección de las periodicidades de los mantenimientos técnicos y una buena determinación de los tiempos entre reparaciones.

### **Metodología para la construcción del diagrama causa efecto (Ishikawa).**

El diagrama de Ishikawa ayuda a graficar las causas del problema que se estudia y analizarlas. Es llamado "Espina de Pescado" por la forma en que se van colocando cada una de las causas o razones que a entender originan un problema. Tiene la ventaja que permite visualizar de una manera muy rápida y clara, la relación que tiene cada una de las causas con las demás razones que inciden en el origen del problema. En algunas oportunidades son causas independientes y en otras, existe una íntima relación entre ellas, las que pueden estar actuando en cadena.

Para su elaboración es necesario:

- Definir claramente el efecto o síntoma cuyas causas han de identificarse.
- Encuadrar el efecto a la derecha y dibujar una línea gruesa central apuntándole.
- Usar un enfoque racional para identificar las posibles causas.
- Distribuir y unir las causas principales a la recta central mediante líneas de 70°.
- Añadir subcausas a las causas principales a lo largo de las líneas inclinadas.
- Descender de nivel hasta llegar a las causas raíz, (fuente original del problema).

El diagrama Causa-Efecto es un vehículo para ordenar, de forma muy concentrada, todas las causas que supuestamente pueden contribuir a un determinado efecto. Nos permite, por tanto, lograr un conocimiento común de un problema complejo, sin ser nunca sustituto de los datos. Es importante ser conscientes de que los diagramas de causa-efecto presentan y organizan teorías, sólo cuando estas teorías son contrastadas con datos podemos probar las causas de los fenómenos observables.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Resultado de la calidad del mantenimiento a las Locomotoras Chinas DF7G-C**

Al realizar el análisis de los resultados de la calidad del mantenimiento se puede resumir que la actividad relacionada con los recursos materiales está incidiendo en la calidad del

mantenimiento al alcanzar un 67% de respuestas negativas. Se muestra además en la Figura 3.2 que el resto de las actividades no tienen incidencia significativa en la calidad del mantenimiento que se realiza en el taller.

Tabla 3.2. Resultado cuantitativo de la encuesta aplicada de calidad del mantenimiento.

ACTIVIDAD	PREGUNTAS	RESPUESTAS	
		SI	NO
ORGANIZATIVA	1¿Conoce el flujograma para realizar los mantenimientos?	9	6
	2¿Está actualizado?	8	7
	3¿Se realiza el proceso de MTP de acuerdo al flujograma?	10	5
RECURSOS HUMANOS	4. ¿Tienen personal para planificar el mantenimiento?	15	0
	5. ¿Tienen en la empresa plantilla de personal para realizar los mantenimientos?	15	0
	6. ¿Tienen supervisores para el mantenimiento?	3	12
	7. ¿El personal técnico contratado es suficiente para realizar las tareas de mantenimiento de todos los sistemas de la locomotora?	9	6
DOCUMENTACION TECNICA	8. ¿Tienen documentación técnica sobre la acción del mantenimiento?	13	2

EJECUCION	9. ¿El proceso de mantenimiento que se sigue es lógico y coherente?	11	4
	10. ¿Se realizan los mantenimientos 1 con la periodicidad requerida?	11	4
RECURSO MATERIAL	11. ¿Existen los medios y herramientas necesarias para realizar el mantenimiento?	3	12
	12. ¿Existe el abastecimiento estable de piezas y accesorios para garantizar los cambios oportunos de los elementos y agregados que indica la guía de mantenimiento?	4	11
DOCUMENTACION TECNICA	13. ¿Tiene los documentos de control para reflejar el resultado de las mediciones?	13	2
TOTAL		132	63

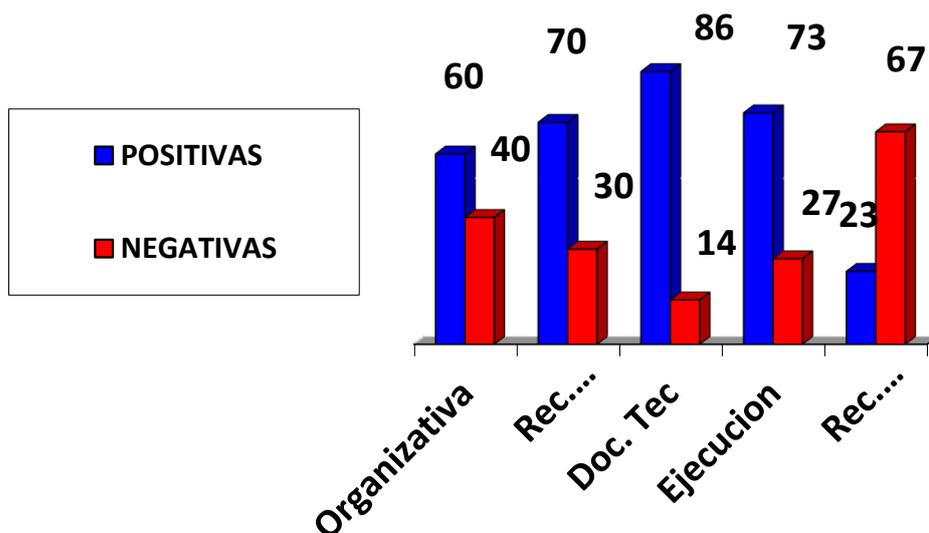


Figura 3.2 Evaluación de la calidad del mantenimiento.

## Análisis de los índices de fiabilidad de las Locomotoras Chinas DF7G-C

Cálculo y Evaluación de los diferentes índices de fiabilidad de las Locomotoras China.

Tabla 3.3 Resultados de los cálculos de los indicadores de la fiabilidad.

Parâmetros e indicadores a calcular	Resultado obtenido
Probabilidad de las locomotoras de trabajar sin falla. :P (t)	72%
Probabilidad de falla de las locomotoras Q(t)	28%
Tiempo de trabajo medio hasta la falla de las locomotoras $T_o$	1090 horas
Flujo de falla de las locomotoras. W (t)	100%
Tiempo medio de restablecimiento de la capacidad de trabajo de las locomotoras $T_b$	9.82 horas
tiempo o volumen de trabajo promedio hasta la falla de las locomotoras $T_s$	11442 horas
Coefficiente de disponibilidad de las locomotoras $K_d$	0.99
Coefficiente de utilización técnica o de aprovechamiento técnico de las locomotoras. $K_{ut}$	0.44
Coefficiente de disponibilidad operativa de las locomotoras $K_{do}$	0.71
Disponibilidad de las locomotoras D	0.85

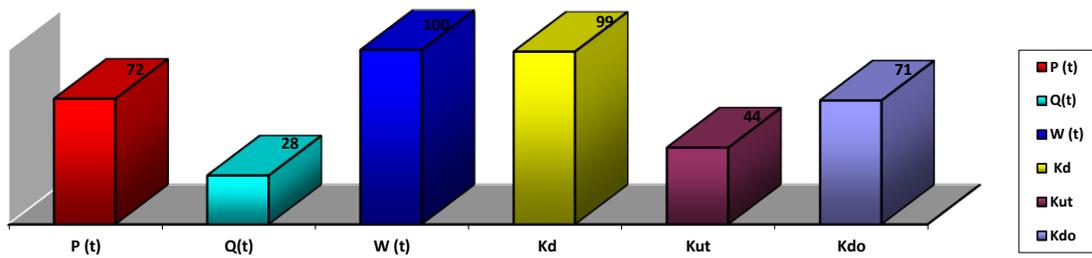


Figura 3.3. Principales indicadores de fiabilidad.

Probabilidad de trabajo sin falla  $P(t)$  debe estar en un rango de 90 – 95%. Como se puede observar, el límite de explotación de las locomotoras es de un 72 %, este indicador es considerablemente bajo, pues su valor es inferior al establecido.

Tiempo de trabajo medio hasta la falla ( $t_o$ ). Este indicador se debe tener en cuenta para valorar la efectividad del mantenimiento establecido. Su frecuencia de aparición es de 11442 horas. A través de este se puede reflejar la importancia perfeccionar el plan de mantenimiento que se desarrolla actualmente.

Según los cálculos realizados se obtuvo un valor para el Coeficiente de disponibilidad técnica  $Kd$ . de 99% siendo un indicador que caracteriza el trabajo sin falla y la reparabilidad lo que ha posibilitado mantener en explotación las locomotoras. **Este** coeficiente evalúa las paradas no previstas de los equipos. Su valor debe estar en un rango de 90 – 95 %.

El coeficiente de utilización técnica  $Kut$  fue de 0.44 y el mismo caracteriza la probabilidad de que en cualquier momento del tiempo las locomotoras trabajan y no se detienen. Este coeficiente se convierte en Coeficiente de durabilidad si se determina para todo el plazo de servicio del objeto técnico. Este se considera bajo ya que se encuentra muy por debajo del valor establecido. Su valor debe estar en un rango de 85 - 90 %.

El valor establecido para el Coeficiente de disponibilidad operativa  $Kdo$  está entre 85 – 90 %, el 0.72 obtenido nos indica que la posibilidad de que el objeto técnico tenga la capacidad de trabajar en cualquier momento del tiempo es del 72 %. Este resultado es considerablemente bajo pues depende en gran medida de la probabilidad de trabajo sin fallas ( $Pt$ ) y del coeficiente de disponibilidad técnica ( $Kd$ ), como se puede observar está lejos de lograr este resultado.

## Resultado del diagrama causa efecto.

De acuerdo a la metodología del epígrafe 2.2.4 fue construido el diagrama Causa- efecto que se muestra en la Figura 3.4 donde quedaron definidas las siguientes categorías:

- 1) Sistema de aire.
- 2) Motor diesel y agregados.
- 3) Circuito de control.
- 4) Batería y maquinas eléctricas.

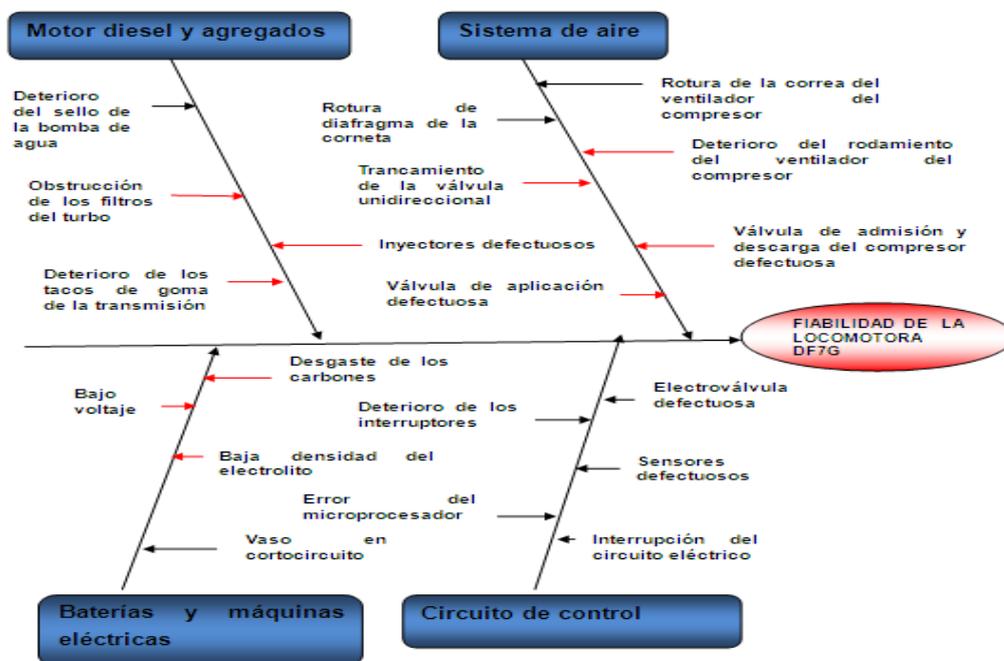


Figura 3.4. Diagrama causa efecto.

Cada una de estas categorías está influenciada por una serie de fallas.

1. Rotura de la correa del ventilador del compresor, Deterioro del rodamiento del ventilador del compresor, Válvula de admisión y descarga del compresor defectuosa, Rotura de diafragma de la corneta, Trancamiento de la válvula unidireccional, Válvula de aplicación defectuosa.
2. Inyectores defectuosos, Obstrucción de los filtros del turbo, Deterioro de los tacos de goma de la transmisión, Deterioro del sello de la bomba de agua.

3. Electroválvula defectuosa, Deterioro de los interruptores, Sensores defectuosos, Error del microprocesador, Interrupción del circuito eléctrico.

4. Desgaste de los carbones, Bajo voltaje, Baja densidad del electrolito, Vaso en cortocircuito.

En este diagrama se señala con flechas rojas todas las causas que pueden ser provocadas por la falta de mantenimiento.

Conocidas todas las causas que provocan efecto sobre la fiabilidad de la locomotora DF7G-C, así como los efectos, de acuerdo al grado de prioridad, que inciden sobre este indicador permiten tomar medidas que posibiliten aumentar la fiabilidad de estos equipos. Como resultado, se puede apreciar que entre los sistemas que influyen en la fiabilidad de la locomotora, el sistema de aire, motor diesel y agregados, circuito de control y las baterías y máquinas eléctricas son los de mayor incidencia, es por esto, que se debe crear un plan de medidas, dirigidas en su totalidad a contrarrestar los efectos provocados por los mismos. Así se podrá lograr un considerable aumento de la fiabilidad de la línea en cuestión.

#### **Resultado del diagrama de Pareto.**

Se confecciona el diagrama de Pareto con la información obtenida, de acuerdo a la metodología expresada en el epígrafe 2.2.5, expresada en la Tabla 3.4. A partir del análisis de estos resultados es confeccionado el resumen por clases que exige la metodología Pareto (Tabla 3.5)

Tabla 3.4 Resumen estadístico para confeccionar el diagrama de Pareto.

Rubros en análisis	Magnitud sumada por cada rubro	% acumulado por rubros	Suma acumulada de las magnitudes	Suma acumulada del % por rubros	Clasificación por clases
Sistema de aire.	10	35.71	10	35.71	A
Motor diesel y agregados.	8	28.58	18	64.29	A

Circuito de control.	6	21.43	24	85.72	B
Baterías y máquinas eléctricas	4	14.28	28	100	C
TOTAL	28	-	-	-	-

Tabla 3.5 Resumen por clases.

CLASE	% DE RUBROS DENTRO DE CADA CLASE	% ACUMULADO QUE REPRESENTA CADA CLASE	ESTABLECER RELACIONES	RAZÓN DE IMPORTANCIA POR CLASES
A	40	64.29	64.29/40	1.61
B	40	21.43	21.43/40	0.54
C	20	14.28	14.28/20	0.71

En la Figura 3.5 se muestra el nivel de afectación de los principales elementos de las Locomotoras Chinas DF7G-C.

Se puede observar que en los 3 primeros elementos, es donde se presentan la mayor cantidad de problemas con un valor de 85.72 %, aproximadamente.

El Principio de Pareto expresa que: si se eliminan el 20% de las causas que lo provocan, desaparecería el 80% de los problemas existentes.

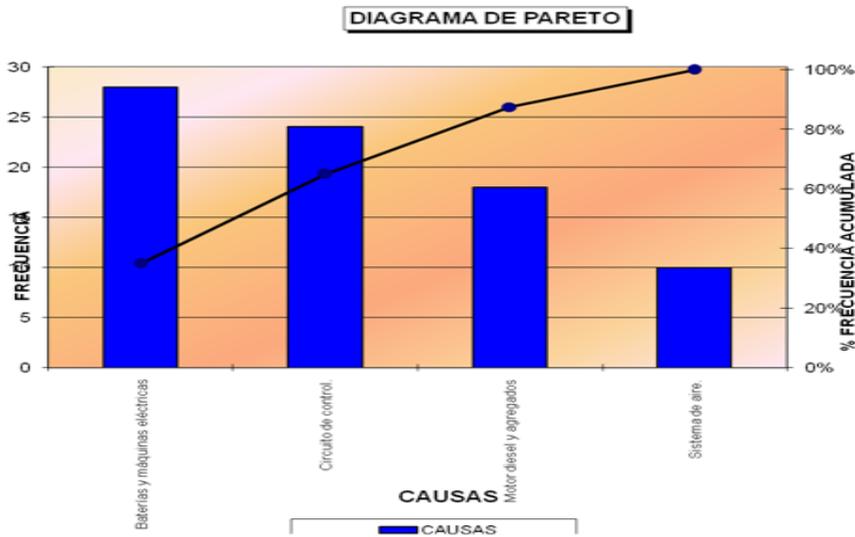


Figura 3.5. Diagrama de Pareto.

Propuesta de perfeccionamiento del sistema de mantenimiento de las Locomotoras Chinas DF7G-C.

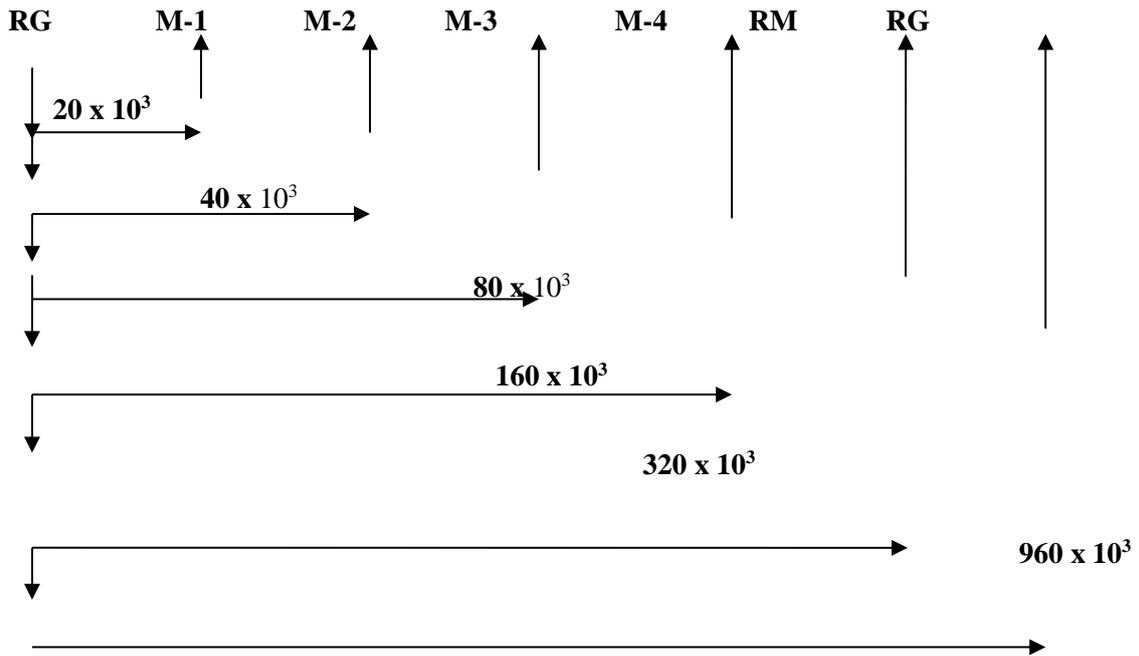
Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el estudio de la fiabilidad y considerando que los indicadores reales son inferiores a los indicadores teóricos se propone como ciclo de mantenimiento el que aparece en la Tabla 3.6 y la Figura 3.6

Tabla 3.6 Propuesta de Ciclo de Mantenimiento de la locomotora DF7G-C.

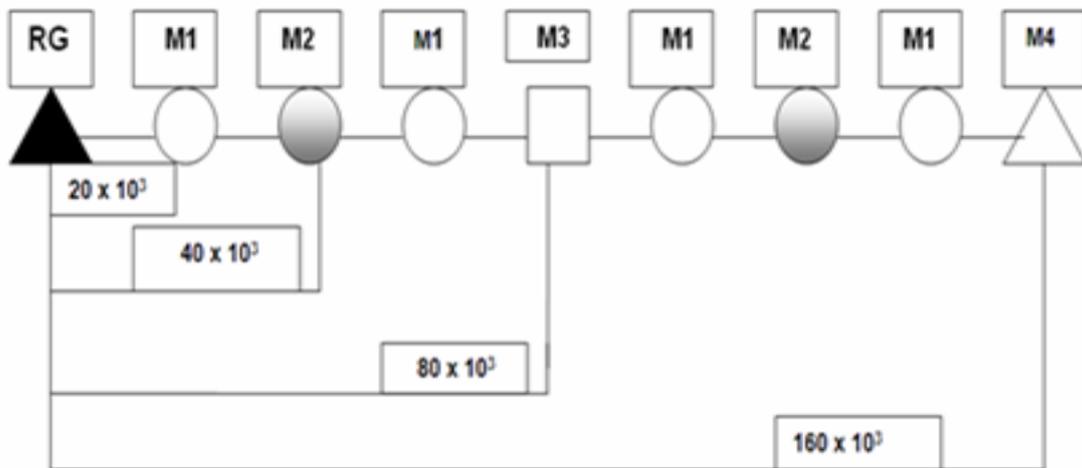
Mtto	Mtto	Mtto	Mtto
------	------	------	------

<b>M/Km</b>	<b>Actividad</b>	<b>M/Km</b>	<b>Actividad</b>	<b>M/Km</b>	<b>Actividad</b>	<b>M/Km</b>	<b>Actividad</b>
20 000	M-1	340 000	M-1	640 000	M-1	940 000	M-4
40 000	M-2	360 000	M-2	660 000	M-2	960 000	RG
60 000	M-1	380 000	M-1	680 000	M-1		
80 000	M-3	400 000	M-3	700 000	M-3		
100 000	M-1	420 000	M-1	720 000	M-1	<b>Resumen</b>	
120 000	M-2	440 000	M-2	740 000	M-2		
140 000	M-1	460 000	M-1	760 000	M-1		
160 000	M-4	480 000	M-4	780 000	M-4		
180 000	M-1	500 000	M-1	800 000	M-1		
200 000	M-2	520 000	M-2	820 000	M-2	21	M-1
240 000	M-3	540 000	M-1	840 000	M-1	12	M-2
260 000	M-1	560 000	M-3	860 000	M-3	7	M-3
280 000	M-2	580 000	M-1	880 000	M-1	4	M-4

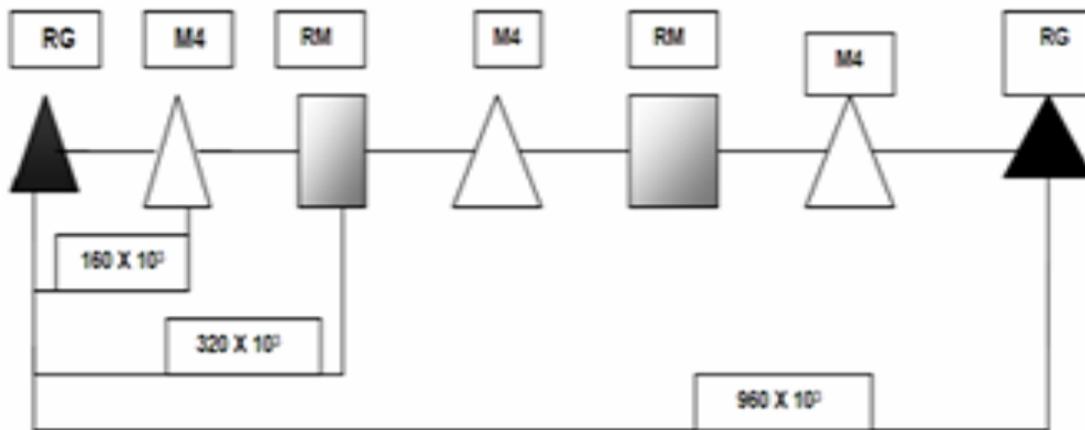
300 000	M-3	600 000	M-2	900 000	M-2		
320 000	RM	620 000	RM	920 000	M-1		



a) Actividad de mantenimiento.



b) Periodicidad entre la RG, M1, M2, M3, M4



c) Periodicidad entre la RG, M4, RM y RG

Figura 3.6. Ciclo de mantenimiento propuesto para la locomotora DF7G-C a) Actividad de mantenimiento; b) Por tipo y cantidad de mantenimiento por kilómetro recorrido.

## CONCLUSIONES

1. El estudio de las investigaciones realizadas, definen que el sistema de mantenimiento aplicado al transcurrir los 40 000 km es insuficiente, pues limita la disponibilidad técnica de las locomotoras.
2. El estudio de los esquemas de mantenimiento de diferentes compañías constructoras de locomotoras señalan como promedio el 1<sup>er</sup> Mantenimiento Técnico (MT1) a los 10 000 km.
3. La actividad relacionada con los recursos materiales está incidiendo en la calidad del mantenimiento, al alcanzar un 67% de respuestas negativas.
4. El coeficiente de utilización técnica  $K_{ut}$  alcanzó el 44 %, dado fundamentalmente a las fallas en el sistema de enfriamiento de aire que sale del compresor y obstrucción de los filtros de la entrada de los turbos.

## RECOMENDACIONES

- Proponer al Consejo Técnico de la entidad, la aplicación de la propuesta de perfeccionamiento del sistema de mantenimiento, aplicado a las Locomotoras Chinas DF7G-C, como resultado de esta investigación.

## REFERENCIAS

1. Amaris Arias, J. B. (2008). *Un modelo de gestión de mantenimiento hacia la excelencia*. Ponencia presentada en el V Congreso Cubano de Mantenimiento, III CIMEI, Santa Clara, Cuba.
2. Cuba, Ministerio del Transporte. (2005). *Transporte Ferroviario. Material Rodante*. NRMT 104:2005. *Pareas de Ruedas. Requisitos de Reparación*. La Habana, Cuba: MITRANS.
3. Domínguez, J. (2004). *Implantación y gestión de un proyecto de mantenimiento centrado en la fiabilidad*. Buenos Aires: Editorial Edesa Generation.
4. Hamilton, E. (2010). *Historia de los trenes*. España: Ediciones R. Torres,. Tren.
5. Llanes, A. (2009). *Procedimiento para la asistencia decisional al proceso de tercerización de la ejecución del mantenimiento*. Cuba. *Tercerización de la ejecución del mantenimiento*. Disertación doctoral en Ciencias Técnicas, UCLV, Cuba.
6. Llanes, A. (2008). *Caracterización de la función de mantenimiento de las empresas productivas del MINAL en Villa Clara*. Informe de Investigación, UCLV, Biblioteca Chiqui Gómez Lubina, Santa Clara, Cuba.
7. *Manual de Inspección y Reparación del Motor Diesel Modelo 12V 240ZJ6F*. (2007). Fabrica de Locomotoras Erqi de Beijing DEL Grupo de Vehiculo Norte de China.
8. *Manual de Revisión de Locomotora Diesel de Modelo DF7G-C*.(2007) Beijing, China: Railway Transportation Equipment Co., Ltd.
9. Martínez, E. (2006). *Desarrollo de un Sistema Integral de Mantenimiento en la Planta de Producción del Centro de Bioactivos Químicos de la UCLV*. Ponencia presentada en el V Congreso Cubano de Mantenimiento III CIMEI, Santa Clara, Cuba.

10. Partido Comunista de Cuba. (2011). *Lineamiento de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución*. La Habana: Oficina de publicaciones del Consejo de Estado.
11. Universidad Central de las Villas (UCLV), Santa Clara, Cuba.
12. Skempton, A.W. (2002). *A biographical dictionary of civil engineers in Great Britain and Ireland*. Great Britain: [s.n.].
13. Torres, J. (2009). *Lean Production: Como llegar a ser Lean sin mucho esfuerzo*. Toluca, México: ITESM.

# INFLUENCIA DE LA MECANIZACIÓN AGRICOLA EN LA PRODUCTIVIDAD DE TRES HIBRIDOS DE MAIZ (*Zea mais L*)

René Nazareno Ortiz<sup>1</sup>,

Dominic Fernando Angulo Lastra<sup>1</sup>

Universidad Técnica Luis

Vargas Torres de Esmeraldas

**Introducción-** El cultivo del maíz es uno de los más diversificados en el mundo y en Ecuador es utilizado tanto para la alimentación humana como en la de animales de interés zootécnico, por lo que es importante conocer sobre la práctica de cómo labrar la tierra moderadamente para los principales cultivos y obtener rendimientos adecuados en los agricultores y promover la práctica de labranza conservacionista como una opción en favor de la estructura de los suelos y la rentabilidad de los cultivos. (Reyes, 2019).

La degradación o alteración de los suelos es uno de los principales efectos de la labranza convencional; la cual perjudica las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, la pérdida de fertilidad, compactación y por ende la disminución de los rendimientos de los cultivos. Pérez (2020).

En el 2020, en los países industrializados, se podrían consumir 150 kg per cápita anuales de maíz en forma de etanol, cifra similar a los índices de consumo de cereales en los países en desarrollo; tales cambios en la demanda motivarán la necesidad de aumentar notablemente la producción de todos los principales cultivos para la alimentación de las personas y los animales. Las proyecciones de la FAO sugieren que hasta 2050 la producción agrícola debe aumentar un 70% mundialmente y cerca del 100 % en los países en desarrollo solamente para satisfacer las necesidades alimentarias, excluyendo la demanda adicional de productos agrícolas como materia prima para la producción biocombustibles. Dicha cifra equivale a una producción anual de 1000 millones de toneladas adicionales de cereales y 200 millones de toneladas adicionales de carne para el 2050, en comparación con la producción registrada entre 2005 y 2007. Shkiliova et al (2014).

El laboreo del suelo con los implementos tradicionales (arado de discos o de vertederas), es una práctica agrícola que la investigación está demostrando como posible causa de erosión, compactación, pérdida de humedad y aumento en los costos de producción.

Cuando se usa con exceso es difícil asegurar si los métodos tecnificados de labranza más recomendados en algunas zonas son adecuados para los suelos y condiciones climáticas y socioeconómicas de otra zona particular, y mucho más difícil resulta precisar si esta misma tecnología puede tener ventajas sobre aquella tradicional desarrollada por los agricultores en áreas marginadas. (Rodríguez, 2019).

Existe una gran variedad de opciones de labranza para la formación de una adecuada cama de semillas, pero la selección deberá ser técnicamente y económicamente viable y con énfasis en la conservación del suelo, ya que el deterioro progresivo de este afecta su productividad, la rentabilidad a mediano y largo plazo. Cortés et al (2009).

## DESARROLLO METODOLÓGICO

Ubicación y Características Edafoclimáticas de la zona en estudio.

La siguiente investigación se realizó en la Estación Experimental Mútile perteneciente a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica “Luis Vargas Torres” de Esmeraldas, cantón y provincia de Esmeraldas, situada geográficamente en las coordenadas 00°53’22.4” Latitud, Sur 79°36’33.2” de Longitud Oeste; y una altitud de 22 msnm.

Los datos climáticos promedio anual de la zona de estudio son:

Parámetros	Promedio
Temperatura	26 °C
Precipitación	665 mm,
Humedad Relativa	83%

Fuente: Inocar 2019

## DELINEAMIENTO EXPERIMENTAL

### Factor en estudio

**T1L1H1** =( Labranza convencional, híbrido Trueno NB-7443);**T2L1H2** (labranza convencional, híbrido Iniap 551); **T3L1H3** = (labranza convencional, híbrido Das 3383), **T4L2H1** = (Labranza mínima, híbrido Trueno NB-7443), **T5L2H2** = (Labranza mínima, híbrido Iniap 551), **T6L2H3** =(Labranza mínima, híbrido Das 3383),**T7L2H1** (Labranza cero, híbrido Trueno NB-7443), **T8L2H1** = (Labranza cero, híbrido Iniap 551), **T9L2H1** = (Labranza cero, híbrido Das 3383).

## DISEÑO EXPERIMENTAL

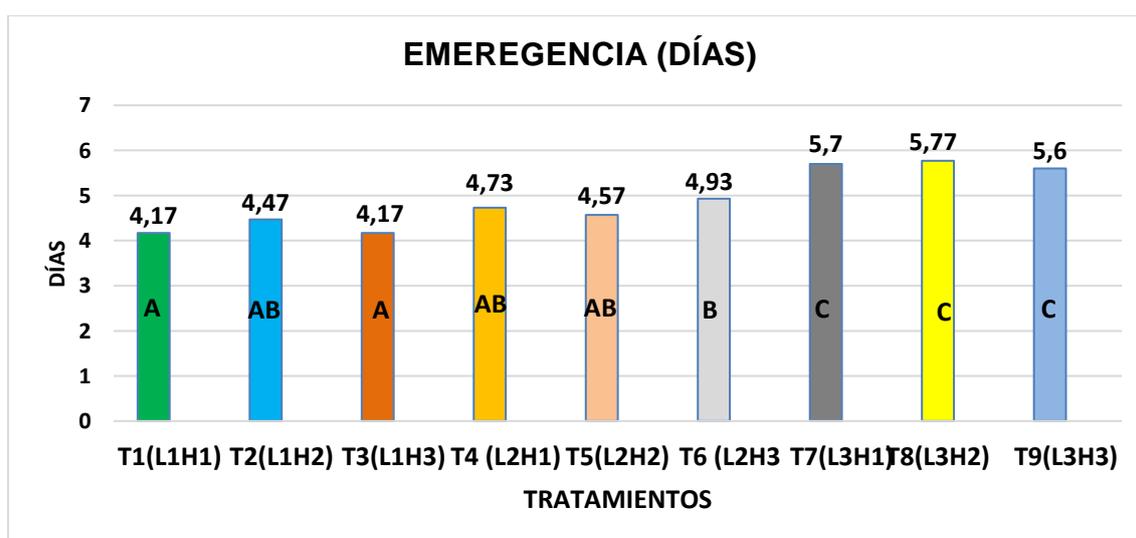
Para la valoración del experimento se utilizó el diseño de bloques completos al azar (DBCA), con nueve tratamientos y tres repeticiones.

## RESULTADOS

### Emergencia (Días)

De acuerdo al análisis de varianza para la variable de emergencia, se establece que entre los tratamientos existe alta diferencia significativa, con un coeficiente de variación de 4,27% indicando cuatro rangos de significancia; siendo los mejores rangos T1L1H1 (Labranza convencional, Híbrido Trueno) con 4,17 días, y el T3L1H3 (Labranza convencional, Híbrido ds3383) con 4,17 días, y el menor rango T9L3H3 (Labranza cero, Híbrido das 3383) con 5,6 días.

**Gráfico 2:** Media de días a la emergencia

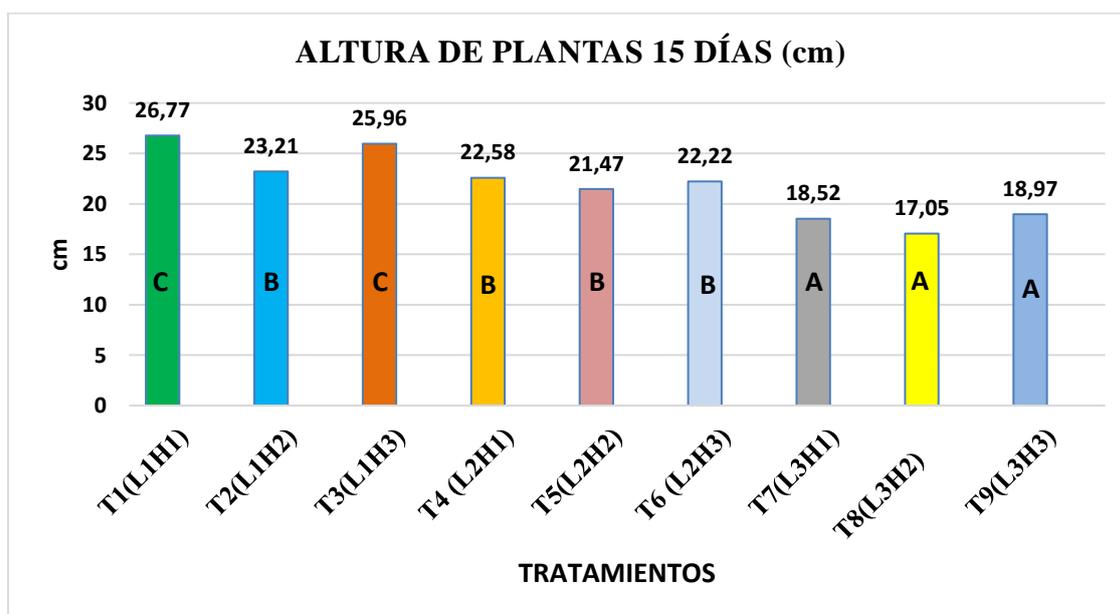


Los resultados coinciden con lo que dice (Orozco, 2011) donde manifiesta que la germinación de la semilla de maíz se da entre los 3 a 6 días después de haber recibido las condiciones adecuadas de temperatura y humedad. El porcentaje de emergencia depende exclusivamente del vigor genético de cada uno de los tratamientos en estudio.

### Altura de planta 15 días (cm)

De acuerdo al análisis de varianza para la variable altura de plantas a los 15 días después de la siembra del maíz, en el se establece que entre los tratamientos existe alta diferencia estadística significativa, con un coeficiente de variación de 3,90%. indicando tres rangos de significancia; siendo de mejor rango el T1L1H1(labranza convencional, Híbrido Trueno) con 26,77 cm, y de menor rango el T8L3H2 (labranza cero, Híbrido Iniap 551) con 17,05 cm.

**Gráfico 3:** Media de altura de plantas a los 15 días



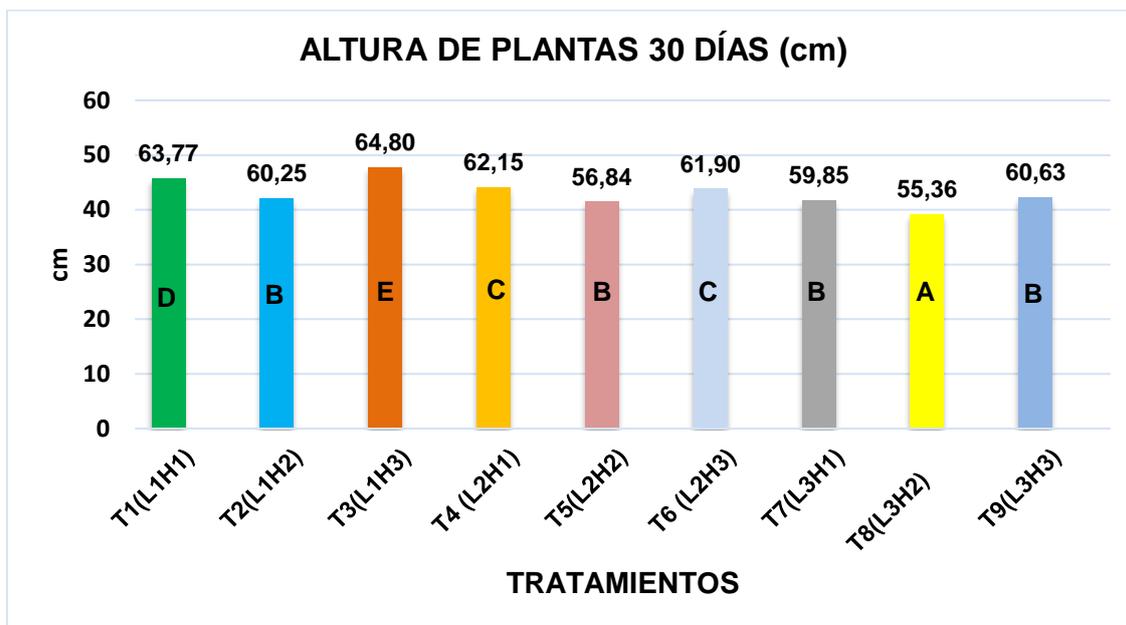
Las diferencias encontradas se relacionaron con otros factores, incluida la fertilidad del suelo, como expresan Guamán et al (2020), que los híbridos que expresan una menor altura de planta son muy considerados, porque estas características permiten aumentar la densidad de siembra por lo tanto la producción.

### Altura de planta 30 días (cm)

De acuerdo al análisis de varianza para la variable Altura de plantas a los 30 días después de la siembra del maíz, en el que se establece que entre los tratamientos existe diferencia significativa, con un coeficiente de variación de 1,11 %. Presentando cinco rangos significativos

de altura; siendo el mejor rango T3L1H3 (labranza convencional, Híbrido Das 3383) con 64,80 cm, y de menor rango el T8L3H2 (labranza cero, Híbrido Iniap 551) con 55,36 cm.

**Gráfico 4:** Media de altura de plantas a los 30 días.



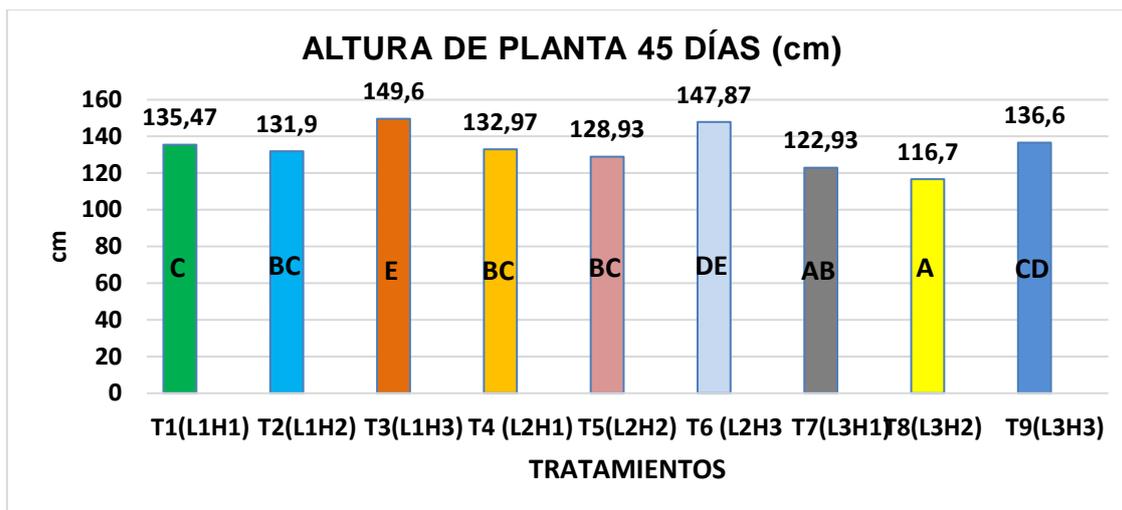
Las plantas pueden utilizar de manera eficiente los nutrientes concentrados en la superficie, no obstante, la absorción depende de que haya un grado adecuado de humedad en el suelo para que se den el flujo masal y la difusión.

Vera et al (2021) indican que el desarrollo de la planta de maíz se ve afectado en gran parte por la fertilidad del suelo y tipo de fertilización empleada, impidiendo alcanzar el rendimiento potencial en la variedad de maíz utilizada.

#### **Altura de planta 45 días (cm)**

De acuerdo al análisis de varianza para la variable Altura de planta a los 45 días después de la siembra del maíz, se establece que entre los tratamientos existe alta diferencia significativa, con un coeficiente de variación de 2,94%. Indica siete rangos significativos; siendo el mejor rango T3L1H3 (labranza convencional, Híbrido das 3383) con 149,60 cm, y de menor rango el T8L3H2 (labranza cero, Híbrido Iniap 511) con 116,70 cm.

**Gráfico 5:** Altura de planta a los 45 días



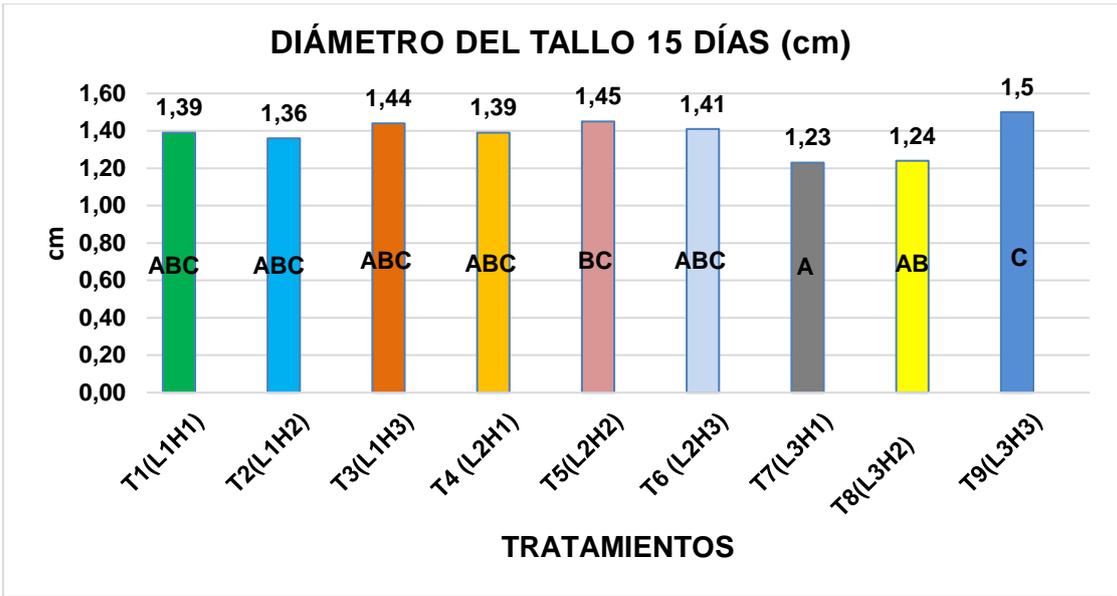
En la labranza convencional se presentó el mejor vigor comparado con los sistemas de labranza mínima y cero; por lo que se deduce que brinda mejor aireación al suelo, permitiendo mejor circulación de oxígeno y agua, gracias a una mayor cantidad de espacios porosos que mejoran las condiciones para el óptimo desarrollo de sus raíces, como lo indican Mendoza y Valdez (2015), quienes afirman que la aireación en las partículas del suelo mejoran el desarrollo de las plantas al proporcionarles más oxígeno a los cultivos, humedad aprovechable y mejor uso de los nutrientes existentes.

Los resultados de altura de planta en el presente ensayo coinciden con los trabajos realizados por Mena (2018) quien encontró que la variación en la altura fué significativa en los métodos de labranza usados (labranza convencional, labranza mínima y cero).

#### **Diámetro de tallo 15 días (cm)**

De acuerdo al análisis de varianza para la variable diámetro de tallo a los 15 días después de la siembra del maíz, se establece que entre los tratamientos existe diferencia significativa, con un coeficiente de variación de 5,42 %. Indica cinco grupos significativos; siendo el mejor rango el T9L3H3 (labranza cero, Híbrido, Das 3383) con 1,50cm, y de menor rango el T7 L3H1 (labranza cero, Híbrido Trueno) con 1,23 cm.

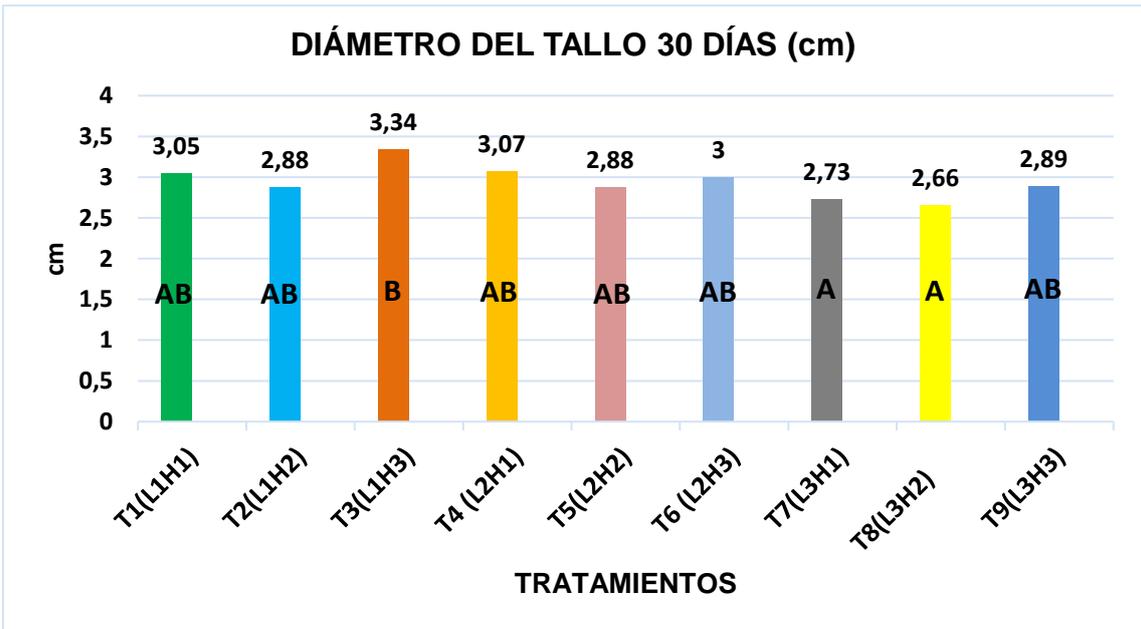
**Gráfico 6:** Media de Diámetro de tallo a los 15 días



**Diámetro de tallo 30 días (cm)**

De acuerdo al análisis de varianza para la variable diámetro de tallo a los 30 días después de la siembra del maíz, se establece que entre los tratamientos existe diferencia significativa, con un coeficiente de variación de 5.96%. Indica tres rangos significativos; siendo el mejor rango T3L1H3 (labranza convencional, Híbrido Das 3383) con 3,34 cm, y de menor rango el T8L3H2 (labranza cero, híbrido Iniap 551) con 2,66 cm.

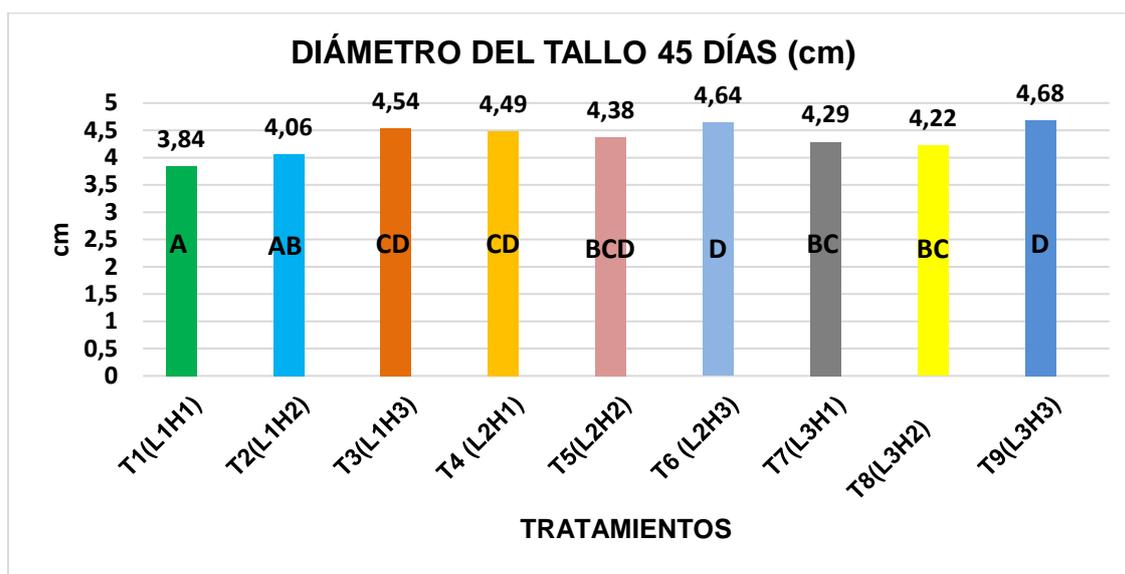
**Gráfico 7:** Media de Diámetro de tallo a los 30 días



**Diámetro de tallo 45 días (cm)**

De acuerdo al análisis de varianza para la variable diámetro de tallo de las plantas a los 45 días después de la siembra del maíz, se establece que entre los tratamientos existe alta diferencia estadística significativa, con un coeficiente de variación de 2,67%. Indica seis rangos significativos, siendo de mejor rango el T9L3H3 (labranza cero, Híbrido Das 3383) con 4,68 cm, y de menor rango el T1L1H1 (labranza convencional, Híbrido Trueno) con 3,84 cm,

**Gráfico 8:** Media de Diámetro a los 45 días

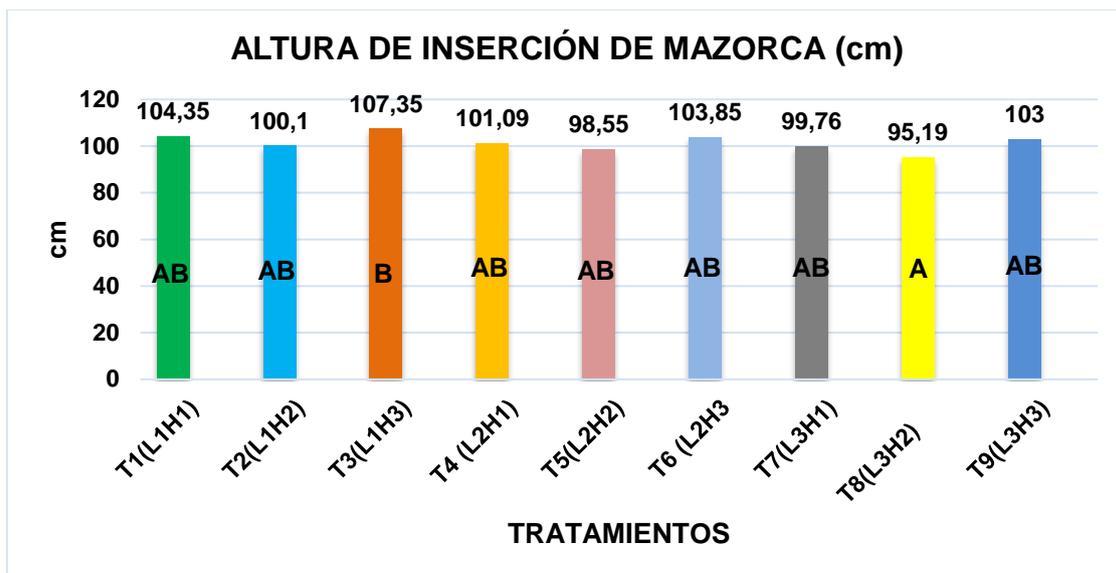


Con base a los resultados obtenidos durante los 15, 30 y 45 días, se puede demostrar que las labranzas de conservación mejoran levemente el diámetro del tallo de maíz en comparación con la labranza mecanizada. Tal como aseveran Mendoza y Valdez (2015) indican que el diámetro del tallo influye en el rendimiento óptimo del maíz.

#### **Altura de inserción de la mazorca (cm)**

De acuerdo al análisis de varianza para la variable altura de inserción de mazorca se establece que existe diferencias significativas en los tratamientos con un coeficiente de variación de 3,36 %. Indica tres rangos significativos, siendo de mejor rango el T3L1H3 (labranza convencional, Híbrido das 3383) con 107,35 cm, y de menor rango el T8L3H2 (labranza cero, Híbrido Iniap 511) con 95,19 cm.

**Gráfico 9:** Media de Altura de inserción de la mazorca.



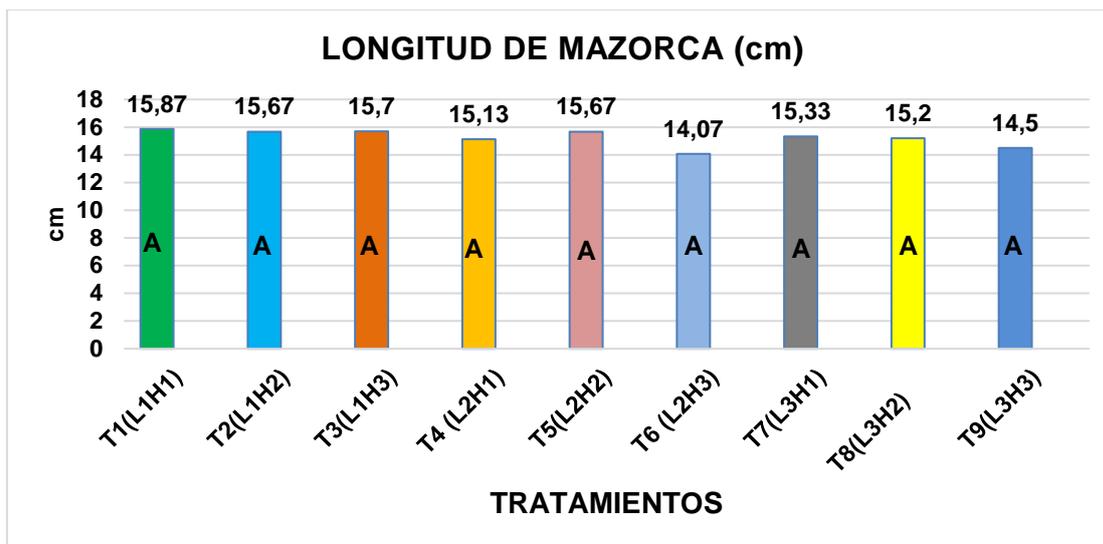
Los valores encontrados en esta característica fenológica corresponden con las características agronómicas del cultivar, lo cual es muy importante por la facilidad al momento de la cosecha y que repercute en la mayor rapidez de recolección y menor mano de obra.

Los valores obtenidos difieren con los de Mendoza y Valdez (2015) que el mayor promedio de altura de inserción de la mazorca se registró en el tratamiento de labranza convencional, con un valor de 1,12 m; en tanto que el menor número lo comparten la labranza mínima y labranza cero con 1,07 m.

### Longitud de mazorca (cm)

De acuerdo al análisis de varianza para la variable longitud de mazorca, se establece que entre los tratamientos no existe diferencia significativa, con un coeficiente de variación de 5,35%. Indica un grupo significativo; siendo el mejor rango T3L1H3 (labranza Convencional, Híbrido Das 3383) con 15,70 cm, y de menor rango el T6L2H3 (labranza mínima, Híbrido Das 3383) con 14,07 cm.

**Gráfico 10:** Media de longitud de mazorca.

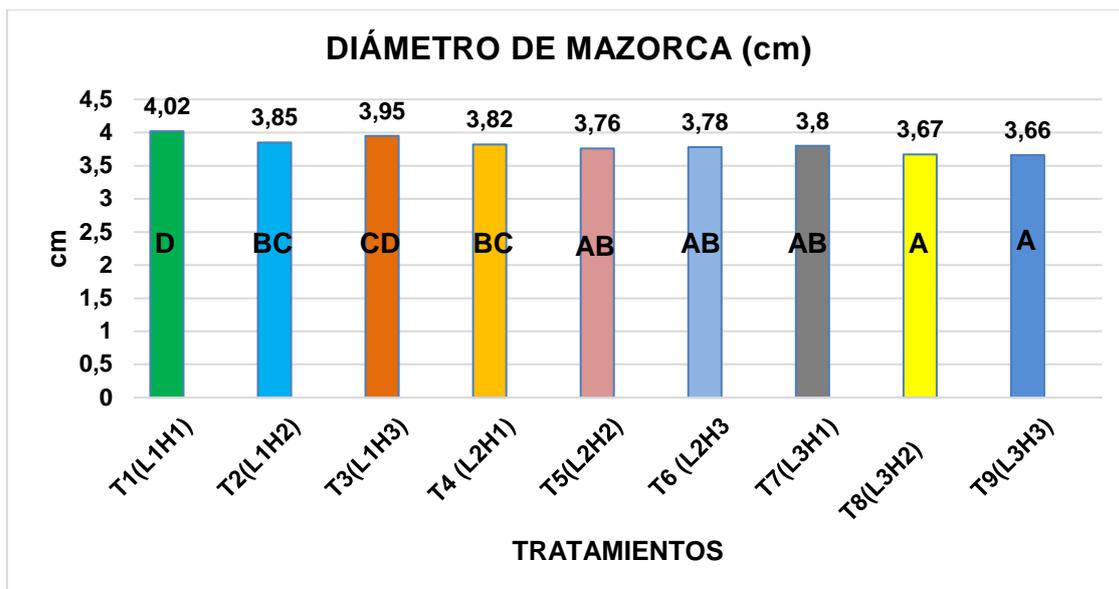


Los resultados obtenidos en la investigación son inferiores a los alcanzados evaluando tres sistemas de labranza en maíz en Ecuador por parte de (Camacho, 2021), donde el mayor promedio se obtuvo en el tratamiento de labranza convencional, con 17,61 cm de longitud, seguido del tratamiento de labranza cero con 17,01 cm de longitud, y el menor valor lo presentó con 16,69 cm de longitud el tratamiento de labranza mínima.

### Diámetro de mazorca

En el análisis de varianza para determinar el diámetro de mazorca, se establece que entre los tratamientos existe alta diferencia significativa, con un coeficiente de variación de 1,28%. Indica cinco rangos significativos; con el mayor rango el T1L1H1 (labranza convencional, Híbrido Trueno) con 4,02 cm, y menor rango el T8L3H2 (labranza cero, Híbrido Iniap 551) con 3,67 cm.

**Gráfico 11:** Media de Diámetro de mazorca.

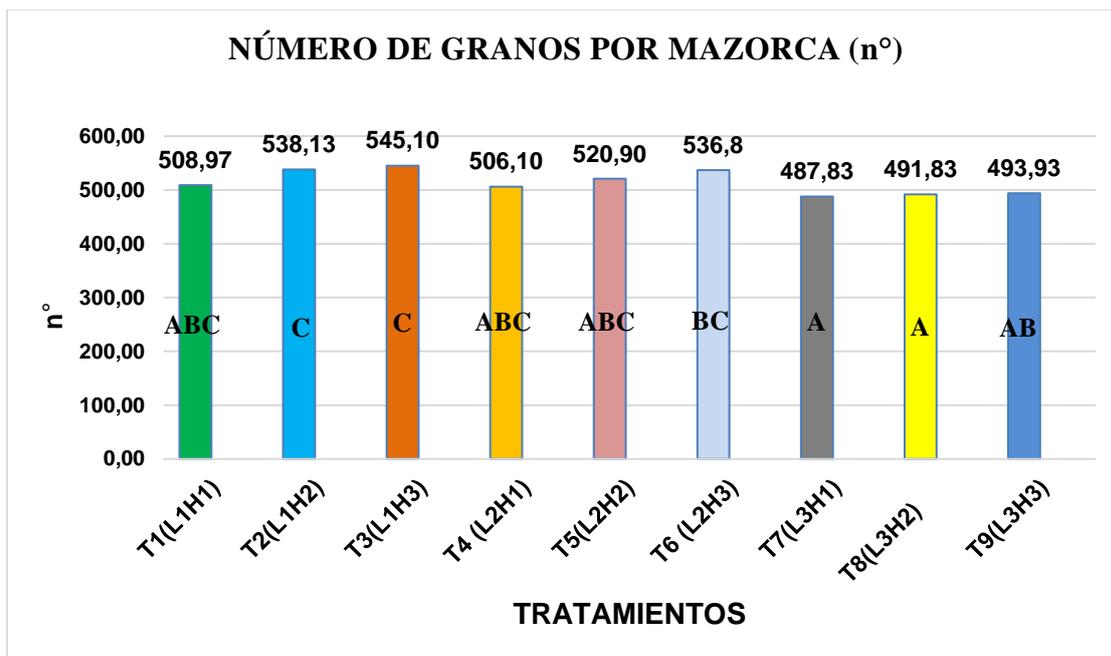


Resultados similares consiguió (Vera et al, 2021), quien encontró diferencias altamente significativas al evaluar las variables de diámetro de la mazorca en distintos genotipos en semillas de maíz criollos.

### Número de granos de mazorca

De acuerdo al análisis de varianza para la variable de número de granos de mazorca, se establece que entre los tratamientos existe diferencia significativa, con un coeficiente de variación de 2,95%. Indica cinco rangos significativos; siendo el mejor rango T3L1H3 (labranza convencional, Híbrido das 3383) con 545.13 granos, y de menor rango el T7L3H1(labranza cero, Híbrido Trueno) con 487,83 granos.

**Gráfico 12:** Media de Número de granos por mazorca

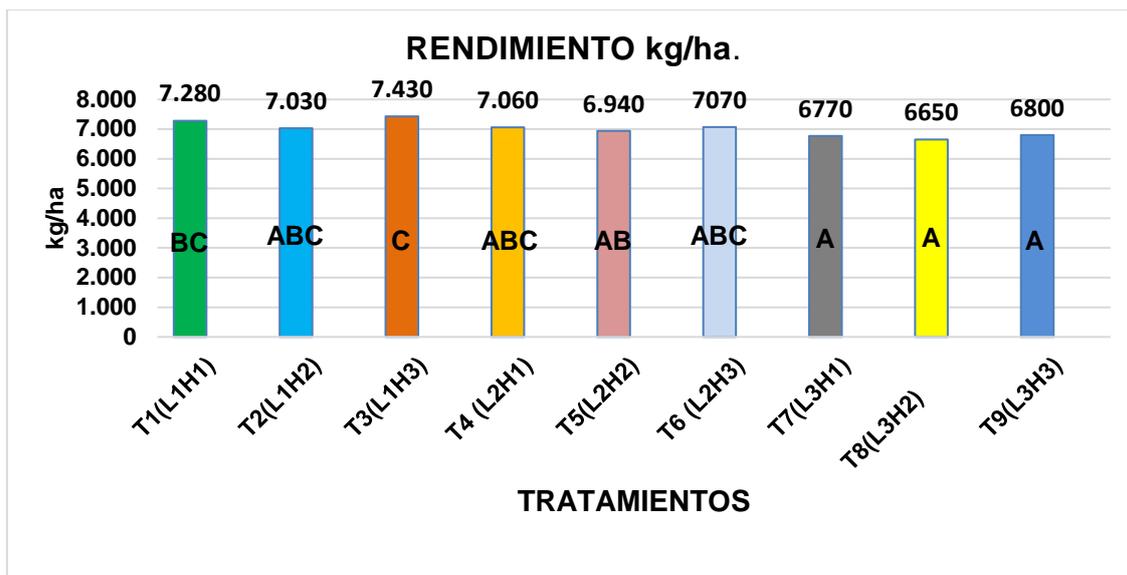


Es muy importante considerar que el tamaño del grano influirá sobre el diámetro de la mazorca y a su vez en el rendimiento. Vera et al (2021) manifiestan que a nutrición de la planta tiene un impacto en el desarrollo de la planta y en particular en la polinización del grano, teniendo una influencia directa sobre el peso y rendimiento del maíz. La fertilización contribuye un mayor peso de la semilla.

### Rendimiento Kg/ha

De acuerdo al análisis de varianza para la variable de rendimiento en kilogramo por hectárea, se establece que entre los tratamientos existe diferencia significativa, con un coeficiente de variación de 2,17%. Indica cinco rangos significativos, siendo de mejor rango el T3L1H3 (labranza convencional, Híbrido Das 3383) con 7430 kg/ha, y de menor rango el T8L3H2 (labranza cero, Híbrido Iniap 551) con 6650 kg/ha.

**Gráfico 13:** Media de rendimiento kilogramo por hectárea.



En la variable rendimiento de maíz por hectáreas, para los tratamientos, concuerdan con los datos obtenidos por (Mendoza y Valdez, 2015), que en su investigación encontraron diferencias altamente significativas cuando se comparan por separado las variantes con el testigo. El mejor promedio lo alcanzó el tratamiento labranza convencional, con

7 275,00 kg/ha, el menor valor fue para labranza cero (T) con 6 581,00 g/ha.

De acuerdo a (Herrera, 2017), en lo que manifiesta que a corto plazo la respuesta de un mejor rendimiento no se da en los sistemas de conservación como la cero labranza.

### CITAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ayala Garay, A. V., Audelo Benítez, M. A., Sánchez Hernández, M. Á., Cervantes Osornio, R., Velázquez López, N., Vargas Sállago, J. M., ... & Mijangos Santos, M. (2013). Impacto de las pruebas de tractores agrícolas en México: determinación de potencia a la toma de fuerza, levante hidráulico, cabinas y marcos de seguridad. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22, 6-14.
2. Benítez, J., & Friedrich, T. (2009). Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. *Boletín de Tierras y Aguas de la FAO*. Retrieved from [http://www.fao.org/ag/ags/AGSE/agse\\_s/7mo/iita](http://www.fao.org/ag/ags/AGSE/agse_s/7mo/iita) C, 1.
3. Bomben, M. A. (2010). Evaluación económica y financiera de un proyecto de inversión para el reemplazo de un sistema de labranza convencional por el de siembra directa.

4. Bravo, A. N., Sandoval, B. F., Chaparro, V. M. O., & Cossio, F. V. G. (2000). Efecto de la labranza sobre la estructura del suelo, la germinación y el desarrollo del maíz y frijol. *Terra Latinoamericana*, 18(1), 61-69.
5. Burgos Jiménez, J. S. (2016). Determinación de la incidencia de tres sistemas de labranza mecanizada sobre la disponibilidad de agua para el cultivo de maíz (*Zea mays*), en la época seca en la zona de Quevedo (Bachelor's thesis, Quevedo-UTEQ).
6. Camacho Lázaro, G. A. (2021). Efecto de dos métodos de labranza y tres densidades de siembra sobre la producción de maíz amarillo duro (*Zea mays* L) en el Valle del Medio Piura-2019.
7. Cortés, E., Álvarez, F., & González, H. (2009). La mecanización agrícola: gestión, selección y administración de la maquinaria para las operaciones de campo. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 4(2), 151-160.
8. Cueto, O. G., Coronel, C. E. I., & Suárez, M. H. (2009). Análisis de los factores que provocan compactación del suelo agrícola. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(2), 57-63.
9. Demuner-Molina, G., Cadena-Zapata, M., Campos-Magaña, S. G., Zermeño-González, A., & Sánchez-Pérez, F. D. J. (2014). Efecto de labranza y mejoradores de suelo en humedad y desarrollo radicular. *Tecnología y ciencias del agua*, 5(2), 123-130.
10. García, A. J. H. (2004). Las rastras a discos, características ingenieriles, agronómicas y sus implicaciones físicas en el Nororiente de Venezuela. *Revista Científica UDO Agrícola*, 4(1), 53-65.
11. García, G. N., & Navarro García, S. (2013). *Química agrícola: química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas*. Mundi-Prensa Libros.
12. Guamán Guamán, R. N., Desiderio Vera, T. X., Villavicencio Abril, Á. F., Ulloa Cortázar, S. M., & Romero Salguero, E. J. (2020). Evaluación del desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.) utilizando cuatro híbridos. *Siembra*, 7(2), 47-56.
13. Guillén Flores, L. F., & Llerena Tinoco, I. M. (2020). Influencia de forma, tamaño y textura de los agregados gruesos en las propiedades mecánicas del concreto.

14. Gutiérrez Rodríguez, F., Vaca García, V. M., Morales Rosales, E. J., González Huerta, A., Pérez López, D. D. J., & Saldívar Iglesias, P. (2015). Compactación de un Vertisol debido al tránsito y diferentes masas de tractores agrícolas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6(4), 803-813.
15. Herrera, G. R. (2017). Efecto de prácticas de labranza sobre la compactación del suelo, el rendimiento y rentabilidad del cultivo de maíz, en La Frailesca, Chiapas.
16. López Báez, W., Reynoso Santos, R., López Martínez, J., Camas Gómez, R., & Tasistro, A. (2018). Diagnóstico de la compactación en suelos cultivados con maíz en la Región Frailesca, Chiapas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(1), 65-79.
17. López Párraga, G. M., & Zamora Mera, A. R. (2016). Diagnóstico de la fertilidad del suelo en el área de Investigación, Innovación y Desarrollo de la ESPAM-MFL (Bachelor's thesis, Calcuta: Espam).
18. López-Pérez, V. P., Ramírez-Montesdeoca, W. A., & Alarcón-Moyano, G. A. (2020). Estudio de Materiales utilizados en la Construcción de Aperos para la mecanización agrícola en la zona Andina del Ecuador. (Enfoque Mecánica y Diseño Ergonómicos). *Dominio de las Ciencias*, 6(3), 1194-1204.
19. López-Santos, A., González-Cervantes, G., Cadena-Zapata, M., & González-Barrios, J. L. (2011). Efecto de la labranza sobre la porosidad de un suelo arcilloso de pastizal estimada mediante análisis de imagen. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 17(SPE), 33-43.
20. Mena Mesa, N. (2018). Evaluación de la eficiencia energética e impacto agroecológico de tres sistemas labranza utilizados en la producción de maíz (*Zea mays* L.) en los Valles Centrales de Oaxaca.
21. Mendoza Alcívar, M. R., & Valdez Rodríguez, M. G. (2015). Labranza mecanizada en la productividad del cultivo de maíz h. Trueno (Bachelor's thesis, Calcuta: ESPAM).
22. Mendoza, F. R. I. (2019). La mecanización agrícola y su impacto en el desarrollo agropecuario del Ecuador. *SATHIRI*, 14(2), 289-299.
23. Miranda, E. (2009). Física de los suelos. Su impacto en la productividad agrícola. Universidad de Pinar del río "Hnos. Saiz Montes de Oca", Cuba. En línea: [http://www.agronet.gov.co/www/docs\\_si2/200671991737\\_Materia%20org%20anica%20y%](http://www.agronet.gov.co/www/docs_si2/200671991737_Materia%20org%20anica%20y%20)

20lombricultura. pdf.

24. Montoro Rodríguez, A. E., & Ruiz, M. B. (2017). Ecofisiología del cultivo de maíz dulce (*Zea mays* L. Var. *Saccharata*) = Echophysiology of sweet corn (*Zea mays* L. var. *saccharata*).
25. Noguera, P. L., Lizazo, I. C., Pinedo, A. Á., & González, J. C. G. (2018). Método Convencional de preparación del suelo. Cuatro aspectos que lo caracterizan. *Anuario Ciencia en la UNAH*, 16(1).
26. Orozco López, J. A. (2011). Evaluación bioagronómica de una variedad y cinco híbridos de maíz duro (*Zea mays* L.), en el sector la colombina, cantón Alausí (Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo).
27. Peña Sánchez, N. G., & Andrade Rodríguez, E. J. (2017). Análisis del sistema de comercialización de la producción de maíz para mejorar los ingresos de los pequeños productores del recinto aguas frías de Medellín, Cantón Ventanas, provincia de Los Ríos (Bachelor's thesis, Guayaquil: ULVR, 2017.).
28. Pérez de Corcho Fuentes, J. S., Herrera Suárez, M., Vivas Vivas, R. J., García, G., & Valdiviezo, R. (2017). La mecanización agrícola: campo de acción de la ingeniería agronómica. *Siembra*, 4(1), 59-65.
29. Pérez, P. W. (2015). Comportamiento agronómico de nuevos materiales de maíz (*Zea mays* L), comparados con testigos comerciales, sembrados durante la época lluviosa del 2014 en FUMISA. [Tesis de grado. Universidad Estatal de Quevedo] <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/487/1/T-UTEQ-0030.pdf>
30. Pérez Mayorga, D. J. (2020). Manejo de sistemas de labranzas en suelos de la cuenca del Río Guayas, retos y perspectiva (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2020).
31. Ramírez-Barrientos, C. E., Figueroa-Sandoval, B., Ordaz-Chaparro, V. M., & Volke-Haller, V. H. (2006). Efecto del sistema de labranza cero en un vertisol. *Terra Latinoamericana*, 24(1), 109-118.
32. Reyes Villanueva, K. A. (2019). Influencia de las labranzas cero, mínima y tradicional en las propiedades físicas del suelo y su incidencia en la producción del maíz (*Zea mays*) INIA 619 Megahíbrido, en el predio Chuin Bajo-INIA-EEA-Vista Florida-Anexo Paiján.

33. Rodríguez Parra Alfaro, J. (2019). Evaluación del efecto de tres sistemas de labranza sobre las pérdidas de agua desde el suelo, en la Irrigación Majes-Arequipa.
34. Rojas, L. A., & Chavez, G. (2002). Efecto de la labranza mínima y la convencional en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en la Región Huetar Norte de Costa Rica. *Agronomía mesoamericana*, 13(2), 105-110.
35. Rojas, M. 2010. Abcago. Disponible en: [www.abcago.com/](http://www.abcago.com/)
36. Sánchez Sáenz, C. M., Menezes de Souza, Z., Eiji Matsura, E., & Salomão de Freitas, N. R. (2010). Efecto de la cobertura en las propiedades del suelo y en la producción de fríjol irrigado.
37. Santana Delgado, J. X. (2019). Particionamiento de la biomasa y absorción de nutrientes en varios genotipos de maíz (*Zea Mayz* L.) en la parroquia Boyacá del cantón Chone (Doctoral dissertation).
38. Shkiliova, L., Fundora, R., & Jarre, C. (2014). La mecanización en la Intensificación Sostenible de la Producción Agrícola (ISPA). *La Técnica*, (13), 32-43.
39. Valarezo Torres, P. V. (2017). Evaluación de tres híbridos de maíz *Zea mays* L. con tres distancias de siembra (Bachelor's thesis, Facultad de Ciencias Agrarias Universidad de Guayaquil).
40. Vélez Barzola, M. Á. (2019). Efecto de tres distancias de siembra en tres híbridos de maíz *Zea Mayz* L (Bachelor's thesis, Facultad de Ciencias Agrarias Universidad de Guayaquil).
41. Vera-Rodríguez, J. H., Cepeda-Landín, W. E., Alcívar-Llivicura, M. F., Pineda-Macas, G. L., & Medranda-Parraga, K. E. (2021). Comportamiento agronómico y económico de genotipos de maíz duro (*Zea mays* L.) en La Troncal, Ecuador. *Hombre, Ciencia y Tecnología*, 25(3), 66-75.

# INTERVENCION SOCIOENERGETICA. COMUNIDAD RURAL LA MAGDALENA

## *Socioenergetic intervention. Rural community La Magdalena*

Yanely Molina Nieves

Miguel Alejandro Joa Cosme

Fabio Pastor Pelgrin Rosabel<sup>1</sup> y Sergio J

Betancourt Estorero

Wilmer Guevara Ramos

<sup>1</sup> Centro de Energía y Refrigeración, Universidad de Oriente, Cuba, yanely.molina@uo.edu.cu

<sup>2</sup> Delegado provincial de la agricultura, Cuba

## INTRODUCCIÓN

En el presente estudio se analizó la situación social actual de la comunidad rural La Magdalena, así como su comportamiento energético. Esta comunidad está identificada por el Gobierno local y la Zona de Defensa Municipal como Zona crítica por exponer bajos índices de desarrollo en diversas dimensiones de la realidad social. Su vulnerabilidad social<sup>1</sup> se expresan en las dimensión cultural, económica, ambiental, ante las dinámicas de salud/enfermedad, vulnerabilidad alimentaria, ante desastres naturales. Contrario a las acciones del Programa de actuaciones del Consejo de Administración Municipal y la Asamblea Municipal del Poder Popular, no se advierte, hasta el momento de la investigación con un Plan de Desarrollo Integral que a corto y mediano plazo mitigue o contribuya a la solución de los problemas sociales encontrados como resultado del estudio integral y que potencie la resiliencia de este tipo de comunidad vulnerable. Realidad social que demanda de la gestión del desarrollo local de manera integral, sistémica, articulada, efectiva y acorde a las necesidades y potencialidades del

---

<sup>1</sup>En tales circunstancias los desajustes, brechas e inequidades sociales se acentúan. Poniendo al descubierto manifestaciones de la vulnerabilidad social presentes en el nivel micro comunitario que son un punto de alerta pendiente en la agenda de la gobernanza local. La investigación asume el análisis del concepto de vulnerabilidad social desde sus posiciones: como falta de acceso de una familia, comunidad, grupo e individuos, a los recursos que permiten seguridad frente a determinadas amenazas; y como la incapacidad que tienen para anticipar, sobrevivir, resistir y recuperarse del impacto de una amenaza es decir, la capacidad de protegerse y restablecer sus medios de vida. (Martínez, 2020. Pp 11).

desarrollo endógeno de la comunidad y la asesoría y acompañamiento científico para la sostenibilidad de las acciones transformadoras.

Los problemas de mayor incidencia son: el acceso a la energía, acceso y disponibilidad de productos alimenticios, materiales y recursos para la alimentación, el acceso y creación de fuentes de empleo, el deterioro del fondo habitacional, el déficit de red de acueducto y déficit de red de comunicación telefónica, acceso a servicios de salud, acceso al transporte, acceso a servicios básicos como la educación continua, servicios y ofertas culturales afectando a todos a los moradores en más del 35% de la población.

En el plano del comportamiento social los habitantes se caracterizan por la jovialidad, la amabilidad, la sinceridad y transparencia en la expresión de sus criterios, disposición a la contribución de la transformación social, asimilando acciones de capacitación para el empoderamiento y autodesarrollo comunitario<sup>2</sup>.

Las necesidades percibidas y sentidas de los comunitarios trascienden la gestión del gobierno local. La articulación de los actores locales y actores sociales en un Grupo Asesor para el desarrollo local de la comunidad La Magdalena pudiera incidir positivamente potenciando las oportunidades de desarrollo propias de la comunidad<sup>3</sup>.

La economía de la localidad se basa fundamentalmente en las labores agropecuarias, como la cría de ganado vacuno, los cultivos varios, el autoabastecimiento y la explotación forestal. Su población es de origen campesino.

El rendimiento agropecuario de las formas de producción alimentaria que existen en la comunidad se queda por debajo de las treinta libras per cápita que debe recibir cada consumidor al mes. Los niveles de producción responden a planes provinciales y nacionales lo que perjudica el sistema alimentario local. El autoabastecimiento no responde a la demanda de consumo de alimentos familiar y local. Existe un rechazo al trabajo del campo en gran parte de la población femenina por el esfuerzo físico que ello implica. El 95 % de las mujeres económicamente

---

<sup>2</sup>Testimonio: "...Nosotros queremos una vida mejor para nuestros hijos, han venido varias personas aquí para decirnos que nos pondrán corriente y nada. Llevamos una pila de años esperando ese sueño y ya usted ve seguimos aquí con 4 horas de alegría y 20 de apagón total. Y así es en todo, uno agita y no llega la leche, el yogur, ni picadillo, ni salchicha. Para comprar un aceite, un jabón, lo que sea hay que ir hasta Ocuja, y si te da un dolor de madrugada, a rezar ".... (Sexo M, 32 años, profesional).

<sup>3</sup>Testimonio: ... " En este año se han perdido en las lomas del Mulato 4 toneladas de mango, 5 de piñas, 10 toneladas de guayaba, 3 de maracuyá, se pierde mucha fruta, cebolla y con eso se pueden hacer conservas, jugos, vinos, vinagre. Una mini industria sería ideal. Se crean empleos, se abastece a la comunidad, se comercializa y se desarrolla un poco esta zona, que bastante falta que le hace. Duele ver como se pierden frutales en las lomas del Mulato y en toda esta serranía, se pierde la madera. (Sexo M, 58 años, Técnico Medio).

activas desean superarse y acceder a nuevas y variadas fuentes de empleo. El 50 % de las mujeres se dedican al cuidado de los hijos, las labores domésticas, la crianza de animales y ave de corral. El 40 % se encuentra desempleada y un 10 % combinan las labores del hogar con el trabajo estatal.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Existe una disponibilidad de agua para el consumo social y económico en estas comunidades que no cubre las necesidades de crecimiento de la población local y de los nuevos campos de cultivo establecidos actualmente.

El abastecimiento de agua a la comunidad se realiza a través de la explotación del agua subterránea de acuíferos costeros localizados en las llanuras de inundación del Río La Magdalena y el Río el Macho. Los pozos habilitados para la extracción de agua subterránea no cubren la demanda en la temporada seca, se salinizan con frecuencia debido a su cercanía a la costa. Estos sistemas de bombeo funcionan con sistemas fotovoltaicos instalados con anterioridad, aunque en ocasiones precisan del consumo eléctrico del grupo electrógeno ubicado en las comunidades para alcanzar la potencia necesaria en las bombas que impulsan el agua a un tanque de distribución local. (Figura 18)<sup>4</sup>.



Figura 1. Imagen de la caseta de bombeo y el sistema fotovoltaico, en la actualidad existente en la comunidad La Magdalena.

Fuente: Base de datos del proyecto FRE local. Santiago de Cuba, 2020.

---

<sup>4</sup>Estas instalaciones fueron puestas allí a través de un proyecto de colaboración internacional en el año 1995, destinado fundamentalmente al consumo doméstico que por aquella época estaba en el orden de los 512 habitantes hoy incrementada 3 veces (según datos del censo realizado en 2012 y datos aportados por la investigación social en la comunidad).

La comunidad El Ciruelo, adjunta a La Magdalena, cuenta con un sistema de abastecimiento de agua por gravedad, conectado a una toma de agua en un afluente del río La Magdalena colindante a las viviendas de los integrantes de la cooperativa seguido de una tubería de conducción de agua por gravedad el que en temporada seca no cubre las demandas de la producción agrícola y doméstica para esta zona (Figura 19).

### Indicadores ambientales



La figura 3, Muestra trabajos realizados para la instalación de un sistema hidráulico en la comunidad rural La Magdalena



Figura 4. Relieve montañoso, característico de la Cordillera Sierra Maestra.

Fuente: Base de datos del Proyecto FRE LOCAL- Santiago de Cuba.2020.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### **Dinamica y perfil de consumo de electrico de la poblacion**

#### **TECEDENTES NECESARIOS.ES NECESARIOS.**

Como resultado del análisis de las técnicas de investigación empleadas en el presente estudio integral se revelan la manifestación de los problemas siguientes en el asentamiento poblacional La Magdalena (2020):

El servicio eléctrico se realiza fundamentalmente a través de dos grupos electrógenos para las comunidades La Magdalena y el Ciruelo (ubicada a 2 Km al noreste) solamente 4 horas al día (entre las 6:00 pm y las 10:00 pm). Este servicio presenta a su vez dificultades con la escasez de combustible Diésel debido a la situación económica compleja que vive el país en la actualidad, por lo que en ocasiones se reduce solo a tres (3) horas diarias

Existen algunas viviendas que cuentan con sistemas fotovoltaicos producto a proyectos realizados en la década del 90 del siglo XX, los cuales se encuentran en estado deficiente debido a programas de mantenimiento inexistentes, dificultades de sus propietarios de adquirir baterías e insumos eléctricos adecuados y falta de conocimientos especializados para estas labores (Figura 25)



Figura 4. Imágenes de las instalaciones interiores en viviendas de sistemas fotovoltaicos en la actualidad existente en la comunidad La Magdalena. Fuente: Equipo de trabajo FRE-LOCAL Santiago de Cuba. 2020.

En el año 2020, marcado por la compleja situación de la pandemia COVID-19 y otras dificultades económicas con el transporte y combustible, se complejizaron los trabajos de medición y acceso a la comunidad, por lo que se procedió a realizar investigaciones para plantear las ideas básicas conceptuales para un proyecto de abastecimiento de agua en la comunidad La Magdalena a partir de fuentes superficiales y el estudio básico de la cuenca hidrográfica del río La Magdalena, que sirva como material para la toma de decisiones locales futuras en función de resolver dentro del proyecto tanto el problema energético como de abastecimiento de agua.

Además, para el caso del posible cierre en función de la instalación hidroeléctrica, se deben determinar, según sea el caso, la densidad de drenaje, clasificación de las corrientes si son permanentes (P) o intermitentes (I), entre las principales; realizando luego los modelos de escurrimiento por cada método hasta el cierre determinado, y los cálculos de caudales máximos, medios y mínimos según diferentes métodos indirectos entre los que se encuentran: Método hidrológico, Método racional, Método de las curvas numéricas, Variantes I, II y III del Ing. José Luis Batista, Fórmulas Clásicas, Fórmulas Hidrometeorológicas, Mapas de Isolíneas del Escurrimiento Métodos Genéticos, Balance Hídrico, Analogía Modelos Matemáticos e Hidrológicos.

## **POTENCIALIDADES PARA EL DESARROLLO DE LAS FUENTES RENOVABLES DE ENERGIA.**

La principal potencialidad para el desarrollo de las FRE es el gran conocimiento y confianza en la tecnología (figura 26)



Figura 5. Conocimiento de las FRE por parte de la comunidad. Fuente: Equipo de trabajo FRE-LOCAL Santiago de Cuba. 2020

**Recursos Hídricos:** En el territorio existe unase de laes más grandes reservas de agua potable de Cuba, encontrándose las fuentes acuífera en los nacimientos de varios de los ríos más grandes del Archipiélago cubano incluyendo El Cauto<sup>5</sup>, aunque no se produzcan precipitaciones normales(Lluvia vertical) está presente la conocida lluvia horizontal o sombra Húmeda que es la que es captada por los elementos naturales o antrópicas al paso de las nubes a partir de esta altimetría y que nutre a los acuíferos aun en el periodo del estiajes en los cursos superiores de los Ríos Turquino, Peladeros, Guamá, Bayamita, Palma Mocha<sup>6</sup>.

Una de las particularidades de los ríos de la zona es que muchos de ellos tienen características de Wadi o sea que corren superficialmente en la primavera y en la época de lluvia, lo que trae como consecuencia que en dicha época de lluvia se produzcan inundaciones cuyas magnitudes están en dependencias de la duración e intensidad de las lluvias, y que causan la incomunicación de muchas áreas ej. Río Grande, Cañizo, El Macho, y otros.

<sup>5</sup>El más grande por el área que abarca su cuenca, mayor de 8.000 km<sup>2</sup> y una longitud de su recorrido de aproximadamente 342 Kmy por la altura promedio que rebasó el 600 m SNM

<sup>6</sup>Palma Mocha es el río que tiene su nacimiento a mayor altimetría en Cuba, a más de 1600 m SNM.

El clima del territorio es tropical, aunque al estar situado al sur de la Sierra Maestra, predominan las condiciones de sequedad<sup>7</sup>, además la ladera sur de la Sierra Maestra está todo el año frente al Sol, lo que acentúa esas condiciones de escasa humedad. La temperatura promedio es de 26 °C siendo ligeramente más baja en las zonas altas (Figuras 27).

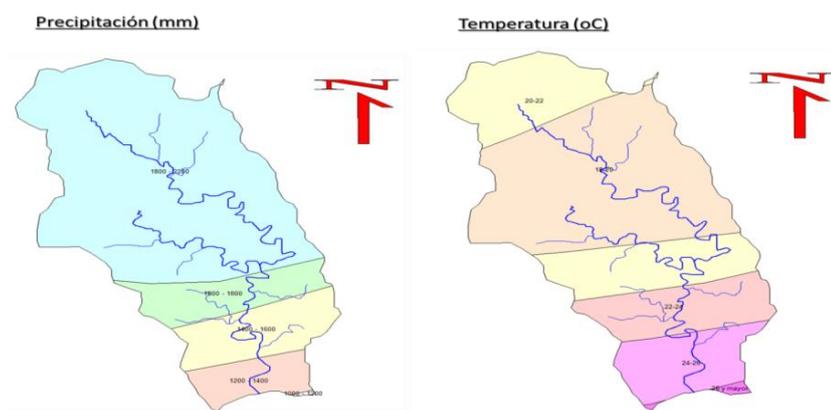


Figura 6. Imágenes del mapa de precipitaciones y temperatura de la cuenca hidrográfica del río La Magdalena.

Fuente: GEOCUBA Santiago de Cuba. 2020.

### **Potencialidades del capital humano para el desarrollo de las FRE.**

1. Valores humanos de los moradores: solidaridad, humanismo, respeto, buenas normas de convivencia social, dinámicas.
2. Relaciones interpersonales armoniosas.
3. Comunidad pacífica.
4. Disposición para la transformación social.
5. Disposición para la capacitación y asesoría científica.
6. Anhelos de desarrollo social.

---

<sup>7</sup> La más extensa serranía cubana sirve de barrera natural a los vientos alisios que vienen cargados de humedad desde el Océano Atlántico. Al encontrarse con estas montañas, se ven obligados a elevarse, por tanto, se condensan y se precipitan en su ladera norte, y al descender secos por la ladera sur, lugar donde se encuentra la localidad La Magdalena, lo propician mayores condiciones de sequedad.



Figura 28. Relaciones personales armónicas, una comunidad diversa. Fuente: Equipo de investigación FRE-LOCAL Santiago de Cuba. 2020.

## CONCLUSIONES

En esta sección se presentarán las conclusiones que se deriven del trabajo realizado. Toda conclusión debe estar basada en lo expuesto y discutido en el trabajo y debe reflejar el cumplimiento de los objetivos. Pueden indicar las implicaciones y su relevancia. No deben incluir resultados nuevos, ni generalizar hipótesis o evidencias no probadas en el artículo. En este sentido se debe hacer una evaluación del costo de las medidas definitivas y temporales que se propone, contra el costo de mantenimiento vial de por vida de esa carretera.

El diseño de una programación cultural de calidad en este espacio cultural contribuiría a la formación y educación estética, axiológica, de promoción de salud, de capacitación de los moradores. Se contribuye así a la capacitación, animación, promoción y recreación sociocultural de los diversos grupos de edades de la comunidad.

Contrario a las acciones del Programa de actuaciones del Consejo de Administración Municipal y la Asamblea Municipal del Poder Popular, no se advierte, hasta el momento de la investigación con un Plan de Desarrollo Integral que a corto y mediano plazo mitigue o contribuya a la solución de los problemas sociales encontrados como resultado del estudio integral y que potencie la resiliencia de este tipo de comunidad vulnerable.

Los problemas de mayor incidencia son: el acceso a la energía, acceso y disponibilidad de productos alimenticios, materiales y recursos para la alimentación, el acceso y creación de fuentes de empleo, el deterioro del fondo habitacional, el déficit de red de acueducto y déficit de red de comunicación telefónica, acceso a servicios de salud, acceso al transporte, acceso a servicios básicos como la educación continua, servicios y ofertas culturales afectando a todos a los moradores en más del 35% de la población.

## AGRADECIMIENTOS

Al proyecto “Desarrollo Local de las comunidades rurales La Magdalena y El Macho con Fuentes Renovables de Energía”. Proyecto territorial financiado por la Delegación Provincial del CITMA en Santiago de Cuba.

El gobierno municipal de Guama y la Empresa Agroforestal GUAMA.

## REFERENCIAS

Población flotante. (s/f). En Wikipedia.

Recuperado el de septiembre de 2020 de [http://es.wikipedia.org/wiki/Poblaci3n\\_flotante](http://es.wikipedia.org/wiki/Poblaci3n_flotante).

González Morera, T., Olalde Font, R., Sánchez Machado, IR. Y Cherni, J. (2017). La inversión energética en el desarrollo rural y agrícola en Cuba. Caso de estudio Comunidad “4to Congreso”, Sancti Spiritus. Revista Centro Agrícola. Vol. 44, No.4, octubre- diciembre, 49-57, 2017. Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas. ISSN papel: 0253-5785 ISSN on line: 2072-2001. Programa de Pequeñas Donaciones del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM). (2013). Proyecto “La comunidad de Gavilanes por la protección y conservación de su ecosistema de montaña en la CCS “Aracelio Iglesias”. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. República de Cuba.

# EL PROYECTO DE IMPLANTACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN LA EMPRESA DE PERFORACIÓN Y EXTRACCIÓN DE PETRÓLEO DE OCCIDENTE.

*The Project of Installation of Photovoltaic Systems in the Company of Perforation and Extraction of Petroleum of West.*

**Anett Miró Echenique.**

**Facultad de Ciencias Sociales y Humanísticas, Universidad Agraria de la Habana, Cuba, anettmiro@gmail.com o anett@epepo.cupet.cu.**

*Energías renovables, eficiencia energética y calidad de la energía para el cambio de la matriz energética y el desarrollo sustentable.*

## **SUMMARY**

The company is in the necessity of to develop a new paradigm emphasized in the search of the energy sustainability for its production model and to carry out a correct administration that he/she helps in the local and territorial development. This problem, more than an economic-financial matter, is fundamentally a problem of ethical, social and environmental nature of the organization and the country.

For it has been approved it in the company the Project of Installation of Photovoltaic Systems, the same one is based on the methodologies of the norm CN: ISO 50001:2011 and it contributes to the development of the strategies taken by the country to impel the use of the renewable sources of energy and to elevate their participation in the womb of electricity generation and to elevate the culture and the energy administration.

**Key words:** energy sustainability, renewable sources, energy administration.

## **INTRODUCCIÓN**

La Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo de Occidente (EPEPO), fue fundada en 1976, se encuentra situada en el Km 37 ½ Vía Blanca, enclavada territorialmente en el Municipio Santa Cruz del Norte, provincia Mayabeque. Está subordinada a la Unión CubaPetróleo (Cupet), perteneciente al Ministerio de Energía y Minas (MINEM) y es una de las empresas más importantes para la economía nacional. A través de la Resolución No. 673 de

fecha 18 de noviembre del 2013 del Ministerio de Economía y Planificación, se aprobó la modificación del Objeto Social de la Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo de Occidente (EPEPO) consistente en producir y comercializar petróleo y gas.

A raíz de la aprobación del Decreto-Ley No.252 y Decreto No. 281, donde se sientan las bases para la continuidad y el fortalecimiento de un Sistema de Dirección y Gestión Empresarial, nuestra organización le da más autonomía al empresariado de manera que estas puedan alcanzar metas superiores, demostrando que se pueden alcanzar altos niveles de desempeño y reconocimiento social por lo que se hace necesario modificar los modos de llevar una organización hacia el futuro.

La Gestión de Proyectos de Innovación para las Tecnologías Energéticas tiene cada vez más importancia en el entorno de desarrollo organizacional sustentable debido a su carácter dinámico y flexible, respetando todos los principios, procedimientos y políticas.

Este enfoque de gestión brinda las opciones necesarias para lograr un resultado esperado bajo condiciones específicas, recursos e iniciativas, creatividad y participación de los actores. Da camino a la evolución organizacional y al mejoramiento continuo, siendo el modelo dominante en muchas organizaciones para la implementación de estrategias, transformación de negocios y desarrollo de nuevos productos.

**Objetivo General:** Evaluar el diseño de planificación y la factibilidad del Proyecto de Implantación de Sistemas Fotovoltaicos en la EPEPO.

**Objetivos específicos:**

- 1- Caracterizar el Proyecto de Implantación de Sistemas Fotovoltaicos.
- 2- Identificar las Macrotendencias y Microtendencias que han impactado en el logro para la sostenibilidad energética en Cuba.
- 3- Valorar los Elementos del proyecto que contribuyen a lograr un desarrollo local sustentable.

**MÉTODOS**

*Para el desarrollo de la investigación se utilizaron los siguientes Métodos:*

*Métodos teóricos: Permitieron realizar la interpretación mediante los procesos lógicos del pensamiento de la información procesada todo lo relacionado con la Gestión de Proyectos para*

*el Desarrollo Energético Organizacional.*

- *Análisis y Síntesis: En el estudio de la bibliografía consultada para analizar los diferentes conceptos y procedimientos utilizados en el desarrollo del proyecto.*
- *Inductivo-Deductivo: Para inferir conclusiones a partir de los datos obtenidos.*
- *Histórico-Lógico: Posibilitó estudiar las teorías y posiciones de diferentes autores en la evolución de los conceptos relacionados con el objeto de estudio.*
- *Enfoque de sistema: Para valorar la organización como un todo unificado en toda su complejidad.*

**Métodos empíricos:** *Permitieron recopilar la información y datos necesarios para la toma de decisiones en la investigación.*

- *Análisis de documentos: Permitieron obtener información para la búsqueda relacionada con el tema objeto de estudio.*

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Antecedentes que condujeron a la realización del Proyecto de Implantación de los Sistemas Fotovoltaicos en la entidad.**

Desde años atrás, la Unión Cupet, con el apoyo del Ministerio de Energía y Minas ha trabajado en procesos de investigación buscando mejorar los sistemas automatizados y energéticos existentes en el país. Como parte de ello, diferentes especialistas han elaborado proyectos innovadores tecnológicos para alcanzar una Gestión Eficiente de la Energía, basadas en los principios que permiten desarrollar procesos de mejoras continuas. Estos procesos se han logrado con la interrelación de la supervisión y control con el diagnóstico en la secuencia de su aplicación y han demostrado beneficios relacionados con la capacidad de ahorro, y su impacto ambiental y social.

A través de ellos se muestra la necesidad de incrementar un modelo energético sostenible opuesto al paradigma actual. Una alternativa es la implementación de los Sistemas de Gestión a través de las normas NC-ISO 9001:2015 Sistema de Gestión de la Calidad, la NC-ISO 14001:2015 Sistema de Gestión Ambiental y de la NC-ISO 50001:2011 Sistema de Gestión de la Energía, esta última permite lograr una gestión y administración correcta de los portadores energéticos en todo tipo de instalación o proceso alcanzando mejor desempeño y teniendo en

cuenta las fortalezas que existen en Cuba para propiciar una rápida implementación de estos sistemas enfatizando la participación de todas las entidades y en especial la EPEPO.

Basado en las experiencias acumuladas según la implementación de políticas orientadas a la eficiencia energética a nivel nacional de contar con escasos recursos energéticos (petróleo, gas, carbón mineral o recursos hídricos), por las características de ser una de las principales empresas con mayor consumo energético del país y por su incremento en los costos de la energía en la EPEPO se ha aprobado un Proyecto de Implantación de Sistemas Fotovoltaicos para ayudar en la mejora de la grave crisis política y económica en que está sumido el mundo de hoy y que repercute negativamente en el desarrollo industrial cubano.

Este importante objetivo define la política, los objetivos y las responsabilidades de la EPEPO, estas perspectivas se establecen a través de procedimientos y procesos de planificación, control, aseguramiento y mejoramiento. Presenta un sistema de gestión energética que define las responsabilidades, los procedimientos, el entrenamiento, la verificación interna, las acciones correctivas y preventivas y el mejoramiento de la organización.

#### **Características del Proyecto.**

El Proyecto de Implantación de Sistemas Fotovoltaicos en la EPEPO consiste en bajar el costo de la energía consumida y así tener un mayor aprovechamiento de las fuentes renovables de energía.

**Título:** Proyecto de Implantación de Sistemas Fotovoltaicos Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo de Occidente. Memoria Descriptiva.

**Ubicación:** El proyecto técnico se realizará en el techo del Edificio Central del Área Caribe, ubicado en el Km 37 1/2, Vía Blanca, Santa Cruz del Norte, Mayabeque.

#### **Principales instituciones relacionadas:**

- ✓ Ministerio de Energía y Minas.
- ✓ Unión Cupet.
- ✓ CEDAI.
- ✓ Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo de Occidente.
- ✓ Asamblea Municipal del Poder Popular.

- ✓ Consejo de la Administración Municipal (CAM).
- ✓ Consejo de la Administración Municipal (CAP).
- ✓ PCC Santa Cruz del Norte.
- ✓ PCC Mayabeque.

**Autores:** El Equipo Gestor de este proyecto se encuentra integrado por personas que presentan las capacidades, habilidades y los recursos necesarios y que a través del estudio y aplicación de la NC-ISO 50001:2011 obtendrán los mejores resultados para alcanzar el objetivo de este proyecto, siendo capaces de planificar, organizar y monitorear todo su ciclo de vida.

- ✓ El principio de funcionamiento de las instalaciones fotovoltaicas está basado en el efecto fotovoltaico mediante el cual se transforma la energía del Sol en energía eléctrica.
- ✓ Este proceso de transformación se produce en un elemento semiconductor que se denomina célula fotovoltaica.
- ✓ Cuando la luz del Sol incide sobre la célula fotovoltaica, los fotones de la luz solar transmiten su energía a los electrones del semiconductor para que así pueden circular dentro del sólido.
- ✓ La tecnología fotovoltaica consigue que parte de estos electrones salgan al exterior del material semiconductor generándose así una corriente eléctrica capaz de circular por un circuito externo.
- ✓ Los generadores solares actuarán como respaldo de energía en caso de ausencia de red eléctrica.
- ✓ Los inversores fotovoltaicos encargados de convertir la corriente continua proveniente de los módulos solares funcionarán cuando exista o no la red eléctrica por redes independientes.
- ✓ En caso de falta de fluido eléctrico o descarga del sistema para que el generador solar funcione, los inversores se sincronizaran al grupo electrógeno siempre y cuando esté funcionando en óptimas condiciones.

Este Proyecto de Desarrollo se origina producto de la necesidad que existe en nuestro país de diversificar la generación de energía eléctrica, reducir la dependencia de los combustibles fósiles, aumentar la eficiencia energética así como alcanzar un potencial de fuentes renovables de energía suficiente y una alta preparación del Capital Humano, que en esta materia se hace más que favorable para el entorno a la hora de incrementar la innovación y la cooperación institucional.

En la empresa existen muchas oportunidades para ejecutar proyectos financieros e inversionistas como estos, ya que a nivel nacional se cuenta con la disponibilidad de equipos fotovoltaicos. Sin embargo toda esta perspectiva de proyecto ha presentado variadas amenazas por los efectos del bloqueo económico, comercial y financiero del Gobierno de Estados Unidos, presentando atrasos en el cumplimiento de las metas de este periodo de planificación y también por las causas que ha provocado la pandemia del COVID-19.

La realización de este proyecto favorece el desarrollo del ahorro de las fuentes renovables y uso eficiente de la energía pero no solo a nivel organizacional, sino también para el país en general, ya que el campo de aprovechamiento de estas fuentes es cada vez más eficientes para nuestra economía, la cual sigue presentando muchos retos inversionistas y tecnológicos continuamente.

Existen muchas ventajas con la implantación de los Sistemas Fotovoltaicos para la empresa tales como:

- ✓ Al generar en el mismo punto en que se produce el consumo se eliminan las pérdidas en la transmisión y de distribución de la energía eléctrica.
- ✓ Se instalan fácil y rápidamente sobre cualquier edificio o área bien expuesta al sol.
- ✓ No producen ningún tipo de contaminación ni efecto nocivo.
- ✓ Permiten pequeñas inversiones de forma progresiva.
- ✓ Los costos de operación y mantenimiento son incomparablemente inferiores a los de las termoeléctricas.
- ✓ Pueden mejorar el factor de potencia de la instalación.
- ✓ Disminuyen los gastos en energía consumida.

- ✓ La corriente que genere por exceso el Sistema Fotovoltaico y que no se consuma en nuestra empresa se pone a disposición de la red nacional.
- ✓ Este proyecto de desarrollo será muy factible para la empresa, constituyendo una medida de alternativa en aras de aprovechar los recursos naturales y las fuentes de energía renovable. La EPEPO mediante este proyecto adoptará varios proyectos innovadores que permitan la disminución del uso directo de combustible fósiles ahorrándole grandes sumas de dinero no solo en la empresa, si no en todo el territorio nacional.
- ✓ Las inversiones se podrán abaratar aprovechando los sistemas de transformación y distribución de los combustibles. Se propone una nueva visión a través de la explotación de la energía renovable, siendo esto una opción viable de desarrollo energético empresarial, desarrollado por un trabajo ordenado y sustentable ya que por los conflictos ambientales debido a la ocurrencia de averías y derrames de petróleo peligran los ecosistemas y aumenta la contaminación.
- ✓ La producción de energía a base de los sistemas tradicionales se ha debatido en muchos escenarios y cada vez constituye un reto alcanzar una factibilidad económica, medioambiental y social sostenible, ofreciendo soluciones oportunas a la empresa después del incremento del precio de los combustibles fósiles y facilitando los gastos de reducción asociados a los impactos ocasionados.
- ✓ La producción de energía se ha convertido en un elemento determinante para el sostén de la empresa, en función de garantizar la satisfacción de la demanda eléctrica en las tareas de desarrollo económico y para la toma de conciencia energética por parte de los trabajadores.

### **Macrotendencia y Microtendencias que han impactado en el logro para la sostenibilidad energética en Cuba.**

Los problemas energéticos tienen cada vez más importancia como macrotendencias económicas y políticas en el mundo, fundamentalmente por el desarrollo acelerado de algunos países que han propiciado una competencia intensa por el control de las reservas de petróleo, el crecimiento del comercio internacional y el aumento acelerado de la contaminación del medio ambiente por el uso indebido de los recursos naturales.

La economía cubana sufre actualmente de las embestidas de la crisis en el suministro energético debido al duro recrudecimiento económico y financiero impuesto por las políticas de Estados Unidos contra Cuba y se extiende a mayor grado en todos los sectores de la actividad económica y social, en virtud de las prioridades asignadas a la empresa y a los servicios sociales básicos. Esta situación obliga a la dirección del país a tomar medidas y elaborar programas para enfrentar esta crisis, cuyo alcance es global y sectorial.

Tras la actualización del modelo económico y social cubano se plantea la necesidad de que los gobiernos municipales tengan un mayor protagonismo en la gestión sus recursos pero existen carencias de herramientas, lo cual es una barrera que dificulta el diagnóstico y el funcionamiento del gobierno local ante estas dificultades, las cuales están dadas por:

- La falta de comunicación y coordinación entre los diferentes actores.
- La desarticulación de los procesos de planeamiento.
- La insuficiente información y capacitación sobre gestión local de los dirigentes.
- La falta de perspectivas para poder solucionar los problemas de la población.

Desde años atrás, la Unión Cupet, con el apoyo del Ministerio de Energía y Minas ha trabajado en procesos de investigación buscando mejorar los sistemas automatizados y energéticos existentes en el país. Como parte de ello, diferentes especialistas han elaborado proyectos innovadores tecnológicos para alcanzar una Gestión Eficiente de la Energía, basadas en los principios que permiten desarrollar procesos de mejoras continuas. Estos procesos se han logrado con la interrelación de la supervisión y control con el diagnóstico en la secuencia de su aplicación y han demostrado beneficios relacionados con la capacidad de ahorro, y su impacto ambiental y social.

**Aun se hace necesario perfeccionar aspectos en la EPEPO relacionados al Proyecto de Implantación de Sistemas Fotovoltaicos como parte de su Responsabilidad Social Administrativa, como son:**

**La Gestión energética:** La cual debe de estar en función de ser alcanzada eficazmente, abarcando todas las actividades administrativas dando un aseguramiento energético más profundo que satisfaga necesidades a partir del logro de los requisitos establecidos con el menor gasto energético posible y la mínima contaminación ambiental. Para alcanzar el éxito y la consecución de un ahorro energético es imprescindible realizar trabajos internos de capacitación para elevar el compromiso y la motivación de los trabajadores. El consumo energético debe

controlarse en todas las áreas o departamentos de la organización concertando los esfuerzos en el control de las principales funciones o consumos energéticos.

**El Reconocimiento de los puestos claves de consumo energético:** El monitoreo y control energético efectivo en la empresa requiere de la utilización de un conjunto de indicadores hasta el nivel de las áreas y mayores consumidores como lo son los equipos de extracción de petróleo y equipos del parque automotor. Identificar los puestos claves y darles el tratamiento que requieren constituyen la espina dorsal para la atención, conducción, dirección y control del ahorro y la eficiencia energética de la empresa, llevando a cabo las técnicas de dirección que favorece descubrir las reservas potenciales de ahorro, promover la iniciativa creadora e innovadora en cada puesto de trabajo, la aportación de soluciones donde más se necesita, así como la activa participación del colectivo laboral, la posibilidad de contar con un sistema eficaz y útil al definir los aspectos fundamentales para el ahorro y la eficiencia en el uso de la energía.

**El Desarrollo de la labor del comité de energía:** Este tipo de órgano de dirección debe apoyar minuciosamente a la administración de la empresa brindando asesoramiento al consejo de dirección en temas de gestión energética, suministrar información confiable para la toma de decisiones, establecer un sistema de monitoreo de los recursos energéticos en tiempo real, establecer la periodicidad de las auditorías a la actividad de uso racional de la energía, participar en estudios y proyectos energéticos, promoción de las nuevas tecnologías ahorradoras de energía, seguimiento de proyectos y programas de ahorro de energía, establecer programas de capacitación y difusión del uso eficiente de los portadores energéticos, intensificación de mantenimiento energético y sistemas instalados, preparar campañas y jornadas de competición en ahorro de energía, y colaborar en temas energéticos con empresas del sector y de las comunidades aledañas a la entidad.

### **Elementos del proyecto que contribuyen a lograr un desarrollo local sustentable.**

El desarrollo energético constituye uno de los factores más influyentes en las empresas y los territorios para elaborar proyectos y programas innovadores, posibilitando beneficios en los campos científicos, políticos, económicos y sociales, pues se encuentra notablemente influenciado por avances y desafíos para llegar a las proyecciones de un desarrollo local.

Este desarrollo en la EPEPO está basado a través de estudios realizados por los distintos actores que intervienen, los cuales tienen como objetivo principal lograr el incremento en el consumo de la eficiencia energética, la cultura y la gestión a nivel empresarial y territorial, enfocada en la visión de la energía, la tecnología, la ecología, los problemas sociales de la ciencia y con las comunidades, demostrando que para el logro de la eficiencia energética y su sostenibilidad se

necesita de un enfoque social que involucre a todos en la toma de decisiones y genere nuevas metas para que se desarrollen nuevos hábitos de producción y consumo en función de la mejora continua del territorio y del país y del cuidado del medio ambiente.

Con la obtención de experiencias obtenidas en este proyecto innovador es necesario promocionar una Gestión Energética en la empresa y llevar esta cultura a otros sectores, lo cual motiva el interés y la competitividad profesional dentro del territorio, elevar la calidad de vida de la población, inculcado desde gestión pública los sentidos de responsabilidad y sentido de pertenencia de los trabajadores con las entidades.

Con la participación integrada de los actores locales que intervienen se deben determinar y resolver con prioridad todas las necesidades socioculturales que demanda el entorno, para la reducción de los impactos ambientales y disminución en los costos de operación de toda la sociedad.

Se deben realizar actividades a través de eventos e instrucciones de capacitación con nuevas metodologías y estrategias de los sistemas de gestión de la calidad. Para ello se necesita integrar a la Universidad Agraria de la Habana en estos proyectos innovadores para un mejor desarrollo y desempeño en la gestión del conocimiento científico-técnico.

## **CONCLUSIONES**

- 1- El estudio de la sistematización teórica sobre los antecedentes que condujeron a la realización del Proyecto de Implantación de los Sistemas Fotovoltaicos en la entidad y su relación con la Gestión de Proyectos cumplen con las metodologías presentes en la NC: ISO 50001:2011 para el entorno interno y externo y son analizadas por un grupo de trabajo donde intervienen profesionales, propiciando con ello el crecimiento, la innovación y el aprendizaje de la empresa.
- 2- El diseño y la planificación de Proyecto de Implantación de Sistemas Fotovoltaicos es organizado, consciente y presenta un ciclo de vida continuo, donde se proponen las mejores alternativas con los medios y recursos disponibles para lograr sus objetivos fundamentales que son la contribución al ahorro energético y financiero en la empresa y el cuidado del medio ambiente.
- 3- El análisis de los aspectos Socioculturales que intervienen en el Proyecto de Implantación de Sistemas Fotovoltaicos comprueban que la economía y los trabajadores son

beneficiados y en ellos se encuentra el apoyo para el trabajo con la comunidad donde residen, luchando todos por un mismo objetivo de desarrollo.

#### **AGRADECIMIENTOS**

A la Facultad de Ciencias Sociales y Humanísticas de la Universidad Agraria de la Habana por informar sobre este importantísimo Evento: III Convención Internacional Ciencia y Conciencia de la Universidad de Oriente.

#### **REFERENCIAS**

Valdés, J. A. (2021). *Memoria Descriptiva del Proyecto de Sistemas Fotovoltaicos en la EPEP Occ. .*

Gómez, H. A. (2009). *Manual de Gestión de Proyectos*. Colombia: Universidad de Antioquia.

NC: ISO 50001:2011 Sistemas de gestión de la energía — Requisitos con orientación para su uso.

# **ESTUDIO PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EMPRESA ASTILLEROS DEL ORIENTE.**

*Study to Improve the Energy Efficiency in the Company Navy of the East.*

Ladislao Elías Guerra

Facultad Ingeniería Mecánica, Universidad de Oriente, Cuba, ladislaoeliasguerra@gmail.com,  
0000-0002-1422-5281

**TITULO: ESTUDIO PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA  
EMPRESA ASTILLEROS DEL ORIENTE. SANTIAGO DE CUBA.**

## **1. Introducción**

Hoy en día el tema del ahorro energético constituye una gran fuente de reserva energética para potenciar el desarrollo de nuestra nación, y actualmente la provincia cuenta con muchos centros altos consumidores con el factor de potencia deteriorado, es decir con valores por debajo del 0,90, lo que acarrea pérdidas energéticas y económicas para las entidades y el país. Por lo que se dedica este trabajo a la revisión y estudio de todo el sistema energético de las tres instalaciones que tiene la Empresa Astilleros del Oriente, para explicar los beneficios que brinda mejorar este indicador de eficiencia energética.

La organización astilleros del oriente comprende tres servicios eléctricos, los cuales han sido monitoreados durante cinco años, todos presentan un bajo factor de potencia, lo que origina mayores pérdidas energéticas y económicas, no solo a la propia entidad, sino también al sistema electroenergético nacional.

El presente proyecto tiene la finalidad de evaluar puntualmente la situación del factor de potencia en cada dependencia, para esto se analizarán las bases de datos de los 5 últimos años, luego se procederá a realizar mediciones eléctricas en cada servicio eléctrico, para con toda esta información proceder a realizar todo el proceso de cálculo, para finalmente hacer una propuesta concreta de que equipo corrector del factor de potencia necesita cada caso, la posible influencia de las distorsiones armónicas de corriente para el caso específico de DAMEX 380 V, así como el impacto económico y ambiental para la empresa y el país.

**Objetivo General:** Proponer mediante este proyecto una solución que permita lograr la eficiencia energética del astillero y así reducir las pérdidas en sentido general para la entidad y el sistema electroenergético nacional (SEN).

### **Objetivos Específicos.**

1. Realizar mediciones eléctricas con el analizador de Redes Modelo ChauvinArnoux CA-6334 B, en cada servicio eléctrico, para conocer los valores reales de todos los parámetros eléctricos.
2. Realizar con todos los datos estadísticos y las mediciones un estudio para determinar la potencia de cada equipo corrector del factor de potencia.
3. Cuantificación del ahorro anual por concepto de mejora del factor de potencia en cada servicio eléctrico.
4. Hacer una propuesta concreta para los equipos a seleccionar para compensar la potencia reactiva.

**Resultados Esperados:** Lograr la compensación del factor de potencia en los tres servicios de esta empresa, lo cual traería beneficios en sentido general, en lo económico, se eliminarían las penalizaciones y por el contrario tendrían bonificaciones, en lo energético se reducen las pérdidas en los transformadores en cada servicio, y en las redes eléctricas, y en lo medio ambiental, este ahorro acarrearía menos combustible a quemar en la generación, menos emisiones a la atmosfera de gases contaminantes, además el SEN también se beneficiaría ya que en la transmisión circularía menos corriente reactiva.

### **Tarea Investigativa**

- Revisión y estudio de todo el sistema energético de las tres instalaciones de la Empresa Astilleros del Oriente.
- Análisis del consumo eléctrico durante los 5 últimos años de las tres instalaciones de la Empresa Astilleros del Oriente.

### **Métodos de Investigación**

#### **Método Estadístico**

Por medio del cual se pudo acopiar y revisar toda la base de datos energéticos, durante los 5 últimos años, para evaluar los diferentes parámetros eléctricos, así como su comportamiento técnico y económico.

#### **Método de la Medición**

Mediante las mediciones eléctricas, se pudieron obtener los valores reales de todas las magnitudes eléctricas sujetas a estudio en este proyecto.

### **Método Matemático**

Este permitió todo el proceso de cálculo, así como la descarga del instrumento de medición eléctrica a una nueva maqueta, para el caso específico de las distorsiones armónicas, lográndose todo el análisis matemático.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN.**

### **Reducción de Pérdidas y Beneficios para Cada Servicio.**

Tabla # 1. Bonificación del Factor de Potencia en cada servicio por reducción del Importe de la Facturación.

<b>Bonificación Factor Potencia ASTOR</b>			
Parámetros		Mensual	Anual
Reducción Importe Facturación Mensual	%	4,17	50
Bonificación Astillero # 13 Sgto.	Pesos	2354,04	28248
Bonificación Astillero DAMEX S 230 V.	Pesos	2100,96	25211,50
Bonificación Astillero DAMEX S 380 V.	Pesos	2229,24	26750,90
<b>Total</b>	<b>Pesos</b>	<b>6684,24</b>	<b>80210,82</b>

Como se puede apreciar la reducción del importe total de facturación, por concepto de bonificación, mejorando el factor de potencia hasta el valor de 0,96, equivale a un 4,2 %, por lo que la disminución total del importe sería de 6684,24 pesos mensuales y 80210,80 pesos anuales respectivamente para la entidad.

### Potencia Liberada en Cada Subestación Eléctrica.

Tabla # 2. Valores de Potencia Liberada en los Transformadores en las tres servicios.

<b>Potencia Liberada en Transformadores</b>			
<b>Parámetros</b>	<b>Astillero Sgto.</b>	<b>DAMEX S-230 V</b>	<b>DAMEX S-380 V</b>
Potencia Nominal Transformador Sn (kVA)	200	367	501
Carga Máxima P (kW)	112	88	270
Factor Potencia Inicial Cos $\phi$	0,82	0,86	0,84
Factor Potencia Mejorado Cos $\phi$	0,96	0,96	0,96
<b>Potencia Liberada Transformador S (kVA)</b>	<b>20</b>	<b>11</b>	<b>40</b>

Otra ventaja de la compensación es liberar capacidad (potencia) en los transformadores, en las tres dependencias, lo que permite ampliaciones futuras, sin tener que sustituir los bancos de transformadores.

Tabla # 3. Reducción de las pérdidas en transformadores por mejorar el factor de potencia en la empresa Astilleros del Oriente.

<b>Reducción Perdidas Transformación por Mejora del Factor de Potencia</b>			
<b>Servicio Eléctrico</b>	<b>Ahorro Mensual kWh</b>	<b>Ahorro Año kWh</b>	<b>Importe Pesos /Año</b>
Damex 220 V	638.63	7663.59	21381.41
Astillero Sgto.	475.26	5703.16	15911.81
Damex 380 V	1035.59	12427.04	34671.44
<b>Total</b>	<b>2149.48</b>	<b>25793.79</b>	<b>71964.66</b>

Tabla # 4. Reducción de las pérdidas en redes eléctricas, por mejorar el factor de potencia en la empresa Astilleros del Oriente.

<b>Ahorro Acometida por Mejora del Factor de Potencia</b>		
<b>Servicio</b>	<b>kWh / Año</b>	<b>Pesos /Año</b>
Damex 380 V	1326.65	3701.36
Damex 220 V	1396.02	3894.90
Astillero Santiago	200.51	559.44
<b>Total</b>	<b>2923.19</b>	<b>8155.70</b>

Tabla # 5. Ahorros energéticos y económicos, por mejorar el factor de potencia en la empresa Astilleros del Oriente.

<b>Ahorro Total por Mejora del Factor de Potencia</b>		
<b>Servicio</b>	<b>kWh / Año</b>	<b>Pesos /Año</b>
Damex 380 V	<b>13753.69</b>	<b>38372.80</b>
Damex 220 V	<b>9059.61</b>	<b>25276.31</b>
Astillero Santiago	<b>5903.67</b>	<b>16471.25</b>
<b>Total</b>	<b>28716.97</b>	<b>80120.36</b>

Como se aprecia en las tabla 5 la mejora del factor de potencia posibilita ahorros energéticos y económicos significativos para la empresa Astillero del Oriente.

**Precios y Amortización de cada Equipo Corrector del Factor de Potencia.**

Actualmente el precio del kVAr de potencia de un equipo corrector del factor de potencia oscila dentro de un amplio margen de precios, por la cantidad de entidades y modelos que se comercializan, por lo que aquí se mostrara un análisis técnico económico preliminar para cada servicio.

Tabla # 6. Potencia y Precio de cada equipo recomendado para mejorar el Factor de Potencia en cada servicio, en la empresa Astilleros del Oriente.

**Condensadores Recomendados ASTOR**

	<b>Qc (kVAr)</b>	<b>Precio €</b>	<b>Precio CUP</b>
Potencia Condensadores Astillero # 13	50	1745	43625
Potencia Condensadores DAMEX S-230 V	60	1876	46900
Potencia Condensadores DAMEX S-380 V	250	9861	246525
<b>Total</b>	<b>360</b>	<b>13482</b>	<b>337050</b>

Nota: En el caso del equipo corrector del servicio DAMEX 380 V, se considera un equipo con filtros de armónicos.

**Amortización de cada equipo corrector del factor de potencia.**

Tabla # 7. Análisis Económico de la Inversión y Amortización de cada equipo por servicio eléctrico, en la empresa Astilleros del Oriente.

<b>Resumen del Análisis Económico de la Inversión</b>				
<b>Indicadores</b>		<b>Astillero Sgto.</b>	<b>DAMEX 230 V</b>	<b>DAMEX 380 V</b>
<b>Valor Actual Neto</b>	<b>VAN</b>	<b>70190.83</b>	<b>128961.99</b>	<b>186544.88</b>
<b>Tasa Retorno Inversión</b>	<b>TIR %</b>	<b>42.26</b>	<b>80.87</b>	<b>24.31</b>
<b>Periodo Recuperación Inversión PR (Años)</b>		<b>3</b>	<b>2</b>	<b>5</b>

<b>Relación Beneficio Costo</b>	<b>B/C</b>	<b>4.62</b>	<b>8.22</b>	<b>3.11</b>
---------------------------------	------------	-------------	-------------	-------------

Como se demuestra en la tabla anterior, el periodo de amortización de la inversión para cada servicio, no supero los cinco años, por lo que se hace factible acometer este tipo de inversión. En el caso del astillero DAMEX a 380 V, es que el periodo de recuperación es mayor que los dos casos anteriores, ya que este equipo corrector del factor de potencia es el de mayor potencia y cuenta con atenuación de distorsiones armónicas, por lo que se encarece más; Pero a pesar de eso después de este tiempo para un proyecto que durara 10 años todo es ganancia, por lo que también se considera un proyecto atractivo.

### **Impacto Ambiental.**

Por el concepto de mejorar el factor de potencia (disminución de pérdidas, en transformación y en las redes eléctricas) el ahorro total en la Empresa Astilleros del Oriente (3 servicios) es aproximadamente de 29 MWh / Año, representando esto 10,43 toneladas equivalentes de petróleo y 22,80 toneladas del gas contaminante CO<sub>2</sub> dejadas de emitir a la atmosfera.

Tabla # 8. Resumen del Impacto Ambiental en la Empresa Astilleros del Oriente.

<b>Resumen de los Resultados del Impacto Ambiental</b>		
<b>Ahorro Combustible</b>	<b>ton /año</b>	<b>8.30</b>
<b>Importe por Ahorro de Combustible</b>	<b>USD/ton</b>	<b>6058.42</b>
<b>Dióxido de Carbono CO<sub>2</sub> No Emitido a la Atmosfera</b>	<b>ton/año</b>	<b>22.80</b>
<b>Ahorro de Energía</b>	<b>kWh/año</b>	<b>28716.97</b>

## CONCLUSIONES.

El estudio permitió llegar a los siguientes criterios:

1. Lo novedoso de este proyecto es que incorpora una maqueta para descargar las mediciones del analizador de redes, y de forma automática se calculan todos los parámetros relacionados con las distorsiones armónicas, como son los valores efectivos de corriente que toma cada armónico según su orden, además calcula por separado, los impares y los de orden par, permite calcular el factor de desbalance (K) para transformadores, así como la potencia de distorsión que aporta cada fase; todo esto facilitando los cálculos y análisis correspondientes.
2. El estudio evidenció que todos los parámetros de calidad del suministro eléctrico (voltajes, desbalances de tensión, de corriente y frecuencias) de los tres servicios están dentro de las normas técnicas establecidas y no atentan contra la operación correcta del equipamiento tecnológico de la entidad.
3. La compensación en los tres casos se conectara de forma global, es decir a nivel de panel general de distribución (PGD) y con funcionamiento de forma automática.
4. La compensación del factor de potencia es factible en los tres servicios, lo que disminuye las pérdidas energéticas y económicas, posibilitando un ahorro de energía a nivel de empresa de 28,7 MWh anuales y por concepto de bonificación más de 80 Mil pesos por año respectivamente.
5. Existe una baja cargabilidad en las subestaciones eléctricas, de las tres acometidas, es decir el coeficiente de carga óptimo, que garantiza una máxima eficiencia del transformador, está muy lejos de los valores reales promedios de carga, por lo que se debe realizar una valoración, si es posible y conveniente la sustitución de los bancos de transformadores por otros de menor capacidad, para lograr ahorros energéticos y económicos.
6. Se evidencio a través de los cálculos la baja posibilidad de ocurrir la resonancia eléctrica en el Astillero DAMEX Servicio 380 V.
7. Se pudo a través del nivel de cortocircuito en la acometida del servicio DAMEX, S-380 V, calcular otros parámetros como son: El Rango de armónico para la resonancia, la Frecuencia Resonante, La posibilidad de la no ocurrencia de esta y el posible factor de

amplificación, todos determinantes, para la decisión y selección del tipo de equipo corrector.

8. Se evaluó mediante la norma IEEE-519-92, que los valores permisibles, están casi iguales a los valores promedios registrados de la tasa de distorsión armónica de corriente (THDi), sin embargo los valores individuales impares están por debajo de lo permitido; Además tener en cuenta que la aplicación de la norma se realiza a los valores registrados en el secundario del transformador, adoptando este como punto común de conexión (PCC), por lo que todavía tienen por medio, las impedancias de los devanados secundario y primario del transformador respectivamente, y por ende los valores de la tasa de distorsión armónica de corriente tiende a disminuir aún más, por lo que determinamos con todos los análisis y cálculos anteriores que el Astillero DAMEX en el servicio 380 V, no necesita filtro para atenuar las distorsiones armónicas de corriente. Además los picos o valores máximos no son representativos por los valores pequeños de corriente en que se manifiestan.
9. Se demuestra que la recuperación de la inversión para los tres casos es factible desde el punto de vista económico, ya que el periodo de amortización es menor de 3 años, para un proyecto que puede durar más de 10 años.
10. Los impactos ambientales del proyecto, aunque muy discreto, posibilitan el ahorro de más de 10 Toneladas Equivalentes de Combustible, una energía de 29 MWh/Año y por este concepto dejar de emitir a la atmosfera más de 22 Toneladas del gas contaminante CO<sub>2</sub>, lo que representa un beneficio global.
11. A nosotros como profesionales nos dio un nuevo enfoque de cómo analizar un diagnóstico de armónicos y poder aprovechar todas las opciones del instrumento de medición, así como los procedimientos de cálculos para cuantificar pérdidas energéticas a través de los armónicos.
12. El objetivo del trabajo se cumplió, ya que a través de este se podrá elegir el equipo corrector del factor de potencia para cada caso específico; Lo que permitirá disminuir las pérdidas energéticas y económicas, como una solución única y efectiva para resolver este problema, que durante años la entidad viene arrastrando.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.**

1. ENRIQUEZ Harper Gilberto (1980). Líneas de Transmisión y Redes de Distribución de Potencia Eléctrica. Ed. Limusa, Volumen I y II, México D.F.
2. ENRIQUEZ Harper Gilberto (1983). Estudio sobre Tensiones Transitorias en un Sistemas Eléctrico y Coordinación de protecciones. Volumen II, Ed. Limusa, México D.F.
3. E. Knowlton Archer (1956). Manual Standard del Ingeniero Electricista. Tomo I, Ed. Labor S.A., Barcelona, Madrid.
4. INDUSTRIAS UNIDAS, S.A. (IUSA). Catálogo de Alta tensión. Westinghouse, México D.F.
5. SIERRA Madrigal Víctor (1984). Manual Técnico de cables de energía. Ed. McGraw-Hill, México D.F.
6. WAYNE Beaty H. y G. Fink Donald (1996). Manual de Ingeniería Eléctrica Decimotercera edición, Ed. McGraw-Hill, México.
7. ZOPPETTI Judez Gaudencio (1981). Estaciones Transformadoras de Distribución. Ed. Gill, S.A., Barcelona, España.
8. ARMANDO Llamas, SALVADOR Acevedo (2014). Armónicas En Sistemas Eléctricos Industriales. Ed. Innovación, México.
9. JURADO Francisco (2005). Generación y Transporte de Energía Eléctrica. Ed. Koobeht International.
10. ABREU Augusto (2005). Calidad de la Potencia Eléctrica en Redes de Distribución. Ed. Enelven, Venezuela.
11. CARRILLO Leivin (2012). Calidad de La Potencia Eléctrica. Valledupar.
12. BARRERO Fermín (2002). Sistemas de Energía Eléctrica. Ed. Thompson, España.
13. CIVANTOS Ángel (2011). Definición y Estudio Basado En caso Practico, Minimizar Costo de Energía.
14. ESTIGARRIBIA Héctor (2007). Armónicos En líneas de Baja Tensión.
15. FELICE Eric (2001). Perturbaciones Armónicas.
16. Serra, J. (2009). Guía Técnica de Eficiencia Energética Eléctrica. España.
17. Zapata Oyarzun, Y. C. (2010). Análisis Electrónico de las Soluciones que Existen en Calidad de Energía Eléctrica y Eficiencia Energética, Trabajo de Grado, Valdivia - Chile.

# **ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS EN LA EMPRESA LÁCTEA SANTIAGO DE CUBA.**

Leyanis Pérez Bell,

**Yanet de la Fé González,**

**Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba.**

## **INTRODUCCION**

El análisis de pérdidas y ganancias es un proceso organizado y metódico que las empresas utilizan para comprender los factores que contribuyen a completar o ganar una venta, en contraposición a perder la oportunidad, requiere revisar los datos de ventas, entrevistar a los clientes y estudiar las prácticas organizativas, para ayudar a las empresas a entender los procesos de pensamiento y las motivaciones de los clientes.

En un entorno de crisis económica internacional, en medio de significativas limitaciones financieras internas, la economía cubana exige la búsqueda de nuevas vías para elevar la eficiencia empresarial, dentro de las cuales está la mejor utilización de los recursos. Las empresas, para el desarrollo de su actividad económica, dependen de un conjunto de factores de carácter indispensable que aseguren el cumplimiento de los objetivos y metas trazadas.

La conceptualización del Modelo Económico y Social Cubano de Desarrollo Socialista y las Bases para el Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social hasta 2030: Propuesta de Visión de la nación, ejes y sectores estratégicos, apuestan de manera fehaciente por la dimensión de crecimiento económico . Definen que la sostenibilidad del socialismo está asociada al desarrollo, que requiere ritmos y estructuras de crecimiento de la economía que aseguren prosperidad, equidad y justicia social en armonía con el medio ambiente, la preservación de los recursos naturales y el patrimonio de la nación.

La presente investigación se enmarca principalmente sobre el análisis de las pérdidas en la Empresa Láctea Santiago de Cuba y tiene como objetivo fundamental: analizar la pérdida contable alcanzada en el año 2021. La misma presenta limitaciones en el análisis de las pérdidas porque no aclara en qué aspectos sus prácticas de costos y venta tienen éxito y en cuáles necesitan mejorar. Sin un proceso formalizado, es difícil entender por qué el mismo enfoque de ventas funciona en algunos casos, pero no en otros, ya que no posee un procedimiento para analizar la pérdida obtenida.

## **DESARROLLO**

La Empresa Productos Lácteos es una Unidad Económica que desarrolla sus actividades con arreglo a un Plan y sobre la base de cálculo económico y dispone de autonomía operativa y de responsabilidad jurídica, funciona bajo la orientación y supervisión administrativa Grupo Empresarial de la Industria Alimentaria (GEIA) del Ministerio de La Industria Alimenticia.

La misma está clasificada como una entidad abierta por contar con varios establecimientos fuera de La Unidad Central, quedando compuesta en sus actividades productivas y de servicios. Está clasificada por su estructura en la Categoría II atendiendo al volumen de su producción y la complejidad de sus producciones.

La estructura organizativa funcional de la empresa expresa la posición de cada puesto dentro de la organización, como se agrupan estos en unidades organizativas y como fluye entre estas la autoridad formal. Este tipo de estructura resultan las más usadas en el sistema internacional.

Las empresas cubanas usan este tipo de estructura, y esta entidad no es la excepción. Con la actual estructura se evita lo que es conocido como “Operaciones Ilícitas” ya que está estructurada de forma que ningún departamento controle todos los registros contables relativos a sus propias operaciones, garantiza que ninguna persona controle todas las fases de una transacción.

La Empresa de Productos Lácteos Santiago de Cuba fue creada mediante Resolución No. 41 de fecha 26 de febrero del 2007 emitida por el Ministro de la Industria Alimenticia. Actualmente se subordina al Grupo Empresarial de la Industria Agroalimentaria como Órgano Superior de Dirección Empresarial (OSDE) creada mediante el Decreto Nro.47 de 16 de julio de 2021 publicado en la Gaceta Ordinaria Oficial No.85 de 29 de julio de 2021

**Visión:** “Somos el líder en la producción y comercialización del deleite en lácteos, que **Misión:** “Brindar a nuestros clientes el placer y la degustación de lácteos con alta calidad, mediante la más moderna tecnología y una fuerza de trabajo altamente calificada, que nos permite ofrecerle la opción de mejorar su salud y sus expectativas para obtener beneficios que se reviertan en el desarrollo económico del país.”

### **Desglose de los elementos del resultado económico**

La Empresa de Productos Lácteos Santiago de Cuba, dedicada a la producción y comercialización de productos alimenticios derivados de la leche, presenta su información contable financiera según lo establecido en la Norma Cubana de Contabilidad (NCC 1)

“Presentación de Estados Financieros” y otras resoluciones emitidas por los organismos rectores, las que se tomaron como punto de partida para la interpretación de los resultados en la investigación.

La investigación se desarrolló fundamentalmente tomando como base los elementos del estado de rendimiento financiero y los anexos asociados al resultado económico mostrado por la empresa como base informativa que sustentan la pérdida registrada en el año 2021.

Los análisis de pérdidas y ganancias ayudan a las empresas a entender los procesos de pensamiento y las motivaciones de los clientes. Revelan por qué un cliente eligió su producto o por qué optó por comprar a un competidor.

Teniendo en cuenta lo expresado en el Prólogo a las Normas Cubanas de Información Financiera de la Resolución No. 235-2005 relacionado con la presentación de los estados financieros , donde de manera resumida se expresa que la dirección de las entidades puede confeccionar estados financieros internos, empleando los criterios que estime más convenientes en relación con el proceso de toma de decisiones y para facilitar la comprensión de la investigación se realizó una presentación del Estado de rendimiento financiero y del Estado de situación de manera que tengan más expresión de corte financiero que contable, pero respetando los principios contables

Para comenzar con el análisis de la pérdida contable alcanzada por la empresa en el año 2021 se muestra el estado de rendimiento para evaluar y clasificar las principales partidas que incidieron en estos resultados. (**Ver anexo No. 1**)

Las partidas de mayor incidencia en los resultados negativos de la empresa fueron los costos de venta de la producción y el costo de venta de las mercancías, debido al incremento en los precios de las materias primas y materiales, en gran medida por la complejidad que desde 2019 como resultado de la epidemia de la Covid han experimentado los mercados con relación a la limitación en la venta de valores físicos de materias primas y el correspondiente incremento de los precios, que se complejiza más en Cuba como resultado del bloque económico y financiero y de la implementación del reordenamiento financiero llevado a cabo desde enero 2021 afectando tanto al Sector estatal como al privado.

Otra cuenta que incidió de manera negativa en el deterioro del resultado fue el gasto financiero, que incluye los gastos, relacionados con las operaciones financieras. En este caso por concepto de intereses bancarios ascendente a \$ 8 040 714.26 que se incurrieron porque la empresa se vio en la necesidad de solicitar préstamos bancarios (tres en total) para pagos corrientes, entre los

que se encuentran salarios, obligaciones con proveedores, situación que empeora el ciclo de vida de la empresa desde el punto de vista económico y financiero. De igual manera la cuenta de Otros gastos que incluyen los gastos de recuperación de desastres, gasto por pérdida de bienes, gastos de evento entre otros tienen un elevado monto en el año lo que conllevó también al resultado negativo obtenido en el año 2021 por la empresa.

Es importante señalar además que no se logró gestionar la diversificación de las ventas en un periodo oportuno para poder contrarrestar el incremento del costo y disminuir la pérdida bruta

Es importante analizar también el estado de situación para ambos años, ya que los gastos financieros como son fundamentalmente por el pago del interés de los préstamos inciden en el pasivo y por ende en el patrimonio de la empresa, además por la implicación que en la situación financiera de la empresa tiene operar con un patrimonio negativo. En los **anexos no. 2 y no. 3** se muestra la información para evaluar la situación financiera de la empresa en el año 2020 y 2021:

Se observa en el año 2021 que:

- ✓ En ninguna partida se observa relación adecuada entre el plan y el real lo que denota que o la planificación no se realizó según bases objetivas o no se tuvieron en cuenta los cambios estructurales en el orden macroeconómico.
- ✓ Existe una descapitalización al tener un patrimonio negativo, siendo los proveedores los que financian a la empresa, situación que se evalúa de muy desfavorable.
- ✓ Se incrementa al 100% la cuenta de cobros anticipados respecto al plan

Se observa en el año 2020 que:

- ✓ Existió mejor correspondencia entre el plan y el real, aunque tampoco existe adecuada correspondencia por la significativa desviación experimentada.
- ✓ De manera negativa la inversión estatal sólo se cumplió al 29.52%, incidiendo entre otros factores el incumplimiento en la cuenta de activos fijos.
- ✓ Se incrementó significativamente las cuentas por cobrar.

Una manera más sencilla y útil de analizar los estados financieros es complementando la presentación con su evaluación gráfica, de ahí la utilidad en el uso de este método.

Los gráficos no.1 y no. 2 exponen la representatividad de cada grupo del Estado de Situación durante los períodos analizados, resultando que la entidad posee una estructura de activos atípica pues a pesar de ser una empresa productora presenta mayor cantidad de activos circulantes que de activos fijos, situación motivada a que, por su objeto social definido, como se mostró en el capítulo 3 de esta investigación, también se encarga de comercializar sus producciones. En cuanto a sus pasivos está en correspondencia con la mayoría de las empresas del país donde se caracteriza el financiamiento ajeno a corto plazo con mayor presencia que al largo plazo. Gráficamente se corrobora el distanciamiento contable y financiero entre plan y real.

La finalidad de toda actividad empresarial es obtener el máximo de utilidad posible, y en orden de lograrlo, es necesario realizar un adecuado análisis económico, no solamente a través del estudio de la estructura financiera de la empresa a partir de los métodos horizontal y vertical, sino que es importante tener en cuenta el análisis de la rentabilidad o irrentabilidad para conocer si los recursos invertidos se están explotando adecuadamente y así en consecuencia proponer soluciones a las insuficiencias económicas y financieras que presentó la entidad, sobre todo en el año 2021 y que repercutirán en los siguientes períodos contables.

#### **Aplicación práctica del procedimiento.**

A continuación, se aplicará el procedimiento de forma práctica según lo definido en la propia investigación, para ello se proponen 5 pasos, tomando como referencia algunos encontrados en el sitio web Copyright 1library.co@2022.historia de las empresas. Los cuales se ajustaron teniendo en cuenta las características de la empresa.

#### **Paso 1. Recopilación de datos contables financieros condensados.**

Se realiza un análisis de la estructura financiera de las ventas, aplicando la técnica del análisis vertical, incluyendo además otras informaciones necesarias para la toma de decisiones, aplicando el método Hipotético – Deductivo, el cuál sirvió como vía para arribar a conclusiones a partir de la validación de la hipótesis y a través de los resultados obtenidos para demostrar experimentalmente su certeza, con un enfoque sistémico que se utilizó debido a las particularidades del empleo de las herramientas y técnicas de análisis económico, con el objetivo de lograr un análisis completo de la situación de la empresa. **Ver tabla 1.**

El costo de venta de la producción representa el 62.04% y el costo de venta de la mercancía el 40.69% del valor de las ventas netas en el año 2021, incidiendo de forma negativa en el resultado ya que se alcanzó una pérdida bruta en ventas de \$ 13 459 843.65, debido fundamentalmente al incremento de los precios de los productos y las materias prima y

materiales y la insuficiente gestión de venta de productos y mercancías con materias primas nacionales y de aceptación por la población y otros clientes nacionales y extranjeros , aunque es conocido el excesivo nivel de centralización a nivel de país en la fijación de precios , así como la complejidad en la búsqueda de nuevos mercados.

La Pérdida en Operaciones en el 2021 constituye un 9.34% de las ventas netas. La causa de esto está dada por la Pérdida Bruta en Ventas cuyas causas fueron explicadas anteriormente. Los Gastos Generales y de Administración representa un 2.30%.

Aunque de manera positiva se observa un incremento de otros ingresos no provenientes de operaciones, la situación sigue siendo desfavorable ya que éstos sólo representan el 0,73 % de las ventas netas alcanzadas en el periodo, además los gastos en este nivel de utilidad o pérdida son más representativos que los ingresos y los resultados de los otros conceptos anteriores son muy negativos, La Pérdida Antes de Impuesto representó en el 2021 un (15.28%) del total de las Ventas netas.

Los Gastos Financieros aumentaron en (38.66%), pues desde el 2015 aumentó la cuenta Préstamos Recibidos y otras Operaciones Crediticias por Pagar, aumentando en correspondencia, los gastos de interés. En los contratos establecidos entre la empresa y el Banco se señala que la entidad debe pagar un 5% de interés y un 4% por mora. La disminución en la cuenta Otros Gastos se debe a la utilización más eficiente de los recursos relacionados con los gastos de comedores y cafeterías, lo cual se evidencia en la disminución de la cuenta de Alimentos, perteneciente al Inventario.

## **Paso 2. Cálculo y análisis de la rentabilidad integral.**

Al analizar la rentabilidad económica y la rentabilidad financiera se establece una relación entre ambas perspectivas que converge en la rentabilidad integral. En definitiva, toda decisión de gestión, inversión y financiación que tome la empresa o que le afecte por influencia del entorno tendrá un impacto directo sobre la rentabilidad de los recursos propios.

En el caso de esta investigación y teniendo en cuenta los diferentes niveles de resultados se propone el análisis de la Rentabilidad Económica a través de los siguientes niveles de actividad: **Ver tabla 2.**

Además se realiza un resumen del cálculo de la rentabilidad integral donde se evidencian los resultados negativos obtenidos por la empresa al cierre del Ejercicio Contable del año 2021. **Ver tabla 3.**

En el caso de la Rentabilidad Financiera el rendimiento sobre el capital contable es un indicador fundamental que determina en qué medida la empresa ha generado rendimientos sobre los fondos que el Estado ha confiado a su administración. **Ver tabla 4.**

En esta descomposición el producto del margen de utilidades y la rotación de activos constituyen una expresión de la rentabilidad económica, el margen de beneficio sobre ventas queda aislado de la estructura financiera, cobrando mayor significación que en la expresión anterior, y el apalancamiento ya no equivale simplemente a un indicativo de endeudamiento.

Mientras que la rotación mantiene una evolución errática, la pérdida que permite no obtener rentabilidad en el año 2021, se explica por la disminución en el margen. Tal como se constató en el análisis de la cuenta de resultados, la evolución errática con tendencia a disminución, tanto de las ventas como del costo de venta, generan que el margen bruto comercial disminuya en valores absolutos si bien en términos relativos aumente ligeramente. El gasto de personal y los otros gastos de explotación presentan una tendencia negativa para la empresa que, junto a un incremento significativo del gasto financiero, provocan fundamentalmente, la disminución del beneficio generando pérdidas en el año 2021.

### **Paso 3. Definir los resultados deseados**

Se tomará como base el cálculo de indicadores relacionados con la Visión de marketing y en el Rendimiento de los trabajadores, teniendo en cuenta que la empresa utiliza indicadores para evaluar la actividad de manera global. Estos indicadores fueron tomados de la investigación desarrollada por una de las profesoras de la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales de la Universidad de Oriente, la misma muestra indicadores financieros para medir el capital intelectual en una empresa, la investigación lleva por título: Sistema de indicadores de medición del capital intelectual, de la autora: MSc. Yanet de la Fé González. Dichos indicadores se adecuaron a las características de la empresa donde se realiza la investigación. **Ver Anexo 4**

### **Paso 4. Realizar entrevistas informales a clientes y proveedores**

Tomando como base la visión de Marketing fijada en el paso 3 se propone como una técnica la aplicación de entrevistas informales por parte de especialistas designados por la empresa, sobre todo del área comercial con el objetivo de realizar la venta o la compra mediante un conocimiento exhaustivo del cliente y el proveedor y que esta relación no sólo abarque la conciliación de facturas. Al saber lo que quiere y necesita, cómo se siente con respecto al producto que se le intenta vender o comprar y su situación específica, tiene más información que puede utilizar para establecer contratos exitosos. **Ver Anexo 5**

### **Paso 5. Actuar en función de los resultados**

Descompuesta así la rentabilidad económica como producto de dos factores económicos, margen y rotación, puede verse como consecuencia de la eficiencia operativa (técnico-organizativa) de la empresa (aumento de rotación y reducción de costos) y del grado de libertad

en la fijación de precios. El incremento de la rentabilidad pasará, consecuentemente, por alguna de las siguientes situaciones:

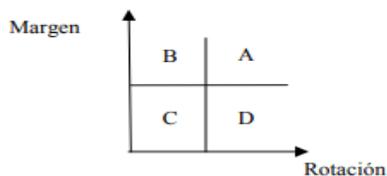
1. Aumentar el margen, permaneciendo constante la rotación.
2. Aumentar la rotación, permaneciendo constante el margen.
3. Aumentar las dos magnitudes, o sólo una de ellas siempre que la disminución en la otra no ocasione que el producto arroje una tasa de rentabilidad menor.

Los resultados de calcular el margen y la rotación pueden ser representados a través de un gráfico donde se agrupa a las empresas en cuatro cuadrantes. La empresa en cuestión está ubicada en el cuadrante C, al presentar bajo margen y rotación.

**Gráfico no. 3. Posicionamiento en margen y rotación.**

- A. Alto margen y alta rotación.
- B. Alto margen y baja rotación
- C. Bajo margen y baja rotación
- D. Bajo margen y alta rotación

**Luego del análisis realizado se proponen las siguientes acciones**



1. Perfeccionar el proceso de planificación en todos sus niveles en el ámbito global y particular y en el horizonte a corto y largo plazo siempre que el nivel de descentralización lo permita
2. Aumentar la producción de surtidos que ayuden a solventar la pérdida que generan algunos productos aunque se conoce por información de los especialistas de la empresa que el 80% de las producciones tienen destino canasta básica, que los precios están centralizados y que como antes se había mencionado el yogurt de soya representa el 60% de las producciones y no cuenta con una ficha planificada en los niveles de actividad y que si dichos productos generan pérdidas para la industria no se tiene la posibilidad de producir alguna que solvete la pérdida generada ya que el 85% de las producciones están comprometidas bajo las pérdidas por concepto de precio de venta por debajo de su costo real.
3. Trabajar en función de disminuir su inventario de productos terminados a partir de un incremento de las ventas, debido a que no resulta aconsejable que disminuya su inventario de materias primas por los problemas de abastecimiento a los cuales se enfrenta y que podrían provocar la paralización de la producción.
4. Lograr que se autorice la venta de los productos a la población por ficha de costo, manteniendo a precio mínimo los productos destinados al SAF, para no afectar este

sistema y poder solventar la pérdida que generen los productos destinados a ese sector específico.

5. Continuar en la revisión de las plantillas de cada una de las UEB mediante estudio de carga de capacidad.
6. Lograr que se realicen análisis de la situación tecnológica que posee la industria y planificar los procesos de mantenimiento de cada una de las plantas.

## **Conclusiones**

Después de la investigación realizada podemos concluir lo siguiente:

1. Las razones de descomposición de costos indican la distribución de los principales costos y dónde debe fortalecerse el control por parte de la dirección. En este caso los Gastos de Salario representan un valor significativo del Valor de la Producción.
2. La utilidad del cálculo de la rentabilidad en la empresa mediante la descomposición lineal permitió descubrir los factores claves relacionados, que intervienen en el cálculo de la rentabilidad económica y financiera.
3. No existe en el período analizado una forma adecuada de cuantificar la capacidad instalada y el grado de su utilización, limitando el cálculo y la interpretación de indicadores asociados.

## **Recomendaciones**

La dirección general, y económica en particular, de la empresa en su futuro accionar, debe valorar las siguientes recomendaciones en aras de mejorar los resultados económicos y cumplir con el rol social que le corresponde:

1. Calcular la rentabilidad económica y la rentabilidad financiera mediante la descomposición lineal para descubrir las causas de los resultados obtenidos y establecer un plan de medidas correctivas.
2. Efectuar el análisis de la capacidad instalada, considerando su utilización o subutilización, y emprender las acciones pertinentes para lograr un pleno empleo de la misma.

3. Buscar el equilibrio entre modificar precios permisibles, mejorar capacidad instalada y reducción de costos utilizando análisis detallados como se muestra en la investigación.
4. Sustituir en la medida de lo posible con productos nacionales algunas materias primas y materiales.

## Bibliografía

- ✓ Brigham y Houston, Análisis financiero como un instrumento disponible para la gerencia, 2006
- ✓ de la Fé González, Yanet : “Sistema de indicadores de medición del capital intelectual”, Universidad de Oriente, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales (2012).
- ✓ Del Toro Río, José Carlos: “Herramientas para el Contador”, Centro de Estudios Contables, Financieros y de Seguro (CECOFIS) 2004.
- ✓ Hernández, Análisis Financiero en una Empresa, 2005
- ✓ Rubio, Aplicación de un conjunto de técnicas e instrumentos analíticos a los estados financieros, 2007.
- ✓ Van Horne, Cálculo de los indicadores financieros, 2003
- ✓ <http://www.contabilidad.tk/node/162>
- ✓ <http://www.expansion.com/diccionario-economico/analisis-economico.html>
- ✓ <http://www.opciones.cu/cuba/2014-08-25/el-analisis-economico-financiero-herramientapara-la-gestion-empresarial/>
- ✓ <http://www.aulafacil.com/cursos/127011/empresa/contabilidad/contabilidad-de-costes/puntode-equilibrio>
- ✓ <https://es.scribd.com/doc/2941779/Analisis-Vertical-y-Analisis-Horizontal-AdministracionContabilidad>
- ✓ <http://es.slideshare.net/jcfdezmx2/calculo-del-punto-de-equilibrio-presentation>
- ✓ [http://www.ecured.cu/M%C3%A9todo\\_Raz%C3%B3n\\_financiera](http://www.ecured.cu/M%C3%A9todo_Raz%C3%B3n_financiera)
- ✓ [www.crecenegocios.com/la-rentabilidad-de-una-empresa/](http://www.crecenegocios.com/la-rentabilidad-de-una-empresa/)
- ✓ <https://prezi.com/6ccjfoih.../indicadores-para-el-analisis-de-rentabilidad/>
- ✓ [www.8 claves para analizar tu cuenta de resultados%20%20 Blog de Anfix.htm](http://www.8clavesparaanalizar.com/8-claves-para-analizar-tu-cuenta-de-resultados-2020-Blog-de-Anfix.htm)
- ✓ [https://Pérdidas en el capital contable por un desempeño deficiente de la misión de la empresa.htm](https://www.8clavesparaanalizar.com/8-claves-para-analizar-tu-cuenta-de-resultados-2020-Blog-de-Anfix.htm)
- ✓ Revista [www.tecnicacontableyfinanciera.es](http://www.tecnicacontableyfinanciera.es)
- ✓ Copyright 1library.co@2022.historia de las empresas.

**Anexos**

**Anexo No.1 Estado de Rendimiento financiero Condensado 2021**

Ventas netas	\$ 492 488 950.41
Menos: Costo de venta de producción y mercancía	505 948 794.06
Utilidad o pérdida bruta en ventas	(13 459 843.65)
Menos: Gastos de distribución y ventas	19 819 339.35
Utilidad o pérdida neta en ventas	(33 279 183.00)
Menos: Gastos generales y de administración	11 347 618.39
Gastos de operaciones	1 359 878.98
Utilidad o pérdida en operaciones	(45 986 680.37)
Menos: Gasto financiero	8 040 714.26
Otros gastos	24 946 716.51
Más: Ingreso financiero	91 355.11
Otros ingresos	3 613 566.24
Utilidad o pérdida antes del impuesto	<u>(75 269 189.79)</u>

**Estado de Rendimiento de financiero Condensado 2020**

Ventas netas	\$86.737.786.34
Menos: Costo de venta de producción y mercancía	74 004 997.54
Utilidad o pérdida bruta en ventas	12 732 788.80
Menos: Gastos de distribución y ventas	2 867 846.69
Utilidad o pérdida neta en ventas	9 864 942.11
Menos: Gastos generales y de administración	2 872 418.16
Gastos de operaciones	212 657.17
Utilidad o pérdida en operaciones	6 779 866.78
Menos: Gasto financiero	3 683 269.13
Otros gastos	902 297.48
Más: Ingreso financiero	232 289.15
Otros ingresos	990 965.34
Utilidad o pérdida antes del impuesto	78 837.76

**Anexo No. 2 Estado de Situación condensado 2021**

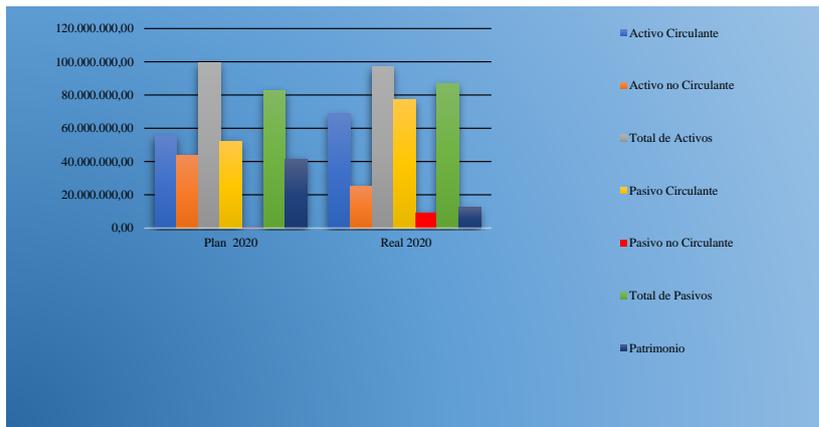
	<b>Plan</b>	<b>Real</b>
<b>Activo Circulante</b>		
Efectivo caja y banco	\$ 9,026,350.00	\$ 18, 848, 919.34
Cuentas por cobrar a corto plazo	29, 226, 200.00	106, 502, 945.95
Pagos anticipados	378 700.00	1,167,582.45
Adeudos	4, 439, 220.00	26, 310, 912.18
Inventario	15, 885, 834.10	38, 945, 323.12
<b>Activo no circulante</b>		
Activos Fijos	28, 136, 000.00	40, 618, 240.25
Otros activos	15, 508, 800.00	27, 124, 149.33
<b>TOTAL DE ACTIVOS</b>	<b><u>\$ 102, 601, 104.10</u></b>	<b><u>\$ 259, 518, 072.62</u></b>
<b>Pasivo</b>		
<b>Pasivo Circulante</b>	52, 367, 721.40	314, 139, 566.98

Cuentas por Pagar	29,370,000.00	277,609,652.08
Obligaciones	333,470.00	2,778,001.41
Cobro Anticipado		6,863,325.34
Otros pasivos circulantes	22,664,251.4	26,888,588.15
<b>Pasivo no circulante</b>		
Otros Pasivos	382,100.00	15,646,999.16
<b>Total de Pasivos</b>	<b>52 749 821.40</b>	<b>329,786,566.14</b>
<b>Patrimonio</b>		
Inversión Estatal	29,342,718.59	11,283,185.47
Cuenta a pago de las utilidades	-	6,282,489.20
Resultado del período	20,247,500.06	(75,269,489.79)
<b>TOTAL DE PATRIMONIO NETO</b>	49,851,282.70	(70,268,493.52)
<b>TOTAL DE PASIVO Y PATRIMONIO</b>	<b><u>\$ 102,601,104.10</u></b>	<b><u>\$ 259,518,072.62</u></b>

<b>2020</b>	<b>Plan</b>	<b>Real</b>
<b>Activo Circulante</b>		
Efectivo caja y banco	\$ 9,026,350.00	\$ 2,691,410.65
Cuentas por cobrar a corto plazo	29,226,200.00	49,505,295.07
Pagos anticipados	378,700.00	665,336.28
Adeudos	4,439,220.00	6,603,260.74
Inventario	12,505,144.38	9,490,920.63
<b>Activo no circulante</b>		
Activos Fijos	28,136,000.00	16,368,877.46
Otros activos	15,508,800.00	11,477,259.28
<b>TOTAL DE ACTIVOS</b>	<b><u>\$ 99,220,414.38</u></b>	<b><u>\$ 96,802,360.11</u></b>
<b>Pasivo Circulante</b>		
Cuentas por Pagar	29,370,000.00	30,690,045.08
Obligaciones	333,470.00	2,313,070.77

Cobro Anticipado	-	8,953,657.84
Otros pasivos circulantes	22, 664, 251.40	35,338,553.91
<b>Pasivo no circulante</b>		
Otros Pasivos	382, 100.00	9, 360, 634.48
<b>Total de Pasivos</b>	<b>\$ 52, 749, 821.40</b>	<b>\$ 86, 655, 962.08</b>
<b>Patrimonio</b>		
Inversión Estatal	41, 463, 228.93	12, 242, 604. 52
Reserva para Contingencias	\$261,064.05	\$51,079.90
Cuenta a pago de las utilidades	-	2, 226, 124.15
Resultado del período	4, 746, 300.00	78, 837.76
<b>TOTAL DE PATRIMONIO NETO</b>	<b>46, 470, 592.98</b>	<b>10, 146, 398.03</b>
<b>TOTAL DE PASIVO Y PATRIMONIO</b>	<b><u>\$ \$99,220,414.38</u></b>	<b><u>\$ \$96,802,360.11</u></b>

**Gráfico No 1: Estado de Situación 2020.**



**Gráfico No.2: Estado de Situación 2021.**



**Tabla No. 1 Análisis Vertical de la utilidad o pérdida bruta en ventas.UM. Pesos.**

Indicadores	2020	2021	2020 %	2021 %
Ventas Brutas	\$ 69 411 268.95	\$472 390 189.27		
Subvenciones	18 758 443.47	20 098 761.14		
Menos: Impuesto sobre las ventas	1 431 926.08	-		
<b>Ventas netas</b>	<b>86 737 786.34</b>	<b>492 488 950.41</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
Menos: Costo de venta de producción	56 002 506.57	305 538 078.46	64.56	62.04
Costo de venta de mercancía	18 002 490.97	200 410 715.60	20.75	40.69

<b>Utilidad o pérdida bruta en ventas</b>	<b>12 732 788.80</b>	<b>(13 459 843.65)</b>	<b>14.69</b>	<b>2.73</b>
Menos: Gastos de distribución y ventas	2 867 846.69	19 819 339.35	3.31	4.02
<b>Utilidad o pérdida neta en ventas</b>	<b>9 864 942.11</b>	<b>(33 279 183.00)</b>	<b>11.37</b>	<b>6.76</b>
Menos: Gastos generales y de administración	2 872 418.16	11 347 618.39	3.31	2.30
Gastos de operaciones	212 657.17	1 359 878.98	0.24	0.28
<b>Utilidad o pérdida en operaciones</b>	<b>6 779 866.78</b>	<b>(45 986 680.37)</b>	<b>7.82</b>	<b>9.34</b>
Menos: Gasto financiero	3 683 269.13	8 040 714.26	4.25	1.63
Financiamiento entregado a la OSDE	175 179.02	821 850.00	0.20	0.17
Gasto por pérdidas	174 071.35	4 321 867.18	0.20	0.88
Gasto por faltante de bienes	471.50	833 997 .88	0.00	0.17
Otros impuestos tasas y contribuciones	2 699 131.14	14 072 816.76	3.11	2.86
Otros gastos	902 297.48	3 204 002.48	1.04	0.65
Gasto de eventos	-	155 672.75	-	0.03
Gasto de recuperación de desastre	289 864.39	1 536 509.46	0.33	0.31
Más: Ingreso financiero	232 289.15	91 355.11	0.27	0.18
Ingreso por sobrante de bienes	0.50	-	0.00	-
Otros ingresos	990 965.34	3 613 566.24	1.14	0.73
<b>Utilidad o pérdida antes del impuesto</b>	<b>78 837.76</b>	<b>(75 269 189.79)</b>	<b>0.09</b>	<b>15.28</b>

**Tabla no. 2 Análisis de la Rentabilidad Económica**

<b>Nivel de análisis</b>	<b>Nivel de utilidad</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>
1	Utilidad o pérdida bruta en ventas	\$ 12 732 788.80	\$ (13 459 843.65)
2	Utilidad o pérdida neta en ventas	9 864 942.11	(33 179 183.00)
3	Utilidad o pérdida en operaciones	6 779 866.78	(45 986 680.37)
4	Utilidad o pérdida antes de impuestos	78 837.76	(75 269 189.79)
Ventas netas		86 737 786.34	492 488 950.41
Margen de utilidad bruta en ventas		0.15	0.03

Margen de utilidad neta en ventas	0.11	0.07
Margen de utilidad en operaciones	0.08	0.09
Margen de utilidad antes de impuestos	0.00	0.15
<b>Activos totales</b>	<b><u>\$ 96 802 360.11</u></b>	<b><u>\$ 259, 518, 072.62</u></b>
<b>Rotación de activos (Ventas netas entre activos totales)</b>	<b>0.90 veces</b>	<b>1.90 veces</b>

**Tabla no. 3 Resumen del Cálculo de la Rentabilidad Integral.**

	Rentabilidad Económica		Rentabilidad Financiera	
	2020	2021	2020	2021
<b>Nivel 1</b>	\$ 0.13	\$ -0.05	\$ 0.14	\$ -1.32
<b>Nivel 2</b>	0.10	-0.13	0.49	-3.07
<b>Nivel 3</b>	0.07	-0.17	0.63	-3.95
<b>Nivel 4</b>	0.00	-0.29	1.05	-6.58

**Tabla no. 4 Análisis de la Rentabilidad Financiera**

Nivel de análisis	Nivel de utilidad	2020	2021
1	Utilidad o pérdida bruta en ventas	\$ 12 732 788.80	\$ (13 459 843.65)
2	Utilidad o pérdida neta en ventas	9 864 942.11	(33 179 183.00)
3	Utilidad o pérdida en operaciones	6 779 866.78	(45 986 680.37)
4	Utilidad o pérdida antes de impuestos	78 837.76	(75 269 189.79)
Ventas netas		86 737 786.34	492 488 950.41
Margen de utilidad bruta en ventas		\$ 0.15	\$ 0.03
Margen de utilidad neta en ventas		0.11	0.07
Margen de utilidad en operaciones		0.08	0.09
Margen de utilidad antes de impuestos		0.00	0.15
<b>Activos totales</b>		<b><u>\$ 96 802 360.11</u></b>	<b><u>\$ 259, 518, 072.62</u></b>
<b>Rotación de activos (Ventas netas entre activos totales)</b>		<b>0.90 veces</b>	<b>1.90 veces</b>

#### Anexo No. 4

##### 1. Visión de marketing

- ✓ **Indicador:** Incremento de ventas total del grupo empresarial

$$\text{Fórmula} = \frac{\text{Incremento de las ventas}}{\text{Ventas totales del grupo empresarial}} \times 100$$

**Interpretación:** Analiza la evolución del mercado, lo que es básico para formular las políticas comerciales a largo plazo y la composición de la cartera de productos de la Empresa.

- ✓ **Indicador:** Éxito de las ventas en relación a las del grupo empresarial

$$\text{Fórmula} = \frac{\text{Ventas de la empresa}}{\text{Ventas totales del grupo empresarial}} \times 100$$

**Interpretación:** Mide el éxito alcanzado en el grupo empresarial, cuanto mayor sea, más será la aceptación de sus productos. Es importante identificar el grupo empresarial al que se dirige la empresa.

- ✓ **Indicador:** Distancia de las ventas en relación al competidor ideal.

$$\text{Fórmula} = \frac{\text{Ventas de la empresa}}{\text{Ventas del competidor líder}} \times 100$$

**Interpretación:** Mide la distancia de la empresa con relación al líder del grupo empresarial. Su evolución permite controlar el mantenimiento de la posición de la empresa en el grupo empresarial.

- ✓ **Indicador:** Grado de conocimiento del producto.

$$\text{Fórmula} = \frac{\text{Clientes potenciales que conocen el producto}}{\text{Ventas totales del mercado}} \times 100$$

**Interpretación:** Estima el grado de conocimiento que tiene el mercado del producto. Un valor elevado de esta razón posiciona favorablemente a la empresa para captar nuevos clientes, si responde a una buena reputación.

- ✓ **Indicador:** Grado de aceptación del producto

$$\text{Fórmula} = \frac{\text{Clientes que compran el producto}}{\text{Clientes que conocen el producto}}$$

**Interpretación:** Evalúa el grado de aceptación del producto por los clientes en relación con la competencia y sintetiza la valoración del mercado sobre los atributos del producto (precio, calidad y diseño) en comparación con otras alternativas. Cuando la tasa de éxito es elevada interesan acciones comerciales que incrementen la notoriedad.

- ✓ **Indicador:** Gastos incurridos en la actividad de ventas.

$$\text{Fórmula} = \frac{\text{Gastos de venta}}{\text{Ventas totales}}$$

**Interpretación:** Calcula el importe de los gastos incurridos en la actividad de ventas, por cada peso vendido.

- ✓ **Indicador:** Estabilidad de las ventas en el mercado.

$$\text{Fórmula} = \frac{\text{Venta de los seis meses mas altos}}{\text{Ventas del año}} \times 100$$

**Interpretación:** El mantenimiento de unas ventas estables permite en general, utilizar los recursos disponibles más eficientemente. Por ello, el control de esta razón posibilita medir el grado de éxito de la empresa en alcanzar este objetivo.

✓ **Indicador:** Producción a Ventas.

$$\text{Fórmula} = \frac{\text{Valor de las cantidades producidas}}{\text{Valor de las cantidades vendidas}}$$

**Interpretación:** Mide la relación entre producción y venta, este permite identificar problemas en cuanto a la adecuación de la capacidad de producción a las exigencias del mercado.

✓ **Indicador:** % calidad de la producción.

$$\text{Fórmula} = \frac{\text{Producción rechazada}}{\text{Producción total}} \times 100$$

**Interpretación:** La calidad constituye un requisito básico en las empresas, el no cumplir con las especificaciones requeridas origina costos adicionales y deteriora la imagen en el mercado. Un valor reducido de este cociente aproxima a la empresa al objetivo de cero defectos, que sostiene que hacerlo bien la primera vez es la alternativa más económica pues se ahorran inventarios, inspecciones, reproceso, desechos y reclamaciones de clientes.

✓ **Indicador:** Satisfacción del cliente

$$\text{Fórmula} = \frac{\text{Clientes que repiten la compra}}{\text{Clientes que compran el producto}} \times 100$$

**Interpretación:** Mide la satisfacción de los clientes de la empresa. Una tasa de fidelidad elevada es señal de una buena imagen comparativa de sus productos en el mercado.

✓ **Indicador:** Frecuencia de los pedidos

$$\text{Fórmula} = \frac{\text{Importe de pedidos pendientes de satisfacer}}{\text{Ventas medias diarias o mensuales}}$$

**Interpretación:** Expresa el número de días o de meses de venta que se tienen contratados. Da un margen de seguridad para la continuidad de las operaciones. Esta razón es aplicable especialmente a empresas que producen bajo pedido.

✓ **Indicador:** Tasa de captación de clientes

$$\text{Fórmula} = \frac{\text{Ventas a clientes nuevos}}{\text{Ventas totales}}$$

**Interpretación:** Calcula la tasa de captación de nuevos clientes. Un cliente puede considerarse como nuevo si se ha incorporado a la cartera de la empresa en los últimos doce meses.

✓ **Indicador:** Precio tarifa a precio real

$$\text{Fórmula} = \frac{\text{Facturación real}}{\text{Facturación real a precio de tarifa}}$$

**Interpretación:** Resume la política de descuentos aplicados por la empresa sobre precios de tarifas. Es conveniente que se acerque lo más posible a la unidad.

✓ **Indicador:** Proporción de proveedores

$$\text{Fórmula} = \frac{\text{Compras a proveedores exclusivos}}{\text{Compras totales}} \times 100$$

**Interpretación:** Valora el riesgo de no disponer de proveedores alternativos.

✓ **Indicador:** Empresa a Proveedor

$$\text{Fórmula} = \frac{\text{Sugerencias recibidas}}{\text{Pedidos totales}} \times 100$$

**Interpretación:** Evalúa la relación de la empresa con sus proveedores en lo que se refiere a la capacidad y disponibilidad de estos, para formular recomendaciones sobre las especificaciones recibidas en la fase de petición de ofertas. Las sugerencias de los proveedores pueden mejorar los procesos de compra y ayudar a mejorar la calidad de las especificaciones para procesos ulteriores.

✓ **Indicador:** % incumplimiento de la entrega.

$$\text{Fórmula} = \frac{\text{Valor de los pedidos pendientes}}{\text{Valor de las compras}} \times 100$$

**Interpretación:** Calcula el porcentaje de las compras en el que se incumple el plazo de entrega negociado y mide un aspecto de la calidad del servicio de los proveedores.

✓ **Indicador:** Pedidos inmediatos a pedidos totales

$$\text{Fórmula} = \frac{\text{Pedidos inmediatos}}{\text{Pedidos totales}} \times 100$$

**Interpretación:** Los pedidos inmediatos, además de indicar una falta de planificación y coordinación entre áreas implican habitualmente un costo mayor.

✓ **Indicador:** Días promedio de entrega

$$\text{Fórmula} = \frac{\text{Valor de los pedidos pendientes}}{\text{Promedio diario de Compras}}$$

**Interpretación:** Estima un promedio de los días que emplean los proveedores en servir los pedidos

✓ **Indicador:** Proporción de las compras

$$\text{Fórmula} = \frac{\text{Valor de devoluciones a los proveedores}}{\text{Valor de las compras}} \times 100$$

**Interpretación:** Determina la proporción de las compras que no cumplen especificaciones, siendo deseable que tienda a cero.

✓ **Indicador:** Renovación de las fuentes de suministros

$$\text{Fórmula} = \frac{\text{Compras a proveedores nuevos}}{\text{Compras totales}} \times 100$$

**Interpretación:** Permite comprobar el grado de renovación de las fuentes de suministros de la empresa. Con ello se pretende evitar la pertinencia en la adjudicación a los mismos proveedores y medir el éxito del área de compras en la localización de nuevos suministradores competitivos.

Para el cálculo de estos indicadores financieros cuantitativos propuestos se toma la información que aparece en los Estados Financieros de la empresa.

2. Rendimiento de los trabajadores

✓ **Indicador:** % de evolución de los costos salariales

$$\text{Fórmula} = \frac{\text{Total Gastos de Personal}}{\text{Plantilla Media}} \times 100$$

**Interpretación:** Ofrece una síntesis para valorar la evolución de los costos salariales. Resulta de interés controlar su evolución en el tiempo y compararlo con los valores de las empresas del sector, en particular para determinadas categorías y actividades que se apoyan en el personal técnico especializado.

✓ **Indicador:** % de dispersión de los salarios extremos

$$\text{Fórmula} = \frac{\text{Salario más alto}}{\text{Salario más bajo}} \times 100$$

**Interpretación:** Cuantifica la dispersión máxima entre los salarios extremos. Su control posibilita identificar desequilibrios en la estructura retributiva de la empresa. Suele aplicarse sólo al personal de plantilla.

✓ **Indicador:** % de ausencias

$$\text{Fórmula} = \frac{\text{Horas de ausencia}}{\text{Total horas de trabajo}} \times 100$$

**Interpretación:** Aunque esta relación debe ser la menor posible, siempre presentará un valor no nulo debido a la ausencia por enfermedad. Es un indicador del clima laboral.

✓ **Indicador:** % de integración de la plantilla

$$\text{Fórmula} = \frac{\text{Horas de retraso}}{\text{Total horas de trabajo}} \times 100$$

**Interpretación:** Este indicador muestra la integración de la plantilla en el proyecto empresarial.

✓ **Indicador:** % de accidentes laborales

$$\text{Fórmula} = \frac{\text{Número de accidentes laborales}}{\text{Plantilla Total}} \times 100$$

**Interpretación:** Mide el número de accidentes por cada 100 trabajadores para el período de cálculo.

#### Anexo No. 5 Entrevista a Clientes

<b>Entrevista a Clientes. Empresa Láctea Santiago de Cuba.</b>	
<b>Producto Helado</b>	
<b>1</b>	¿Cómo se enteró de nuestras producciones y ventas?
<b>2</b>	¿Qué busca usted cuando hace una compra del producto Helado?
<b>3</b>	¿Qué le interesó del producto Helado?
<b>4</b>	¿Cuáles eran sus principales prioridades como cliente potencial?
<b>5</b>	¿Cómo toma su empresa sus decisiones de compra?
<b>6</b>	¿Cómo fue su experiencia con el departamento comercial?
<b>7</b>	¿Cómo podríamos haber mejorado su experiencia?
<b>8</b>	¿Cómo compararía nuestra empresa con otras de la provincia y del país?

9	¿Está satisfecho con la calidad del Helado?
10	¿Qué cualidades le gustan de su actual proveedor?
11	¿Qué le gustaría mejorar de su actual proveedor?
12	¿Qué es lo más importante para usted a la hora de decidir una compra?

**Propuesta de material para la fabricación del impelente de la bomba centrífuga de la máquina Rotativa POG-90 del Área de Impresión, de la UEB Ediciones Caribe en Santiago de Cuba.**

*Proposal of material for the manufacture of the impeller of the centrifugal pump of the Rotary machine POG-90 of the Printing Area, of the UEB Ediciones Caribe in Santiago de Cuba*

Nombres y apellidos. Ing. Marcos Antonio Linares Herrera, MSc. Armando Charón Hechavarría<sup>1</sup>, MSc. Mercedes de la Caridad Vinent Callis<sup>2</sup>, MSc. Roberto Barrabeitg Au<sup>3</sup>, MSc. Pedro Márquez Rivas<sup>4</sup>.

1Departamento Manufactura y Materiales, Universidad de Oriente, Cuba, charon@uo.edu.cu,

2Manufactura y Materiales, Universidad de Oriente, Cuba, mer@uo.edu.cu,

3 Manufactura y Materiales, Universidad de Oriente, Cuba, barrabeitg@uo.edu.cu, 0000-0001-9996-4904

4 Manufactura y Materiales, Universidad de Oriente, Cuba, pedro@uo.edu.cu

**INTRODUCCIÓN.**

Para una empresa resulta de significativa importancia alcanzar el máximo rendimiento posible al menor costo y, al mismo tiempo, cumplir con los requisitos que generen calidad, ya sea del producto o del servicio a ofrecerse. Por ello siempre se hace necesario considerar como una de sus prioridades: la protección a las interrupciones, pues con ello se genera paradas de procesos, tiempo de inactividad, reducción del rendimiento, pérdidas e insatisfacciones.

Si se quiere potenciar la efectividad de cualquier empresa se debe tener en cuenta los factores asociados a la producción y al mejoramiento de su eficiencia, de ahí que el trabajo se censure el incumplimiento de producción que presenta la UEB Ediciones Caribe con ubicación en la provincia Santiago de Cuba debido a las fallas que presenta la bomba centrífuga, la cual es la encargada de bombear la sustancia de trabajo de la máquina Rotativa POG-90 siendo una

mezcla de agua y  $H_3PO_4$  (ácido fosfórico) con una proporción de 1L a 30 ml por cada un litro de agua; se le hecha 30 ml de ácido fosfórico esto mantiene el pH de la mezcla de 5 a 6 estando en el rango establecido.

El proceso de selección de los materiales en cualquier equipo o componente, es una tarea, de alta complejidad en el caso de las bombas, de no hacerse la correcta selección del material, provoca roturas, permitieron realizar la investigación para redimensionar el accionar y la búsqueda de soluciones, siendo de vital importancia.

El *problema científico* está enmarcado en el deterioro prematuro del impelente de

la bomba centrífuga de la máquina Rotativa POG-90, a partir de sus salidas frecuentes

de servicio.

Se propone como *objetivo* seleccionar un material para la fabricación del impelente de la bomba centrífuga de la máquina Rotativa POG-90, que sustituya al original de importación y tenga características y propiedades mejores.

Se emplearon como métodos científicos de la investigación:

-Nivel Teórico

- ✓ Histórico – Lógico: Permitió ampliar el campo cognoscitivo sobre el principio de funcionamiento de la bomba centrífuga Rotativa POG-90.
- ✓ Análisis – Síntesis: Recopilación de la información para elaborar el marco teórico de la investigación.

-Nivel Empírico.

- ✓ Entrevista: Aplicada a técnicos, operarios gráficos, ingenieros mecánicos y automáticos.
- ✓ Gráficos: Para abordar los planos de la pieza y representaciones esquemáticas del trabajo.
- ✓ Matemático: Se realizaron cálculos para el impelente de la bomba centrífuga.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Una bomba centrífuga es un tipo de bomba hidráulica que sirve para transformar la energía mecánica de un impulsor o impelente en energía cinética o de presión de un fluido

incompresible. Por lo tanto, la bomba convierte la energía con la que es accionada, en este caso mecánica, en energía hidráulica.

Realizando una correcta selección del material para el impelente de la bomba centrífuga, con mejores propiedades de resistencia al desgaste químico provocado por las reacciones con la sustancia que impulsa y distribuye, se contribuirá a elevar la vida útil de este mecanismo y con ello cumplir con los parámetros de producción establecidos en la empresa.

## El impelente

Considerado el corazón de la bomba, transforma la energía rotacional del eje en velocidad del fluido. Consta de un ojo, de cubiertas (superior e inferior), superficies (de presión y de succión) y álabes que guían el fluido hacia la salida del impelente y un eje para acoplarse al eje del motor eléctrico.

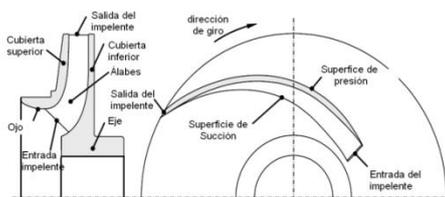


Fig. 1: Impelente de bomba centrífuga

## Material del impelente actual y del impelente propuesto:

Generalmente, el impulsor de hierro fundido se utiliza para líquido neutro, como agua dulce, por lo que claramente esto es una de las causales que está influyendo drásticamente en el fallo de la bomba centrífuga de la máquina Rotativa POG-90, ya que está trabajando con un fluido para el cual la bomba centrífuga no fue diseñada. El ácido fosfórico puro es un sólido cristalino sin color ni olor. Altamente soluble en agua, forma una solución transparente que, en altas concentraciones, es altamente corrosiva. Las soluciones en concentraciones más altas tienen un pH muy bajo y, por lo tanto, son ideales para la acidificación. El compuesto tiene propiedades corrosivas y reacciona con metales activos como el aluminio y el hierro, liberando hidrógeno, de esta forma influyendo en la corrosión del impelente de manera rápida.

Para el bombeo de los fluidos corrosivos se propone seleccionar el impelente de uno de estos materiales (latón, bronce, acero inoxidable austenítico y plástico) en dependencia del componente corrosivo con el que se trabajará. Para la misma se requiere una evaluación que va más allá de la selección hidráulica. Una bomba diseñada primariamente para agua no

necesariamente se convierte en una bomba de fluidos corrosivos confiable cambiando el material de construcción y agregando un sistema de sellado más compleja. Es necesario no solo considerar materiales de construcción sino otros diseños alternativos a las bombas estándar para lograr una vida útil y ciclo de mantenimiento aceptable. Estos parámetros son los principales a tener en cuenta al momento de seleccionar una bomba para fluidos corrosivos, sin embargo cada aplicación requiere de una evaluación completa para asegurar una implementación exitosa.

El estudio de diversos referentes ha permitido asumir la importancia de la utilización de los aceros inoxidable austeníticos por considerarlo un material propicio en la fabricación del impelente de la bomba centrífuga de la máquina Rotativa POG-90 ya que presenta excelente resistencia a los ácidos, dentro de la amplia gama de estos se destacan: acero AISI 316, AISI 316 L y acero AISI 904 L, entre otros.

Sin embargo se determina en diferentes fuentes bibliográficas que los aceros inoxidable austeníticos constituyen la familia de acero con el mayor número de aleaciones disponibles, integra las series 200 y 300 AISI. Su popularidad se debe a su excelente forma y superior potencia para enfrentar la corrosión. Sus características son las siguientes:

- Excelente resistencia a la corrosión
- Endurecidos por trabajo en frío y no por tratamiento térmico
- Excelente soldabilidad
- Excelente factor de higiene y limpieza
- Formado sencillo y de fácil transformación
- Tienen la habilidad de ser funcionales en temperaturas extremas

Los aceros inoxidable austeníticos se obtienen adicionando elementos formadores de austenita, tales como el níquel, manganeso y nitrógeno. El contenido de cromo generalmente varía del 16 al 26 % y su contenido de carbono es del rango de 0.03 al 0.08 %.

El cromo proporciona una resistencia a la oxidación en temperaturas aproximadas de 650 ° C en una variedad de ambientes.

También se definen diversos criterios coincidentes acerca de las propiedades generales de los aceros inoxidable, que por su impronta ante la calidad que alcanzan las piezas al ser elaboradas, se resalta de esta manera.

Tabla 1. Característica de los aceros inoxidable

Tipos	Resistencia a la corrosión	Dureza	Magnético	Endurecido Por tratamiento térmico	Soldabilidad
Martensíticos	Baja	Alta	Si	Si	Pobre
Ferríticos	Buena	Media Baja	Si	No	Limitada
Austeníticos	Alta	Alta*	No**	No	Excelente

También se definen diversos criterios coincidentes acerca de las propiedades generales de los aceros inoxidable, que por su impronta ante la calidad que alcanzan las piezas al ser elaboradas, se resalta de esta manera:

\* Adquieren cierto magnetismo al ser trabajados en frío.

\*\* Adquieren mayor dureza al ser trabajados en frío.

Luego de caracterizar los posibles materiales a sustituir en el impelente y su característica, se puede realizar la selección del material para la fabricación del nuevo impelente, considerándose el material correcto es el AISI 316 por las propiedades anticorrosivas que presenta ante los ácidos, en este caso ácido fosfórico.

El proceso de deterioro de una pieza no es súbito, se sustenta a través de *Mecanismos de degradación* de los materiales. Refiriéndose a aquellos mecanismos [2]: que provocan la rotura de la bomba o de sus componentes. Incidiendo la corrosión generalizada que surge de forma uniforme en la superficie de la pieza, provocando el desgaste.

Al realizar la interpretación de la entrevista, se llegó a la conclusión que la vida útil del impelente de la bomba centrífuga es solo de 6 meses, no existiendo un plan de mantenimiento que eleve la eficiencia del equipo y alargue la existencia funcional de la máquina.

Existen diversos tipos de mantenimiento [2,3], pero en este caso se propone la utilización del mantenimiento preventivo (planificado), ya que este no es más que el conjunto de medidas de carácter técnico – organizativo mediante el cual se lleve a cabo la reparación y mantenimiento del equipo. Utilizando este tipo de mantenimiento garantiza que el mismo siempre se encuentra en buen estado técnico, por ser sometido a reparaciones periódicas que eliminan en gran medida las averías y probabilidad de fallos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cálculo del impelente de la bomba centrífuga para el el nuevo material de acero AISI 316L

### Datos del motor existente en la Empresa (actual)

$$N = 0,12 \text{ kW} \quad (\text{Potencia})$$

$$n = 3400 \text{ rpm}$$

### El fluido a manejar es agua + ácido fosfórico

$$\rho = 1685 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{Densidad})$$

$$H = 20 \text{ m} \quad (\text{Altura})$$

$$P = 0,3 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{Presión})$$

$$Q = 22 \text{ l/min} = 0,00036 \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{Caudal})$$

Determinación de la velocidad específica cinemática [1,4]:

$$n_q = \frac{n \times \sqrt{Q}}{H^{\frac{3}{4}}} = \frac{3000 \times 0,00036}{9,457} = 0,114 \quad (1)$$

Cálculo de la potencia del árbol

$$N_a = \frac{9,8 \times Q \times \rho \times H}{1000 \times \eta_b} = \frac{9,8 \times 0,00036 \times 1685 \times 20}{1000 \times 0,7}$$

$$N_a = 0,169 \text{ kW}$$

Determinación del número de álabes

$$z = 6,5 \times \left[ \frac{D_2 + D_1}{D_2 - D_1} \right] \times \operatorname{sen} \frac{\beta_1 + \beta_2}{2}$$

$$z = 6,214 \approx 6 \text{ unidades}$$

Determinación de las dimensiones del anillo de desgaste (sello de fricción)

$$D_s = D_0 + 5 = 24 \text{ mm}$$

Holgura del sello

$$\delta = 2 \times 0,024 = 0,048 \text{ m} \approx 48 \text{ mm}$$

Cálculo de la eficiencia hidráulica

$$\eta_H = 1 - \frac{0,172}{(\log D_{1 \text{ red}} - 0,142)^2} = 0,876 \approx 0,88 \text{ (2)}$$

$D_{1 \text{ red}}$ -diámetro reducido de la entrada del rodete

$$D_{1 \text{ red}} = 4,25 \times \sqrt[3]{\frac{Q}{n}} = 0,020 \text{ m} \approx 20,96 \text{ mm}$$

Recálculo de la eficiencia de la bomba

$$\eta_B = \eta_v \times \mu \times \eta_H = 0,538 \approx 0,54 \text{ (3)}$$

Comprobación de la potencia que necesita el motor [1, 4]:

$$N_a = \frac{9,8 \times Q \times \rho \times H}{1000 \times \eta_b} = \frac{9,8 \times 0,00036 \times 1685 \times 20}{1000 \times 0,54}$$

$$N_a = 0,224 \text{ kW}$$

CONCLUSIONES

1. Se propuso el acero inoxidable austenítico 316L el cual cumple con las condiciones, de explotación teniendo en cuenta sus propiedades mecánicas, físicas y químicas necesarias para la fabricación del impelente de la bomba centrífuga de la máquina Rotativa POG-90.
2. Se demostró la importancia de optar por el Mantenimiento Preventivo Planificado y se incorporó la bomba centrífuga durante los trabajos del Ciclo de Mantenimiento de la Máquina Rotativa POG-90.

#### AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos a la Unidad Empresarial de Base Ediciones Caribe en Santiago de Cuba y a los profesores que colaboraron en la investigación.

#### REFERENCIAS

- 1-Pedro Pacheco Bertot: “Bomba Ventiladores y Compresores”, Ediciones ISJAM, Santiago de Cuba, 1987.
- 2-Centro de Servicios Técnicos-Automotriz (CESETA): “Manual de Mantenimiento
- 3-Reparaciones de Equipos Industriales”, Editorial ORBE, Ciudad de La Habana, 1979.
- 4-Miguel A. Reyes Moga: “Tópicos de Elementos de Máquinas”

# PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS SERVICIOS AEROPORTUARIOS A PASAJEROS EN EL AEROPUERTO INTERNACIONAL “ANTONIO MACEO GRAJALES”

*Procedure for the evaluation of the quality of airport services to passengers at the  
International Airport “Antonio Maceo Grajales”*

Gretell Hartman Romero

Sonia Caridad Ruiz Quesada

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad de Oriente, Cuba, gretell.hartman@nauta.cu, Orcid: 0000-0002-0212-9807

<sup>2</sup> Comisión de Grados Científicos, Universidad de Oriente, Cuba, soniac@uo.edu.cu, Orcid: 0000-0001-6251-6457

*Resumen*— En el contexto actual, la permanencia y triunfo de las organizaciones empresariales depende de la prestación de un servicio de calidad y la garantía de una elevada satisfacción al cliente. La calidad del servicio y su percepción por el cliente son elementos claves de diferenciación en mercados cada vez más competitivos; donde los clientes son más cultos y manifiestan un mayor nivel de exigencia en la satisfacción de sus deseos, necesidades y expectativas. El sector de la aviación no está exento a esta realidad, debido a la naturaleza de su actividad apuesta en todo momento por la calidad y la excelencia. En la **INTRODUCCIÓN** del presente trabajo, se define como objetivo Diseñar un procedimiento para la evaluación de la calidad de los servicios aeroportuarios al pasajero en aras de detectar los problemas y causas en dicho proceso en el Aeropuerto Internacional “Antonio Maceo Grajales” de Santiago de Cuba, siendo el alcance de la investigación, la calidad de los servicios aeroportuarios al pasajero. Respecto a la **METODOLOGÍA**, el procedimiento propuesto se ha concebido y validado a través del análisis documental, la observación directa, encuestas y entrevistas. Como **RESULTADOS**, se obtiene el diseño conceptual de un procedimiento para evaluar la calidad de los servicios aeroportuarios al pasajero y los factores que influyen en dicho proceso, fue posible identificar oportunidades de mejora, definir la estrategia a seguir y proponer acciones. Por último, se arriban a **CONCLUSIONES**, que demuestran con los resultados obtenidos, el cumplimiento del objetivo propuesto.

*Palabras clave: Calidad, Gestión de la calidad, Servicios aeroportuarios, Servicios aeroportuarios al pasajero.*

## INTRODUCCIÓN

El tema de la calidad en los servicios ha adquirido gran difusión en Cuba, fundamentalmente desde que las empresas comenzaron su tránsito por el perfeccionamiento empresarial como política encaminada a la protección de los consumidores. Por tanto, todas las empresas han comprendido que la Calidad Total es un proceso sin fin, un sistema de mejora continua, que no

admite el estancamiento y mucho menos el retroceso, cuya meta es garantizar la satisfacción de los clientes.

La calidad en los servicios es una temática ampliamente investigada, constituyen referentes teóricos de la presente investigación autores como: Bernillon y Cerutti (2000), Mora (2011), Martín y Díaz (2016), los mismos abordan aspectos como la implementación y gestión de la calidad total; la importancia, concepto, dimensiones y modelos de calidad; la calidad del servicio y la satisfacción de los clientes, entre otros elementos. Representan referentes prácticos estudios realizados enfocados a la evaluación de la calidad en diferentes servicios y Sistemas de Gestión de la Calidad, tales como: Santiago (2018)<sup>8</sup> y Pérez, Urquiola y Alpizar (2022)<sup>9</sup>. Específicamente, la calidad en los servicios aeroportuarios también ha sido un tema tratado, valen destacar como antecedentes los trabajos realizados por los autores siguientes: Labiosa y Avendaño (2015)<sup>10</sup>; Martínez (2016)<sup>11</sup>; Giraldo, Muñoz, Valderrama y Zapata (2017)<sup>12</sup>; Nicolás (2017)<sup>13</sup> y Fundara (2019)<sup>14</sup>. Los trabajos antes mencionados dan fe de la importancia y actualidad del tema tratado.

El presente investigación se origina porque, a pesar que el Aeropuerto Internacional “Antonio Maceo Grajales” (AI “AMG”) de la ciudad de Santiago de Cuba cuenta con un Sistema de Gestión de la Calidad certificado por la norma ISO 9001: 2015, existen evidencias de estudios previos (Hartman, 2015 y Hartman, Ruiz y Saumell, 2021) e informes de cierre de año de los especialistas en gestión de la calidad, que revelan deficiencias en la prestación de los servicios a pasajeros y baja satisfacción en dichos clientes. Esta situación fundamenta la necesidad de realizar constantemente evaluaciones para determinar los factores de influencia en la prestación de los servicios, a través de un procedimiento efectivo que contribuya a identificar los problemas y causas en dicho proceso y, a su vez, favorezca al incremento de la calidad y de la satisfacción de los clientes.

Por lo antes planteado y en aras de cumplir con los Lineamientos 7 y 167 de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución, esta investigación tiene como problema científico la siguiente interrogante: ¿Cómo evaluar la calidad de los servicios aeroportuarios al

---

<sup>8</sup> Este trabajo se enfoca en la evaluación de la calidad de los servicios en la Cadena de Tiendas Minoristas CIMEX, Guantánamo

<sup>9</sup> Estudio relacionado con el análisis del Sistema de Gestión de Calidad de la Universidad de Cienfuegos.

<sup>10</sup> Estudio enfocado a la evaluación de la Satisfacción de los Turistas del Aeropuerto Internacional de Tocumen.

<sup>11</sup> Evalúa la calidad de los servicios en los Salones VIP del Aeropuerto Internacional “José Martí”.

<sup>12</sup> En este trabajo se analiza la calidad percibida del servicio desde las infraestructuras aeroportuarias.

<sup>13</sup> Trabajo relacionado con los servicios aeroportuarios y las alternativas para aumentar la satisfacción de los pasajeros.

<sup>14</sup> Diagnóstico de la calidad de los servicios en el proceso de salida del Aeropuerto Internacional de Varadero Juan Gualberto Gómez

pasajero en aras de incrementar su satisfacción en el AI “AMG” de Santiago de Cuba? Para dar solución al mismo, las autoras se proponen como objetivo: Diseñar un procedimiento para la evaluación de la calidad de los servicios aeroportuarios al pasajero en aras de detectar los problemas y causas en dicho proceso en el AI “AMG” de Santiago de Cuba.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se diseña un procedimiento sustentado en los referentes teóricos y prácticos antes mencionados, estructurado en fases, etapas y pasos, tal como se muestra en la Figura 1.

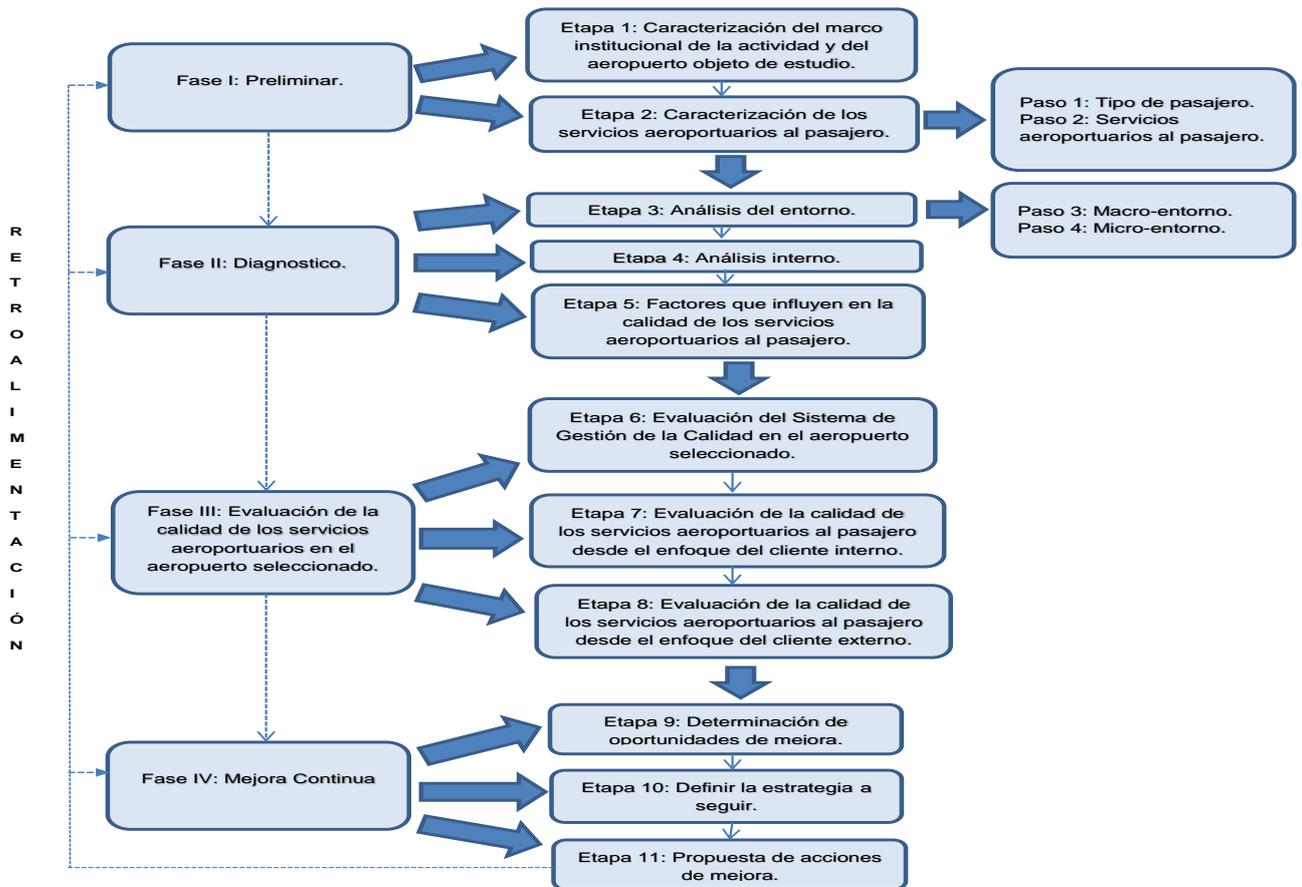


Figura 1: Procedimiento propuesto para la evaluación de la calidad en los servicios aeroportuarios al pasajero.

Es un procedimiento que responde a los requerimientos de los servicios aeroportuarios al pasajero, relacionados con el *handling* de pasajeros y los servicios comerciales; puede ser aplicado en aeropuertos de categorías nacional o internacional, cubanos y extranjeros; puede hacerse extensivo a otros servicios u operaciones aeroportuarias, y establece entre cada una de

sus fases y etapas una efectiva retroalimentación que garantiza la mejora continua de los procesos, el incremento de la calidad en los servicios y la satisfacción de los clientes.

Su aplicación requiere que el ejecutor cuente al menos con los conocimientos básicos respecto a la actividad aeroportuaria, a los servicios ofrecidos al pasajero, sus procedimientos, la infraestructura requerida para los mismos y las normas, regulaciones y procedimientos establecidos internacionalmente. El período de tiempo requerido para la aplicación del procedimiento diseñado y obtención de resultados, puede variar en dependencia de las características del aeródromo, el estado actual de los servicios ofrecidos, el Sistema de Gestión de la Calidad implementado y de la retroalimentación existente entre las fases y etapas del procedimiento.

El procedimiento propuesto se estructura en cuatro fases, once etapas y cuatro pasos. Se inicia la Fase I: Preliminar, con una caracterización del marco institucional en el que se desarrolla la actividad aeroportuaria y el aeropuerto objeto de estudio. Posteriormente, se caracterizan los pasajeros y los servicios aeroportuarios según referentes internacionales. En esta fase se desarrollan dos etapas, la Etapa 1: Caracterización del marco institucional de la actividad y del aeropuerto objeto de estudio, y la Etapa 2: Caracterización de los servicios aeroportuarios al pasajero. En ésta última, se identifican los servicios que se ofrecen en un aeropuerto al pasajero, los mismos van a estar en correspondencia con el tipo de pasajero, haciendo referencia a ello Muñiz (2018) declara que “los servicios aeroportuarios son todas aquellas prestaciones que se ofrecen en las instalaciones de dicho recinto y que están destinados a facilitar el tránsito por este lugar con seguridad, rapidez y calidad para alcanzar una satisfacción en los clientes” (p. 12). La etapa 2 consta de dos pasos, en el Paso 1 se describen los tipos de pasajeros y en el Paso 2 se abordan los servicios aeroportuarios al pasajero.

En la Fase II: Diagnóstico, se diagnostica la situación actual de la actividad económica en la organización seleccionada, a partir del análisis del contexto o entorno en el que se desempeña y de las particularidades propias de su accionar hacia lo interno. Esta fase está compuesta por tres etapas. La Etapa 3: Análisis del entorno, consta de dos pasos. En el Paso 3: Análisis de las fuerzas actuantes del macro-entorno, se analiza el entorno general o global que afecta a todas las empresas u organizaciones en una sociedad dada, pero no de la misma manera ni con la misma intensidad, en él actúan numerosas fuerzas o dimensiones que influyen en mayor o menor medida en la organización. El Paso 4: Análisis de las fuerzas actuantes del micro-entorno, analiza el entorno específico, particular o sectorial que afecta a una empresa determinada; en éste también accionan numerosas fuerzas o dimensiones, conocidas como las cinco fuerzas competitivas de Porter. Estas fuerzas pueden incidir negativamente sobre la organización representando amenazas o podrían constituir oportunidades a aprovechar. En la Etapa 4:

Análisis interno, se realiza el diagnóstico interno de la organización a través del análisis de las diferentes áreas funcionales que la componen, detectándose las principales debilidades y fortalezas.

Una vez realizado el análisis del entorno y diagnosticada la situación interna del aeropuerto objeto de estudio, se está en condiciones de listar los factores que influyen en la calidad de los servicios aeroportuarios al pasajero, siendo éste el fin de la Etapa 5: Factores que influyen en la calidad de los servicios aeroportuarios al pasajero.

La Fase III: Evaluación de la calidad de los servicios aeroportuarios al pasajero en el aeropuerto seleccionado, consta de tres etapas. En la Etapa 6: Evaluación del Sistema de Gestión de la Calidad en el aeropuerto seleccionado, lo primero es conocer si el aeropuerto en cuestión cuenta con un Sistema de Gestión de la Calidad implementado y certificado, luego se procede a analizar el documento rector correspondiente a la Gestión de la Calidad. Se caracteriza el sistema de gestión de la calidad implementado y se analizan los instrumentos o indicadores para evaluar la calidad.

La Etapa 7: Evaluación de la calidad de los servicios aeroportuarios al pasajero desde el enfoque del cliente interno, la calidad de los servicios ofrecidos a los clientes externos es el reflejo de la calidad del servicio que reciben los clientes internos en cuanto a: liderazgo, motivación, entusiasmo, entrenamiento, entre otros aspectos. Por tanto, el cliente interno es un factor clave en el éxito de las empresas, satisfacer sus necesidades y superar sus expectativas es también de suma importancia. En esta etapa, las autoras realizarán encuestas y se entrevistarán con el personal directo a la prestación de los servicios.

En la Etapa 8: Evaluación de la calidad de los servicios aeroportuarios al pasajero desde el enfoque del cliente externo, a través de encuestas se analiza el nivel de satisfacción de pasajeros nacionales, internacionales y VIP<sup>15</sup> con los servicios ofrecidos en el aeropuerto.

Por último, la Fase IV: Mejora Continua, es una fase concluyente, que se retroalimenta de las anteriores, consta, también, de tres etapas. En la Etapa 9: Determinación de oportunidades de mejora, se identifican las limitaciones presentes en los servicios aeroportuarios al pasajero en el aeropuerto seleccionado, se determinan y seleccionan las oportunidades de mejora, con el fin de aumentar la satisfacción de los pasajeros.

A partir del conocimiento de toda la información analizada en las fases y etapas precedentes, en aras de aportar soluciones efectivas al problema identificado, se da paso a la Etapa 10: Definir la

---

<sup>15</sup> *Very Important People*

estrategia a seguir, y en la Etapa 11: Propuesta de acciones de mejora, se proponen acciones encaminadas a erradicar o minimizar las debilidades identificadas, que afectan la calidad en los servicios a pasajeros, y a aprovechar las oportunidades. Las acciones que se formulan, así como el instrumento metodológico diseñado, quedan a disposición de la dirección general de la organización.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El procedimiento antes descrito se aplica en el AI “AMG”, perteneciente a la Unidad Empresarial de Base (UEB) Aeropuerto Santiago de Cuba, organización donde se manifiesta el problema investigado. A continuación se exponen por fases y etapas los resultados obtenidos y su correspondiente discusión.

**Fase I: Preliminar. Etapa 1: Caracterización del marco institucional de la actividad y del aeropuerto objeto de estudio.** El AI “AMG”, pertenece a la UEB Aeropuerto Santiago de Cuba, junto a otros dos Aeropuertos Nacionales “Mariana Grajales” de Guantánamo y “Gustavo Rizo” de Baracoa, los que componen la Zona Oriental Sur. La misma fue constituida mediante la Resolución No. 38/06 de fecha 28 de marzo del 2006, y forma parte de la Empresa Cubana de Aeropuertos y Servicios Aeroportuarios (ECASA S.A.).

ECASA S.A. es la encargada de administrar la red nacional de aeropuertos cubanos y de brindar servicios a aeronaves y pasajeros, fue creada por Escritura Pública No. 1705 del 16 de septiembre de 1996, de la Notaría Especial del Ministerio de Justicia, por lo que está avalada su constitución como Organización Empresarial. Es una empresa con alcance nacional y desde su Nivel Central se orienta y controla a las UEB Aeropuertos, el cumplimiento de las políticas de la empresa y del sector de la aviación. Es una sociedad mercantil de capital 100% cubano y constituye una subsidiaria de la Compañía Holding denominada Corporación de la Aviación Cubana S.A. (CAC S.A.).

ECASA S.A. está constituida por 10 UEB (2 de Nivel Central y 8 aeroportuarias), administra 23 aeropuertos, de ellos 10 con categoría de aeropuertos internacionales, organizados en UEB Aeropuerto desde abril del 2006 con la aplicación del Perfeccionamiento Empresarial, que a su vez están ubicadas en 6 zonas aeroportuarias<sup>16</sup>. La administración de la UEB Aeropuerto radica en el Aeropuerto Internacional principal de la zona. Se encarga fundamentalmente de la atención a aeronaves, a pasajeros y a las instalaciones de los aeropuertos del país; así como del

---

<sup>16</sup> Zona Occidental Oeste (Habana), Zona Occidental Este (Varadero), Zona Central Oeste (Ciego de Ávila), Zona Central Este (Camagüey), Zona Oriental Sur (Santiago de Cuba) y Zona Oriental Norte (Holguín).

aprovisionamiento de combustible, lubricantes y líquidos especiales a las aeronaves (ECASA S.A., 2020). Su objeto social consiste en prestar servicios de asistencia en tierra a aeronaves y pasajeros, y comercializar combustibles y sus derivados, lubricantes y líquidos especiales para aeronaves y el transporte terrestre que se utilice para la prestación de servicios en las instalaciones aeroportuarias y aeronáuticas. Se subordina al Instituto de Aeronáutica Civil de Cuba (IACC) y a la CAC S.A., máximas autoridades de la aviación civil en Cuba, compuesta por un conjunto de empresas que se consideran filiales entre sí. Dichas autoridades, a su vez, responden al Ministerio del Transporte (MITRANS), quien representa el organismo rector.

**Etapa 2: Caracterización de los servicios aeroportuarios al pasajero en el aeropuerto seleccionado. Paso 1: Tipo de pasajero.** El AI “AMG” ofrece servicio a dos tipos de pasajeros: nacional e internacional. El pasajero nacional realiza viajes interprovinciales, o sea, dentro de las fronteras del país cuyo único destino u origen es La Habana, y viajan fundamentalmente en las aerolíneas nacionales Cubana de Aviación S.A. y Aerogaviota (FAR).

El pasajero internacional viaja a través de las aerolíneas internacionales o de aerolíneas nacionales, las mencionadas anteriormente, que hacen vuelos internacionales.

**Paso 2: Servicios aeroportuarios al pasajero. +}**

La actividad aeroportuaria se caracteriza por el accionar de múltiples actores. Ello se evidencia en la prestación de servicios a los pasajeros. En el AI “AMG” de Santiago de Cuba el pasajero interactúa con varios organismos, organizaciones y empresas, todas ellas les ofrecen servicios y/o productos, por ende, influyen en su satisfacción, y en la opinión que se crea el pasajero respecto al aeropuerto.

ECASA S.A., como gestora de los aeropuertos cubanos ofrece dos tipos de servicios a los pasajeros: el handling de pasajeros, efectuado por el Departamento de Servicios a Pasajeros de las respectivas Unidades de Operaciones Tierra de cada Unidad Aeroportuaria, y los servicios comerciales, que forman parte de la actividad comercial no aeronáutica. Específicamente en el aeropuerto seleccionado, ECASA S.A. ofrece los siguientes servicios:

- **Handling a pasajeros:** atención a pasajeros en terminales aéreas; fallecimiento en aeronaves e instalaciones aeroportuarias; información en terminales aéreas; atención a pasajeros con movilidad reducida; atención a pasajeros con irregularidades en el equipaje; chequeo de pasajeros vuelos seguros; portada, tramitación y pago de multas migratorias, y servicio venta de boletos.

- **Servicios Comerciales:** servicios VIP, servicios gastronómicos, parqueo y servicios de internet (WIFI).

Entre el resto de organismos, organizaciones y empresas que accionan de forma directa o indirecta en los servicios a pasajeros se encuentran: *Cubacatering* (servicio gastronómico), Aduana General de la República (chequeo de equipajes a pasajero internacional), Inmigración y Extranjería (chequeo de documentación a pasajero internacional), Empresa de Seguridad y Protección de la Aviación Civil (chequeo a pasajero y equipaje de mano con detector de metales), Salud Pública (chequeo sanitario), Concesionarios (venta de artículos, renta de autos, entre otros) y las líneas aéreas.

**Fase II: Diagnóstico. Etapa 3: Análisis del entorno. Paso 3: Análisis de las fuerzas actuantes del macro-entorno.** Se analizan los factores del entorno que desde las dimensiones político – legal, sociocultural, económica, tecnológica y medioambiental, influyen en la organización.

**Paso 4: Análisis de las fuerzas actuantes del micro-entorno.**

- Proveedores.

Actualmente AI “AMG” tiene contratos con 30 proveedores, de ellos 16 garantizan alrededor del 80% del suministro de los productos y servicios necesarios, entre estos se encuentran: Havana Club Internacional S.A., el Grupo Empresarial Comercializadora ITH S.A., CUPET y Aviaimport Show Rum por la parte de los productos, y la División Tecnológica Corporación CIMEX S.A. y Empresa de Servicios a la Aviación Civil (SERVAC) como proveedores de servicios.

- Clientes.

Entre los principales clientes se encuentran los pasajeros nacionales e internacionales que pasan por las instalaciones aeroportuarias, acompañantes, turoperadores, tripulantes y otros. Las líneas aéreas nacionales y extranjeras tales como: Empresa Cubana de Aviación (ECA), Aerogaviota, *Inter-caribbean Airways*, *Sunrise Airway*, *Global X*, *IBC Airways*, *Turpial Airlines C.A.*, *Sky High Aviation Service S.A.*, entre otras.

También son tratados como clientes HAVANATUR, REX, TRANSTUR, las corporaciones CARACOL y CIMEX, y otras instituciones como: EGREM, Casa de las Américas, Correos de Cuba, Fondo Cubano de Bienes Culturales, Empresa Compay Tiago, ARTEX, Patrimonio y

otros, a quienes se les ofrece arrendamiento de local y constituyen concesionarios dentro de las instalaciones aeroportuarias.

En la presente investigación, en aras de cumplir con el objetivo propuesto, sólo se toman como cliente externo a los pasajeros nacionales e internacionales y, por ende, se analizan los servicios que se le ofrecen a éstos.

- Competidores.

El AI “AMG” no presenta competencia en la zona oriental sur, lo cual constituye una ventaja, es el único aeropuerto con categoría para recibir y despachar vuelos fuera de las fronteras nacionales; sin embargo, fuera de la zona existen fuertes competidores nacionales como el Aeropuerto Internacional de Holguín, y algunos aeropuertos internacionales ubicados en el área del Caribe como el de Santo Domingo en República Dominicana. Es necesario comentar que, como destino turístico, la provincia Santiago de Cuba está expuesta a la fuerte competencia del Caribe.

- Amenaza de nuevos competidores o competidores potenciales.

ECASA S.A. es una única empresa a nivel nacional que opera en todos los aeropuertos del país a través de sus UEB, debido a que el mercado en el que actúa presenta altas barreras a la entrada, y la empresa acciona como un monopolio natural y de Estado. Por ende, para un futuro cercano, no se considera la entrada de nuevos competidores a la industria de la aviación. Sin embargo, en el contexto internacional es posible que surjan nuevos competidores en el área del Caribe.

- Amenaza de productos o servicios sustitutos.

En este mercado no existen productos sustitutos porque no existe ninguna otra organización, además de ECASA S.A., que ofrezca productos o servicios que satisfagan esta necesidad. Podría considerarse que el ferrocarril y la terminal de ómnibus ofrecen servicios sustitutos desde el punto de vista de la transportación interprovincial de pasajeros, sin embargo, si se analiza el encargo social de ECASA S.A. es posible afirmar que la empresa no se encuentran amenazada por este factor.

**Etapa 4: Análisis interno.** El diagnóstico interno se realizó a través del análisis de las diferentes áreas funcionales que componen la organización, detectándose las principales debilidades y fortalezas que le permiten aprovechar las oportunidades del entorno y minimizar

los efectos negativos de las amenazas. Estas áreas funcionales fueron: administrativas (planificación, organización, dirección y control), recursos humanos, economía y operaciones.

**Etapa 5: Factores que influyen en la calidad de los servicios aeroportuarios al pasajero.**

Una vez realizado el diagnóstico, es posible identificar los factores que inciden sobre la actividad del AI “AMG” y, por ende, en la calidad de los servicios aeroportuarios al pasajero. En esta etapa se sostuvieron conversaciones y entrevistas con especialistas de diferentes áreas (gestión de la calidad, gestión comercial, operaciones tierra, recursos humanos, informática y otros), lo cual permitió a las autoras corroborar lo antes planteado en la etapa precedente e identificar otros factores. Dichos factores debido a su naturaleza y al tipo de influencia sobre la organización, fueron clasificados en oportunidades, amenazas, fortalezas y debilidades.

- Oportunidades:

1. Marco político – legal estable en el que se desempeñan las organizaciones y empresas cubanas.

2. La política económica y social del Partido y la Revolución, en sus Lineamientos para el periodo 2021 – 2026, aboga por recuperar y preservar, modernizar y ampliar la infraestructura aeroportuaria.

3. Gradual desarrollo del turismo con su consecuente incremento del número de operaciones aéreas por año.

4. Posibilidad de formar alianzas con otros organismos y empresas internacionales que pertenecen a la aviación.

5. Estabilidad de los vuelos de las compañías aéreas extranjeras y posibilidad de incremento de sus operaciones en el país, así como posibilidades de contratos con nuevas aerolíneas y aumento en la frecuencia de los vuelos.

6. En el país, a nivel de aeropuertos existe una baja posibilidad de aparición de competidores potenciales.

7. Gran número de clientes y posibilidades de expansión hacia otros mercados internacionales.

- Amenazas:

1. Política de tarifas y precios respecto a los servicios aeroportuarios centralizada.
2. Persistencia del bloqueo comercial, económico y financiero de los EE.UU. contra Cuba.
3. Gran desarrollo tecnológico en el mundo de la aviación, lo que presupone una constante actualización tecnológica, de alto valor económico y de difícil acceso.
4. Necesaria gestión de riesgo por peligros tecnológicos o de vulnerabilidad medio ambiental como consecuencia de la operación aérea.
5. Lento crecimiento del destino turístico santiaguero.
6. Impacto de la crisis económica internacional y sanitaria, con repercusión en los principales mercados emisores de turismo, y con ello una afectación tangible en la emisión de turistas al destino Cuba.
7. La geografía caribeña, y por ende Cuba, está expuesta a efectos climatológicos frecuentes.
8. Fuerte competencia en la región del Caribe, principalmente de República Dominicana.
9. El envejecimiento poblacional de la sociedad cubana repercute en la población económicamente activa.
10. Existe inestabilidad en el aseguramiento de los insumos para garantizar la calidad del servicio, y un insuficiente monto de compras aprobado con ITH como el principal proveedor de insumos para Salones VIP.
11. Inexistencia de un mecanismo de importación efectivo para garantizar el aseguramiento de insumos para el servicio VIP en los aeropuertos internacionales.

- Fortalezas:

1. ECASA S.A. es la única empresa autorizada para brindar servicios aeroportuarios en Cuba.
2. ECASA S.A. es miembro de organizaciones nacionales e internacionales como la Cámara de Comercio de la República de Cuba, el Consejo Internacional de Aeropuertos para América Latina y el Caribe y la Organización de la Aviación Civil Internacional (OACI).
3. La empresa cuenta con un esquema empresarial certificado en las Normas ISO 9001: 2015.

4. Adecuado nivel cultural, profesional y técnico de trabajadores y dirigentes del aeropuerto.
5. Existencia de un Centro de Capacitación para la formación y recalificación del personal.
6. Comportamiento favorable de los indicadores de gestión de capital humano.
7. Situación económico - financiera favorable.

- Debilidades:

1. Equipamiento especial y tecnológico obsoleto e insuficiente para la atención a aeronaves y pasajeros.
2. Persisten deficiencias en el estado técnico del equipamiento, debido a dificultades en el suministro y recambio de piezas de repuesto.
3. Movimiento operacional inferior a las capacidades del aeropuerto.
4. Baja automatización de los servicios, uso inadecuado o deficiente uso de tecnologías informáticas existentes y limitaciones de conectividad.
5. Deficiencias en los sistemas de mantenimiento, aseguramiento y logística empresarial para asegurar la calidad de los servicios en las terminales.
6. En ocasiones las ofertas de servicios no responden a las preferencias del cliente ya que a la hora del diseño no se tuvieron en cuenta las mismas.
7. Inadecuados niveles de calidad en la prestación de los servicios a los pasajeros, debido a las insuficientes facilidades, prestaciones, servicios y/o productos que exige la aviación moderna.

**Fase III. Evaluación de la calidad en los servicios aeroportuarios en el aeropuerto seleccionado. Etapa 6: Evaluación del Sistema de Gestión de la Calidad en el AI "AMG".**

La ECASA S.A. asume el compromiso de proporcionar servicios aeroportuarios y comerciales no aeronáuticos, con un alto estándar de seguridad y calidad, mediante un sistema de gestión integrado que asegure la satisfacción de los clientes, los servicios aeroportuarios al nivel óptimo operativo, el desarrollo profesional y la seguridad laboral del personal, y la mejorara continua de la eficacia del Sistema Integrado de Gestión. El sistema de gestión de la calidad de ECASA S.A. está certificado y es rectorado por un conjunto de documentos de obligatorio cumplimiento, los cuales se mencionan a continuación:

1. Manual General. Planificación, Dirección y Control del Sistema de Gestión Integrado. Código: MG.01-01. Revisión: 11.0

En este documento queda plasmada la política a seguir por la empresa, expuesta con anterioridad. El presente Manual ha sido elaborado en base a los requisitos de las normas: ISO 9001: 2015 e ISO 14001: 2015.

2. Ficha de Proceso. Gestión de la Calidad. Planificación, Dirección y Control del Sistema de Gestión de la Calidad. Código: FP.01-01. Revisión: 5.0

Su objetivo es asegurar la conformidad del Sistema de Gestión de la Calidad con los requisitos de la norma ISO 9001: 2015, manteniendo certificada la empresa, además de lograr alcanzar la mejora continua de los procesos de dicho sistema.

3. Procedimiento General. Sistema de Gestión de la Calidad. Satisfacción del Cliente. Código: PG.01-07. Revisión: 6.0

Su objetivo es establecer una metodología que permita conocer y medir el nivel de satisfacción de los clientes, respecto a los servicios que se ofrecen, de manera que la empresa pueda tomar las acciones necesarias para mantener estos niveles como conformes o superar expectativas.

4. Procedimiento General Procedimiento General. Grupo de Gestión de la Calidad. No Conformidades, Correcciones y Acciones Correctivas. Código: PG-01-04. Revisión: 4.0

Establece cómo detectar, documentar, controlar y eliminar las no conformidades que se generen durante la ejecución de los procesos, así como establecer el método para llevar el control de las correcciones y acciones correctivas de manera tal que se asegure la total eliminación de las no conformidades detectadas.

Todos los documentos antes mencionados son internos y han sido aprobados por el Sistema de Gestión Integrado de ECASA S.A. Además, forman parte del proceso estratégico Planificación, Dirección y Control del Sistema de Gestión de la Calidad de la empresa.

Para evaluar la calidad en los servicios aeroportuarios la empresa utiliza como instrumentos las entrevistas y encuestas según queda plasmado en el Procedimiento General del Sistema de Gestión de la Calidad relacionado con la Satisfacción del Cliente. A su vez, se mide el comportamiento de los indicadores siguientes: Tiempo de estancia, Comportamiento del itinerario (incumplimiento del *Slot*), Afectaciones a equipajes y Quejas y reclamaciones recibidas. Estos indicadores se analizan semanalmente.

**Etapa 7: Evaluación de la calidad de los servicios aeroportuarios a pasajeros desde el enfoque del cliente interno.** Según lo estipula el Procedimiento General del Sistema de Gestión de la Calidad concerniente a la Satisfacción del Cliente, para medir la calidad es necesario conocer cómo piensan respecto a los servicios los trabajadores, reconocidos en el procedimiento referenciado como cliente interno. Dicha encuesta está compuesta por seis grupos de ítems relacionados con el transporte obrero, los talleres, los servicios, la informática, las comunicaciones y otros aspectos.

Durante el mes de septiembre del presente año, según lo planificado en el plan de encuestas de la UEB Aeropuerto Santiago de Cuba, fueron encuestados 45 trabajadores. Los resultados de dicha encuesta muestran una tasa de satisfacción promedio de 95,23% y un índice de satisfacción de 3,69 puntos. Los ítems peor valorados como promedio son el transporte para obreros y servicios, aunque muchos aspectos del resto de los grupos también reportan trabajadores con una baja satisfacción. Es necesario mencionar que ninguno de los aspectos evaluados obtuvo una calificación máxima. El aeropuerto aplica el formato de encuestas designado a nivel de empresa pues a consideración de la misma estos son los aspectos de su interés, a nivel de UEB no existe autonomía para modificar, agregar o eliminar algunos ítems de las encuestas a clientes internos o externos.

A consideración de las autoras, a pesar que en esta encuesta se analizan aspectos importantes, no se tienen en cuenta elementos como el clima organizacional, la participación en la toma de decisiones, la estimulación, el grado de implicación del trabajador para con la organización u otros aspectos. En este sentido se recomienda utilizar una encuesta que arroje luces en cuanto a la motivación y la satisfacción laboral, así como su valoración sobre el servicio ofrecido. Es necesario recordar que un trabajador insatisfecho difícilmente proporcionará un servicio de calidad, es por ello que las organizaciones deben satisfacer sus necesidades y superar sus expectativas.

**Etapa 8: Evaluación de la calidad de los servicios aeroportuarios a pasajeros desde el enfoque del cliente externo.** Con el objetivo de evaluar la calidad de los servicios y conocer cómo piensan los consumidores, la UEB realiza todos los meses entrevistas o encuestas a sus clientes externos según lo estipula el Procedimiento General del Sistema de Gestión de la Calidad concerniente a la Satisfacción del Cliente. ECASA S.A. divide a sus pasajeros en: nacionales, internacionales y VIP para la ampliación de las encuestas.

Durante el mes de septiembre de 2022, no se realizaron encuestas a pasajeros nacionales, porque la muestra no fue representativa, pero sí a pasajeros internacionales (a un total de 65) y VIP (a un total de 36 pasajeros). Los resultados se detallan a continuación:

La encuesta a pasajeros internacionales arroja un 98,83% de respuestas conformes, las que según el Procedimiento General del Sistema de Gestión de la Calidad concerniente a la Satisfacción del Cliente tienen una valoración de 5 a 3 puntos (Excelente, Muy bueno y Bueno), y el índice de satisfacción es de 4,18 puntos. Los aspectos peor valorados son calidad de los servicios en bares y restaurantes, climatización en los salones y la calidad y disponibilidad de la información. Además, los pasajeros se sienten insatisfechos con la insuficiente y poca variedad de ofertas gastronómicas en MLC y CUP, la poca divulgación de los 30 minutos de WIFI (incluidos en el boleto) y ante las compras en efectivo con divisas (USD, Euros, u otra) el vuelto es en CUP.

Por tales aspectos, aunque el servicio se considere bueno, es necesario trabajar y tomar acciones en pro de alcanzar la excelencia, mantener la certificación del sistema de gestión de la calidad y cumplir con los estándares internacionales. Condiciones necesarias para lograr mantener los clientes fidelizados y altamente satisfechos.

Durante el mes señalado se encuestó a 36 pasajeros VIP para un total del 100% de respuestas conformes y un índice de satisfacción es de 4,80 puntos. Los aspectos menos valorados son el *snack* y la disponibilidad de bebidas. No se dispone de lectura.

**Fase IV. Mejora continua. Etapa 9: Determinación de oportunidades de mejora.** Una vez identificadas las limitaciones en los servicios aeroportuarios a pasajeros, es posible mejorar su calidad y, con ello, elevar la satisfacción de dichos clientes, detectando oportunidades de mejora sobre la base de las oportunidades y fortalezas expuestas en la fase de diagnóstico del presente procedimiento. Las oportunidades de mejora identificadas se listan a continuación:

1. Existencia de un mercado en expansión debido al gradual desarrollo del turismo, a la concertación de contratos con nuevas aerolíneas y a las posibilidades de formar alianzas con organismos y empresas internacionales, en los marcos de un contexto político - legal estable, enfocado en que las organizaciones cubanas sean más eficientes, eficaces y competitivas.
2. En el mundo, el sector de la aviación cuenta con gran desarrollo tecnológico, debido a que dicha actividad presupone una constante actualización, por ende, se hace necesario, tal y como se plantea en los lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución del 2021-2026, continuar modernizando las infraestructuras aeroportuarias, en aras de dar respuesta a una mayor afluencia de turistas al país y a la oferta de un servicio con calidad.

3. Aprovechar y mantener la situación económico-financiera que actualmente experimenta la UEB Aeropuerto Santiago de Cuba, con el objetivo de garantizar el aseguramiento logístico y el equipamiento necesario para la prestación de los servicios a pasajeros.

4. Existencia de un centro de capacitación en el que se formen profesionales comprometidos con la calidad de los servicios que se ofrecen y con las necesidades de los clientes.

5. Aprovechar el surgimiento de nuevos actores económicos como, Mipymes y cooperativas, para concertar contratos y conseguir nuevos proveedores que le brinden al aeropuerto, los suministros necesarios para garantizar una oferta variada y con calidad de productos y servicios a los pasajeros.

**Etapa 10: Definir la estrategia a seguir.** Asumiendo las oportunidades de mejora, dado el contexto en el que se desarrolla la actividad aeroportuaria y su situación interna, el AI “AMG” está en condiciones de seguir hasta el año 2027 una estrategia de crecimiento dirigida a la expansión hacia mercados internacionales.

**Etapa 11: Acciones de mejoras.** Para la efectiva materialización de la estrategia formulada y dar respuesta a las debilidades declaradas, se propone a la dirección de la UEB Aeropuerto Santiago de Cuba las siguientes acciones para la mejora:

1. Buscar nuevas líneas de negocios comerciales no aeronáuticos.

2. Negociar con los turoperadores y con las aerolíneas internacionales que operan en el país, que incluyan a Santiago de Cuba como destino turístico.

3. Elevar los índices de satisfacción alcanzados hasta 4.80 puntos para los clientes internos y pasajeros internacionales, el de pasajeros VIP a 100 puntos.

4. Atender oportunamente las sugerencias de los clientes.

5. Mejorar la calidad en los servicios.

6. Concertar contratos con los nuevos actores económicos, para garantizar el suministro de bienes y servicios con calidad.

7. Negociar con ITH, principal proveedor de insumos para Salones VIP, incrementar el monto de compras aprobado con el fin de ampliar la oferta y variedad de servicios.

8. Garantizar que los salones de la terminal tengan las condiciones adecuadas para la prestación de los servicios a pasajeros (climatización, limpieza, decoración, ambientación, señaléticas).
9. Garantizar una información oportuna a los pasajeros respecto al estado de los vuelos y a los diferentes servicios que se ofrecen en las instalaciones.
10. Realizar inversiones para la adquisición y renovación de equipos especiales y tecnológicos utilizados en la prestación de los servicios a pasajeros, de piezas de repuesto y demás accesorios para la reparación y mantenimiento de los existentes en explotación.
11. Atender y resolver oportunamente las insatisfacciones de los trabajadores.

## CONCLUSIONES

- Se logra el objetivo propuesto de diseñar un procedimiento para evaluar la calidad de los servicios aeroportuarios al pasajero en aras de detectar los problemas y causas en el desarrollo de dicho.
- La aplicación del procedimiento propuesto en el AI “AMG” mostró los factores que influyen en la gestión de la calidad de los servicios aeroportuarios al pasajero en el aeropuerto seleccionado, clasificándose en oportunidades, amenazas, fortalezas y debilidades.
- La evaluación de la calidad desde un enfoque de los clientes interno y externo, mostró las principales deficiencias en la prestación de los servicios aeroportuarios a los pasajeros, cuyos índices de satisfacción evidencian que estos servicios son buenos, pero no de excelencia.
- Fueron identificadas oportunidades de mejora, a partir de las cuales se recomienda que el AI “AMG” debe seguir hasta el año 2027, una estrategia de crecimiento dirigida a la expansión hacia mercados internacionales. Para la efectiva materialización de la misma se formularon acciones de mejora.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los directivos y trabajadores del Aeropuerto Internacional “Antonio Maceo Grajales” de Santiago de Cuba, perteneciente a la Empresa Cubana de Aeropuertos y Servicios Aeroportuarios (ECASA S.A.), porque gracias a su colaboración y apoyo fue posible realizar este trabajo.

## REFERENCIAS

Bernillon, A. y Cerutti, O. (2000). *Implantar y gestionar la calidad total*. Ediciones Gestión 2000.

Comité Central del Partido Comunista de Cuba (PCC, 2021). Conceptualización del Modelo Económico y Social Cubano de Desarrollo Socialista. Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución para el período 2021-2026. Cuba

ECASA S.A. (2018). *Procedimiento General. Grupo de Gestión de la Calidad. No Conformidades, Correcciones y Acciones Correctivas*. Código: PG-01-04. Revisión: 4.0

ECASA S.A. (2019). *Ficha de Proceso. Gestión de la Calidad. Planificación, Dirección y Control del Sistema de Gestión de la Calidad*. Código: FP.01-01. Revisión: 5.0

ECASA S.A. (2019). *Manual General. Planificación, Dirección y Control del Sistema de Gestión Integrado*. Código: MG.01-01. Revisión: 11.0

ECASA S.A. (2020). *Manual General de Desarrollo Empresarial. Sistema de Gestión de la Comunicación Empresarial*. Revisión 1.0

ECASA S.A. (2020). *Procedimiento General. Sistema de Gestión de la Calidad. Satisfacción del Cliente*. Código: PG.01-07. Revisión: 6.0

Fundara, E. (2019). *Diagnóstico de la calidad de los servicios en el proceso de salida del Aeropuerto Internacional de Varadero Juan Gualberto Gómez*. [Tesis de Grado, Facultad de Ciencias Empresariales, Universidad de Matanzas]. Matanzas, Cuba.

Giraldo, C. M.; Muñoz, T. A.; Valderrama, A. S. y Zapata, S. (2017). La calidad percibida del servicio. Un análisis de las infraestructuras aeroportuarias. *Dimensión Empresarial*, 15(1 Especial), 61-70. DOI: <http://dx.doi.org/10.15665/rde.v15i1+E1.539>

- Hartman, G. (2015). *Estudio prospectivo estratégico para la toma de decisiones en la UEB Aeropuerto Santiago de Cuba* [Tesis de Maestría en Dirección, Universidad de Oriente]. Santiago de Cuba, Cuba.
- Hartman, G.; Ruiz, S. C. y Saumell, E. (2021). Evaluación del nivel de servicios de handling aeroportuario en una terminal aérea internacional. *Retos de la Dirección*, 15(1), 61-87. <https://revistas.reduc.edu.cu/>
- Labiosa, G. y Avendaño B. (2015). Evaluación de la Satisfacción de los Turistas del Aeropuerto Internacional de Tocumen Enfocado al Traslado Terrestre Desde y Hacia el Aeropuerto. *Journal of Undergraduate Research* 2015; Vol. (1).
- Martín, M. L. y Díaz, E. (2016). *Fundamentos de dirección de operaciones en empresas de Servicios*. Tema 8: La calidad de servicio. 2ª Edición. Business & Marketing School. © ESIC EDITORIAL
- Martínez, O. (2016). *La calidad de los servicios en los Salones VIP del Aeropuerto Internacional "José Martí"*. [Tesis de Maestría en Dirección, Centro de Estudios de Técnicas de Dirección, Facultad de Contabilidad y Finanzas, Universidad de La Habana]. La Habana, Cuba.
- Mora, C. E. (2011). La calidad del servicio y la satisfacción del consumidor. *Revista Brasileira de Marketing*, 10(2), 146-162.
- Muñiz, J. (2018). *Procedimiento para la gestión de operaciones aeroportuarias en el aeropuerto internacional "Abel Santamaría Cuadrado"* [Tesis de grado, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial, Departamento de Ingeniería Industrial]. Santa Clara, Cuba. <https://dspace.uclv.edu.cu/handle/123456789/9848>
- Nicolás, J. (2017). *Servicios Aeroportuarios. Alternativas para aumentar la satisfacción de los pasajeros* [Tesis de Maestría en Gestión de Servicios Tecnológicos y Telecomunicaciones, Universidad de San Andrés, Escuela de Administración de Negocios]. Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
- Pérez, D., Urquiola, O. y Alpizar, R. (2022). Sistema de gestión de calidad de la Universidad de Cienfuegos. *Revista Universidad y Sociedad*, 14(3), 161-169.
- Santiago, L. (2018). *Evaluación de la calidad de los servicios en la Cadena de Tiendas*

*Minoristas CIMEX, Guantánamo.* [Trabajo de Diploma. Universidad de Oriente. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales]. Santiago de Cuba, Cuba.

**MODELADO Y SIMULACIÓN DE LAS PÉRDIDAS CON CARGA  
EN UN BANCO TRIFÁSICO DE TRANSFORMADORES  
MONOFÁSICOS CON CONEXIÓN INCOMPLETA EN  
PRESENCIA DE DISTORSIÓN ARMÓNICA EN LA CARGA.**

*Modeling and simulation of load losses in a three-phase bank of single-phase transformers with incomplete connection in the presence of harmonic distortion in the load.*

Frank Grau Merconchini

Frank Ernesto López Padrón

Orestes Hernández Areu

Eduardo Sierra Gil

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Oriente, Cuba

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Oriente, Cuba

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Tecnológica de la Habana CUJAE, Cuba

<sup>2</sup>Facultad de Ingeniería Eléctrica, Universidad Ignacio Agramonte Loinaz, Cuba

## INTRODUCCIÓN

El nivel de distorsión armónica se describe por el espectro total armónico mediante las magnitudes y el ángulo de fase de cada componente individual. En la figura 1 se muestra la representación de los espectros de amplitud y fase de los armónicos presentes en una señal de corriente.

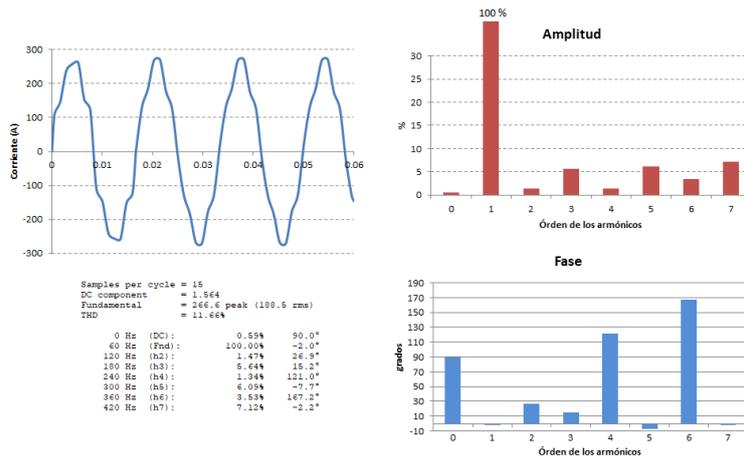


Figura 1. Espectro de amplitud y fase de una señal de corriente con contenido armónico. Fuente: Autor.

En cuanto a la presencia de armónicos en la red, en Cuba, se indica cumplir con la Norma IEC 61000-2-2 para sistemas de suministro de energía. Esta norma regula los niveles permisibles de polución armónica para los armónicos pares, impares e impares múltiplos de tres.

El indicador que frecuentemente se emplean para evaluar la distorsión armónica en la forma de onda de tensión y de corriente es la Distorsión Armónica Total (THD). El THD representa una medida expresada en porcentaje del nivel de polución armónica de un sistema, su valor puede ser calculado por la expresión:

$$THD = \sqrt{\left(\frac{RMS}{RMS_1}\right)^2 - 1} \cdot 100 \quad (1)$$

Donde:

RMS es la tensión o la corriente eficaz real medida.

RMS1 es la tensión eficaz del armónico fundamental de la señal.

THD es la Distorsión Armónica Total para la tensión (THDv) o para la corriente (THDi) expresada en porcentaje.

Tanto para las corrientes como para las tensiones, si se conocen los valores de las de estas magnitudes para cada uno de los armónicos, el THD puede ser calculado como:

$$THDi = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \cdot 100 \quad (2)$$

$$THDv = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} U_h^2}}{U_1} \cdot 100 \quad (3)$$

En la tabla que se muestra a continuación se muestran los valores empleados para evaluar el THD de corriente en sistemas de baja tensión.

Tabla 1. Valores Normados para la distorsión armónica de corriente (IEC 61000-2-2)

Factores	Valores	Observaciones
	< 10%	Situación normal no hay riesgos de mal funcionamiento.
THDi	10% -50%	Polución armónica significativa, con riesgo de elevación de la temperatura.
	>50%	Gran polución armónica, es probable el mal funcionamiento.

Entre los efectos de los armónicos en los elementos de los circuitos de distribución se pueden mencionar los siguientes (Gómez, 2014; Ruggero, 2014):

- Los armónicos producen pérdidas adicionales (efecto Joule) en los conductores y en los equipos.
- La presencia de intensidades armónicas puede requerir un nivel superior de potencia contratada, y por consiguiente, los costos aumentan.
- Los conductores deben dimensionarse teniendo en cuenta la circulación de intensidades armónicas. Debido al efecto pelicular, la resistencia de estos

conductores aumenta con la frecuencia. Para evitar pérdidas excesivas debido al efecto Joule, es necesario sobredimensionar los conductores de neutro.

- Los interruptores automáticos en las instalaciones se someten a picos de intensidad producidos por los armónicos. Estos picos producen disparos intempestivos con las consecuentes pérdidas en la producción, así como los costos correspondientes al tiempo necesario para volver a poner en funcionamiento la instalación.

Cuando el nivel de distorsión en la tensión de alimentación se aproxima al 10%, la duración de la vida útil del equipo se reduce considerablemente. La reducción se ha estimado en:

- 32,5% para máquinas monofásicas.
- 18% para máquinas trifásicas.
- 5% para transformadores.

Los transformadores se ven afectados por la circulación de corrientes con un alto contenido armónico. Estas corrientes provocan un incremento en las pérdidas y por tanto, en la temperatura de trabajo, lo que trae consigo el deterioro del aislamiento y la reducción de la vida útil de la máquina (Gómez, 2014; Ruggero, 2014).

Estos problemas causados por las cargas no lineales y su efecto en el incremento de temperatura del transformador, fueron presentados en el comité de transformadores de la IEEE, aprobándose la Norma ANSI/IEEE, que provee un procedimiento para determinar la reducción de la capacidad y la corriente permisible del transformador cuando trabaja con corrientes no sinusoidales (ANSI/IEEE Std., 1998).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### **Metodología para la estimación de las pérdidas con carga en los transformadores:**

Existe un consenso en que el efecto fundamental de los armónicos en los transformadores, es el incremento de las pérdidas y por consiguiente el calentamiento de las máquinas (Gómez, 2014; Ruggero, 2014). Existen reportes de la influencia de determinados armónicos que, por el orden de la frecuencia y las características del circuito del transformador provocan vibraciones y ruidos audibles producto de la resonancia, en cambio, este efecto indeseado carece de un tratamiento profundo pues sus efectos técnicos y económicos no son considerables (Ruggero, 2014).

Puede notarse que las pérdidas del transformador causadas por tensiones y corrientes armónicas dependen de la frecuencia de cada uno de estos armónicos, así como de la amplitud de las corrientes y tensiones presentes.

El efecto de los armónicos en transformadores está presente tanto en las pérdidas de cobre como en las pérdidas adicionales. En general, las pérdidas en los transformadores pueden ser recogidas dentro de las pérdidas con carga y en vacío del transformador.

$$p_T = p_{NLL} + p_{LL} \quad (4)$$

Donde:

$p_{NLL}$  son las pérdidas en vacío (non load loss).

$p_{LL}$  son las pérdidas con carga (load loss).

Las pérdidas en vacío o pérdidas de núcleo se deben a las variaciones del flujo que circula por el material del núcleo en el tiempo. Para valores inferiores al 8% de THDv se consideran que las pérdidas en vacío en el transformador son constantes.

Las pérdidas con carga pueden ser obtenidas de manera práctica a partir del ensayo de la máquina en cortocircuito. Esta puede expresarse de la siguiente manera:

$$p_{LL} = p_{ELEC} + p_{ED} + p_{AD} \quad (5)$$

Donde:

$p_{ELECT}$  son las pérdidas eléctricas en los devanados.

$p_{ED}$  son las pérdidas por corrientes parásitas en los devanados.

$p_{AD}$  son las pérdidas adicionales en las partes del transformador.

En la práctica, no existe un procedimiento que permita separar las pérdidas por corrientes parásitas en los devanados de las pérdidas adicionales. Por esta razón las pérdidas adicionales totales ( $p_{ADT}$ ), conformadas por la suma de  $p_{AD}$  con  $p_{ED}$ , se calculan a partir de la diferencia entre las pérdidas con carga y las pérdidas eléctricas de la forma:

$$p_{ADT} = p_{ED} + p_{AD} = p_{LL} - p_{Cu} \quad (6)$$

Donde:

$p_{Cu}$  son las pérdidas de cobre en el transformador.

Las pérdidas eléctricas serán calculadas por la expresión:

$$p_{Cu} = I^2 R_{CD} \quad (7)$$

Donde:

$I$  es el valor eficaz de la corriente de carga de transformador.

$R_{CD}$  es la resistencia de corriente directa del devanado.

A partir de la teoría del análisis de las señales periódicas no sinusoidales se conoce que, en presencia de armónicos el valor eficaz de la señal se determina por la expresión:

$$I = \sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2} \quad (8)$$

Entonces las pérdidas eléctricas se determinan como:

$$p_{ELEC} = \sum_{h=1}^{\infty} I_h^2 R_{CD} \quad (9)$$

Por su parte las pérdidas por corrientes parásitas en los devanados del transformador serán:

$$p_{ED} = p_{EDn} \cdot \sum_{h=1}^{\infty} \left(\frac{I_h}{I_n}\right)^2 h^2 \quad (10)$$

Donde:

$p_{EDn}$  son las pérdidas por corrientes parásitas nominales del transformador.

$I_n$  es el valor eficaz de la corriente nominal del transformador.

De acuerdo a la norma ANSI/IEEE C57.110 se establece que el valor nominal de las pérdidas adicionales ( $p_{ADn}$ ) es de un 67 % de las pérdidas adicionales totales ( $p_{ADT}$ ) para transformadores en aceite y de un 33 % para transformadores secos. Atendiendo a este criterio se plantea que las pérdidas adicionales se determinarán como:

$$p_{AD} = p_{ADn} \cdot \sum_{h=1}^{\infty} \left(\frac{I_h}{I_n}\right)^2 h^{0.8} \quad (11)$$

El factor de pérdidas armónicas se establece como un factor de proporcionalidad aplicado a las pérdidas en condiciones de distorsión armónica y representa la relación entre las pérdidas en el transformador con armónicos y estas pérdidas en condiciones nominales o que se tendrían con señales puramente sinusoidales (Gómez, 2014). Por definición se representan como:

$$F_{HL} = \frac{p_H}{p_n} \quad (12)$$

Donde:

$F_{HL}$  es el factor de pérdidas armónicas.

$p_H$  son las pérdidas en presencia de armónicos.

$P_n$  son las pérdidas nominales.

De esta manera tendremos que las pérdidas de cobre:

$$F_{HELEC} = \frac{p_{ELEC}}{p_{Cu}} = \frac{\sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2 R_{CD}}}{I^2 R_{CD}} = \frac{\sqrt{\sum_{h=1}^{\infty} I_h^2}}{I^2} \quad (13)$$

Para las pérdidas por corrientes parásitas:

$$F_{HED} = \frac{p_{ED}}{p_{EDn}} = \frac{p_{EDn} \cdot \sum_{h=1}^{\infty} \left(\frac{I_h}{I_n}\right)^2 h^2}{p_{EDn}} = \sum_{h=1}^{\infty} \left(\frac{I_h}{I_n}\right)^2 h^2 = \text{factor } K \quad (17)$$

Para las pérdidas adicionales:

$$F_{HAD} = \frac{p_{AD}}{p_{ADn}} = \frac{p_{ADn} \cdot \sum_{h=1}^{\infty} \left(\frac{I_h}{I_n}\right)^2 h^{0.8}}{p_{ADn}} = \sum_{h=1}^{\infty} \left(\frac{I_h}{I_n}\right)^2 h^{0.8} \quad (14)$$

A partir de este análisis es posible establecer un modelo matemático que permita determinar las pérdidas en los transformadores cuando alimentan cargas no lineales. Este modelo requiere de un conjunto de datos que comúnmente no son ofrecidos por fabricantes y por esta razón es necesario realizar ensayos de laboratorio a los transformadores. Por otra parte están los datos que son empleados para el análisis en presencia de armónicos, por lo que se requiere de realizar pruebas de campo y medir la distorsión armónica en los circuitos.

En el caso de los transformadores trifásicos, así como en los bancos trifásicos con conexión completa se ha generalizado el método analítico para determinar las pérdidas en presencia de cargas con contenido armónico (D. Pejovski, 2017). En estos casos la metodología se aplica a

partir de determinar los factores de las pérdidas de cobre, por corrientes parásitas y adicionales (16 - 18) como promedio de los mismos por fase del banco. Es decir:

$$F_{HL} = \frac{p_{H\theta A} + p_{H\theta B} + p_{H\theta C}}{3} \quad (15)$$

Donde:

$p_{HA}$ ,  $p_{HB}$ ,  $p_{HC}$  son las pérdidas debido a los armónicos para las fases A, B y C respectivamente.

Finalmente las pérdidas trifásicas del transformador o el banco se determinan al multiplicar los respectivos factores por las pérdidas nominales trifásicas.

Esta metodología arroja valores precisos en el caso de los bancos con conexión estrella – estrella y estrella – delta. No obstante, cuando los transformadores del banco no tienen igual capacidad o estos transformadores no están cargados de igual manera (sistema trifásico con presencia de cargas monofásicas), el método analítico solo ofrece las pérdidas totales trifásicas del banco y no es exacto para determinar la de cada transformador de manera individual.

#### **Implementación en un caso de estudio:**

El estudio se ha realizado en el PGD de un servicio industrial, perteneciente a la Fábrica CUBARON. Este servicio alimenta una carga en la que predominan las cargas monofásicas. El banco de transformadores está compuesto por dos transformadores monofásicos, en una conexión estrella abierta y delta con derivación central. El transformador de alumbrado tiene una capacidad nominal de 167 kVA y el de fuerza de 100 kVA. Con tensión 13,8/0,240 – 0,120 kV. La cargabilidad promedio del banco es de un 24%.

Las mediciones arrojaron una polución armónica alta, con un elevado contenido armónico en las corrientes de línea, fundamentalmente en los armónicos impares destacándose los armónicos de orden 5, 7, 9 y 13. EN la figura 2 se muestra el espectro de armónicos y su amplitud.

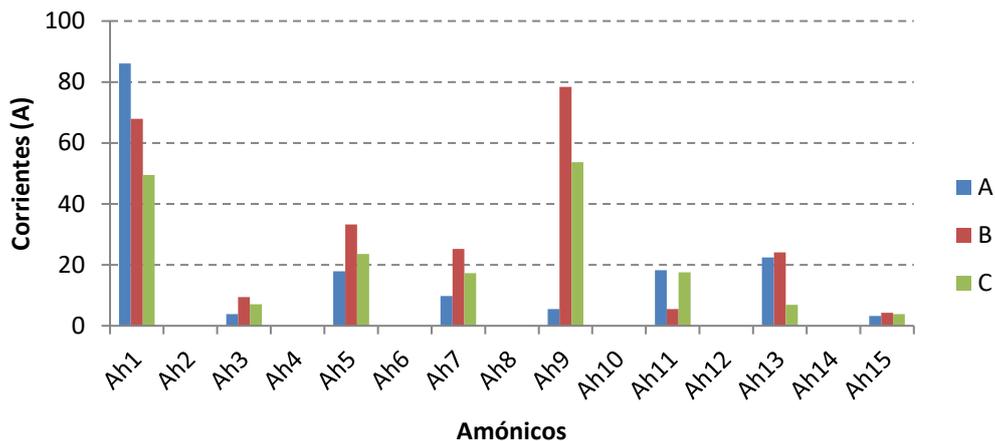


Figura 2. Resultados de las mediciones de los armónicos en el servicio. Fuente: Autor.

Como puede apreciarse, los valores de THDi se encuentran por encima del 10 % siendo más graves en las fases B y C, llegando a valores cercanos al 90% en la fase C.

### Modelado del transformador y la carga en MATLAB:

Para la simulación del transformador empleando el MATLAB, es necesario calcular primeramente los parámetros del circuito equivalente referidos al primario. Con este propósito, se parte de los datos de las pruebas de vacío y cortocircuito del transformador. Para cada una de las pruebas se obtendrán los valores de potencia, tensión y corriente, así como los valores nominales de la máquina.

En las Tabla 2 se muestran los valores resultados del circuito equivalente exacto (tabla 4).

Tabla 2. Parámetros del circuito equivalente exacto de los transformadores.

Sn (kVA)	Rama de magnetización		Devanados			
	XM (Ohm)	RC (Ohm)	R1 (Ohm)	R2 (Ohm)	X1 (Ohm)	X2 (Ohm)
100	30456,522	187236,251	4,173	0,004	4,139	0,003

---

167	23915,545	116893,350	2,425	0,002	2,263	0,002
-----	-----------	------------	-------	-------	-------	-------

Para el modelado del transformador se empleará el transformador lineal de tres devanados, proporcionado por la biblioteca SimPowerSystem del Simulink del MATLAB.

Un aspecto importante es que, el modelo permite realizar mediciones y gráficos de las tensiones y corrientes en los devanados del transformador, por lo que es posible estudiar el comportamiento de la distorsión armónica y calcular cada uno de las magnitudes de la máquina.

La simulación de la carga con presencia de armónicos consiste en implementar una fuente de corriente que demande de la red una corriente armónica con un THDi determinado. Para lograr este efecto se emplea una fuente de corriente programable, a partir de una sumatoria de señales sinusoidales que representan las componentes de la Serie de Fourier Trigonométrica, cada una con una frecuencia que es múltiplo de la frecuencia fundamental. Los valores de los armónicos son suministrados a la fuente programable mediante un subsistema que efectúa la suma de las funciones sinusoidales correspondientes a cada uno de los armónicos de la señal de corriente. La amplitud de la señal y su ángulo de desfasaje dependen del espectro de amplitud y fase obtenido en cada estudio.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dado que resulta imposible asignar a cada transformador el factor de pérdida de una fase, el método analítico de la Norma ANSI/IEEE debe ser adecuado para su aplicación en este esquema de conexión. El problema fundamental de la aplicación del método en el esquema, radica en la distribución del factor de pérdida de la fase B entre ambos transformadores y el efecto de la corriente por el neutro en el transformador de alumbrado.

Una variante posible para aplicar el método analítico, sería promediar los factores de manera tal que, al transformador de alumbrado se le aplique los factores de pérdidas promedio de las fases A y B y al transformador de fuerza se le apliquen los factores de pérdida promedio de las fases C y B (*variante 1*). La otra variante consiste en aplicar el método a partir de los factores de pérdidas promediados para el banco (*variante 2*). Los valores de los factores de pérdidas para cada una de las variantes se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Factores de pérdidas promediados para los transformadores de fuerza y alumbrado. Fuente: Autor.

Factores:	Valores de los factores por fase			Factores promediados para el banco		
	A	B	C	TA	TF	Banco 3Ø
Factor K	0,103	0,460	0,602	0,282	0,531	0,388
F <sub>AD</sub>	0,011	0,036	0,049	0,023	0,042	0,032
F <sub>ELECT</sub>	0,006	0,009	0,013	0,008	0,011	0,009

Al aplicar la *variante 1* con los factores de pérdidas “promediados” al esquema de conexión para el cálculo de las pérdidas por el método analítico, se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 4. Resultado del método analítico en el servicio empleando factores de pérdidas promediados para cada transformador. Fuente: Autor.

	P <sub>NLL</sub> (W)	P <sub>LL</sub> (W)	P <sub>ELEC</sub> (W)	P <sub>ED</sub> (W)	P <sub>AD</sub> (W)	P <sub>T</sub> (W)
TA Nominal	543	2131	1669	152,46	309,54	2674
TF Nominal	339	1315	1030	105,45	179,55	1654
TA	543,00	62,76	12,60	42,93	7,23	605,76

TF	339,00	74,81	11,22	55,99	7,60	413,81
Banco 3Ø	882	137,576	23,83	98,915	14,835	1019,576

El análisis de las pérdidas a partir del cálculo con los factores de pérdidas promediados para el banco trifásico por la *variante 2* se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Resultado del método analítico en el servicio empleando factores de pérdidas promediados para el banco trifásico. Fuente: Autor.

	$P_{NLL}(W)$	$P_{LL}(W)$	$P_{ELEC}(W)$	$P_{ED}(W)$	$P_{AD}(W)$	$P_T(W)$
3Ø Nominal	882	3446	2699	257,91	489,09	4328
Banco 3Ø	882	140,71	25,01	100,16	15,54	1022,71

Como puede apreciarse en las tablas 4 y 5, existe una diferencia importante entre los resultados obtenidos por el método analítico y el trifásico promediado, lo cual se evidencia en los valores obtenidos de las pérdidas con carga. El resultado gráfico estas pérdidas se muestran en la figura siguiente:

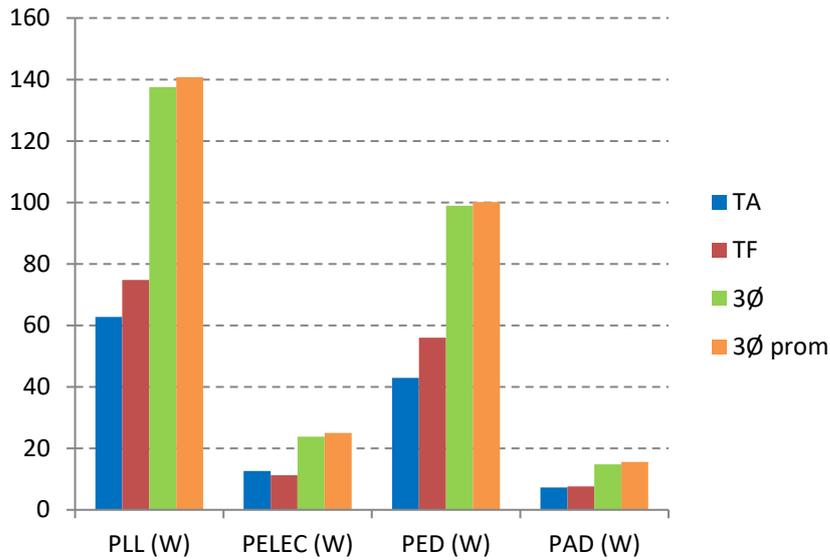


Figura 3. Pérdidas con carga (nominales y calculadas por fase) del servicio: Fábrica de Ron Matusalén.

Fuente: Autor.

Una posible validación del método analítico, en alguna de sus variantes, la daría la simulación digital del banco y la carga y el cálculo de las pérdidas eléctricas y adicionales totales.

Al realizar la simulación empleando el modelo del banco en MATLAB es posible obtener las corrientes en cada uno de los devanados para ambos transformadores del banco. En la figura 4 se muestran las corrientes y tensiones resultantes de la simulación para el transformador de alumbrado del banco.

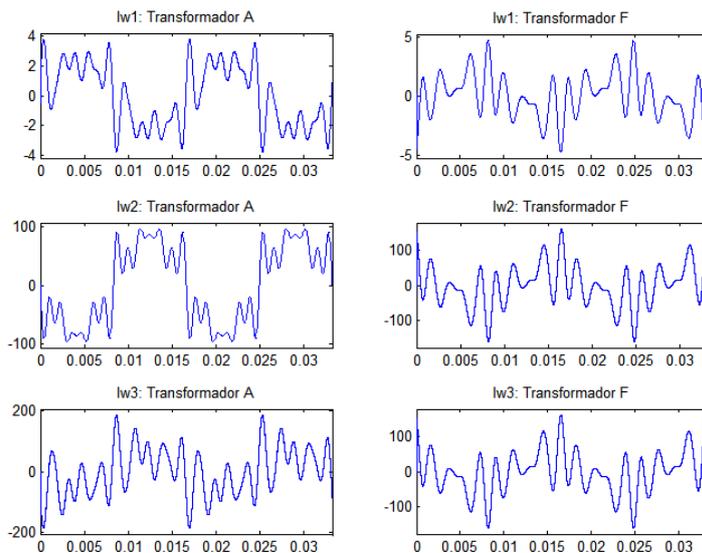


Figura 4. Resultados de las corrientes de los devanados de los transformadores de alumbrado y fuerza del banco. Fuente: Autor.

A partir de las simulaciones es posible determinar las pérdidas con carga del transformador y de ellas, pueden ser calculadas las pérdidas adicionales totales. Estas operaciones se realizan aplicando las expresiones (6 - 9) mediante las cuales es posible calcular las pérdidas adicionales totales ( $p_{ADT}$ ) como resultado de la diferencia entre las pérdidas con carga y las pérdidas de cobre o pérdidas eléctricas en cada uno de los devanados.

Para determinar las pérdidas eléctricas se emplea la expresión (9). A partir de los valores discretos obtenidos en la simulación de las corrientes en cada uno de los devanados del transformador (ver figura 12) es posible replantear esta expresión como:

$$p_{Cu} = \frac{\sum_{i=1}^N (I_i)^2 R_w}{N} \quad (16)$$

Donde:

N es el número de elementos de la data.

I es la corriente instantánea en cada uno de los devanados.

$R_w$  es la resistencia de los devanados determinada en el modelo del transformador (ver Tabla 2).

A continuación se muestran los resultados de la simulación del banco trifásico de dos transformadores monofásicos empleando el Simulink del MATLAB.

Tabla 6. Resultados de las pérdidas para el banco de transformadores empleando la simulación en MATLAB.

	$P_{NLL}$ (W)	$P_{LL}$ (W)	$P_{ELEC}$ (W)	$P_{ADT}$ (W)	$P_T$ (W)
TA	543	63,27	12,11	51,16	606,27
TF	339	75,36	10,95	64,41	414,36
Banco 3Ø	882	138,63	23,06	115,57	1020,63

Tomando como referencia el resultado de la simulación es posible establecer una comparación entre la variante 1 y la variante 2, a fin de establecer cuál de los resultados obtenidos presenta la menor dispersión con respecto al valor de la media aritmética. Los valores de desviación estándar para ambas variantes con respecto a la simulación se muestran en la figura 5.

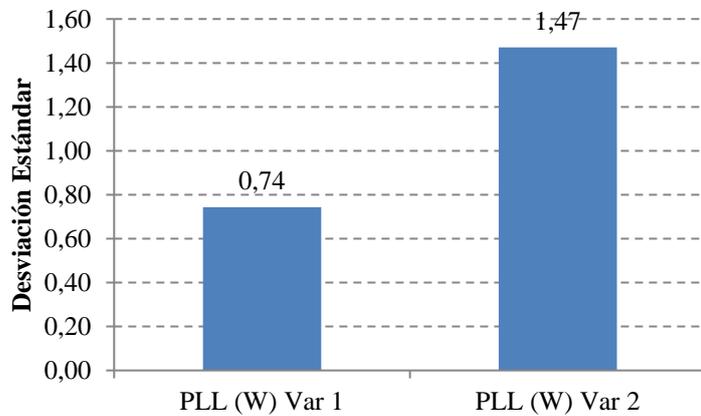


Figura 13. Desviaciones estándar de ambas variantes con respecto a la simulación. Fuente: Autor.

Como puede apreciarse, es la *variante 1* la que ofrece los resultados de pérdidas con carga más cercanos a la simulación, por lo que se considera como la variante de la metodología de la ANSI/IEEE a aplicar cuando se presentan bancos trifásicos con conexiones incompletas como la del caso de estudio.

## CONCLUSIONES

La aplicación de la metodología propuesta en la Norma ANSI/IEEE C57.110 para el cálculo de las pérdidas con carga en transformadores de distribución que sirven cargas no lineales, no se ajusta a los bancos de transformadores con conexión incompleta, por esta razón es necesaria su adecuación, la cual dependerá del esquema de conexión del banco.

La simulación del banco de transformadores en Simulink permite el cálculo de las pérdidas con carga mediante la determinación de las pérdidas totales y las pérdidas de cobre en los devanados y calculando las pérdidas adicionales totales como resultado de la diferencia entre ambas.

En bancos con conexión estrella – delta con derivación central, los resultados de la simulación son más cercanos a los del cálculo empleando la metodología cuando son promediados los factores de pérdidas para cada uno de los transformadores que forman el banco.

## REFERENCIAS

- [1]. Gómez Sarduy, Julio; Quispe, Enrique; Reyes Calvo, Royd; Sousa-Santos, Vladimir; Viego-Felipe, Percy; “Influencia de los armónicos de corriente sobre las pérdidas en los transformadores de distribución monofásicos con derivación central”; *El Hombre y la Máquina*, núm. 45, julio-diciembre, 2014, pp. 33-43, Universidad Autónoma de Occidente, Cali, Colombia. ISSN: 0121-0777.
- [2]. Ruggero Ríos, Bruno; “Incidencias de Cargas No Lineales en Transformadores de Distribución”, *Revista Científica de la UCSA*, Vol.1 N.o 1 Diciembre 2014:33-51, Asunción, Paraguay.
- [3]. ANSI/IEEE Std. C57.110-1998. IEEE, “Recommended practice for establishing transformer capability when supplying non-sinusoidal load currents”, IEEE Standards, 1998.
- [4]. Norma IEC 61000-2-2 para sistemas de suministro de alimentación de baja tensión para instalaciones.
- [5]. Gupta, A. & Singh, R. (2011). Evaluation of Distribution Transformer Losses Under Harmonic Loads Using Analytical and Simulation Methods. *International Journal on Emerging Technologies*, 2, 2, 90 - 95.
- [6]. Sadati, S. B., Yousefi, H., Darvishi, B. & Tahani, A. (December, 2008). Comparison of Distribution Transformer Losses and Capacity under Linear and Harmonic Loads. In *2nd IEEE International Conference on Power and Energy (PECon 08)*. December 1-3, 2008. Johor Baharu, Malaysia.
- [7]. Schneider Electric. (November, 2006). Transformer/Line Loss Calculations. Technical Note, 70072, 0153-07. Retrieved from <http://www.powerlogic.com/literature/70072-0153-07.pdf>.
- [8]. Yazdani-Asrami, M., Mirzaie, M. & Akmal, S. (2010). Calculation of Transformer Losses under Non-Sinusoidal Currents Using: Two Analytic Methods and Finite Element Analysis. *World Applied Sciences Journal*, 9, 8, 889 - 897.
- [9]. Kennedy, B. W. “Power Quality Primer”, Mc Graw-Hill, 2000.

# **TRATAMIENTO FITOSANITARIO A PALLETS DE MADERA RECUPERANDO EL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN EN LA CALDERA**

*Phytosanitary treatment of wooden pallets recovering the energy potential of the  
combustion gases in the boiler*

Elianne Vázquez Montero

Harold Crespo Sariol

Fredy Fong Casas

Viviana Sarandeses Robert

<sup>1</sup>Ronera Santiago de Cuba, Cuba, eliavm1995@gmail.com

<sup>2</sup>Grupo de Investigación en Acústica Aplicada, Universidad de Oriente, Cuba,

<sup>3</sup>Ronera Santiago de Cuba, Cuba, fredy@cubaronstgo.co.cu

<sup>4</sup>Ronera Santiago de Cuba, Cuba

## INTRODUCCIÓN

El comercio internacional de algunos productos de madera como pallets y cajas se identifican como una de las causas que han facilitado la introducción de patógenos e insectos en varios países del mundo. Esta invasión biológica destruye especies de plantas, causando importantes pérdidas económicas y ecológicas en muchas regiones del mundo. Los pallets de envío se utilizan para transportar y almacenar mercancías en forma de carga unitaria y son componentes esenciales de las cadenas de suministros globales para el desarrollo comercial.

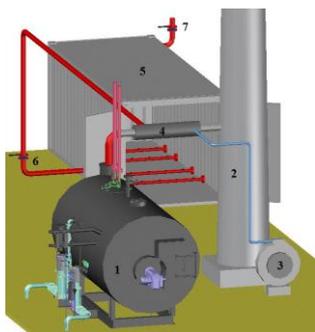
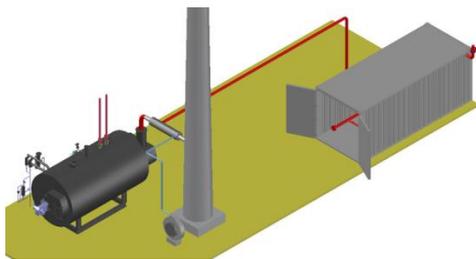
El grupo de trabajo de la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (CIPF) aprobó un reglamento en 2009 denominado “Normas internacionales para medidas fitosanitarias 15 (NIMF 15)” sobre el tratamiento fitosanitario de todos los materiales de madera comercializados. La NIMF 15 no permite tecnologías que puedan afectar la capa de ozono y su objetivo principal es evitar que el transporte internacional propague plagas que puedan afectar significativamente las plantas y/o los ecosistemas. IPSPM 15 exige que los embalajes de madera se traten térmicamente o se fumiguen con bromuro de metilo. El tratamiento térmico se encuentra entre los tratamientos autorizados mayoritariamente utilizados. Se supone que el tratamiento térmico es más amigable con el medio ambiente que la fumigación, que tiene un efecto perjudicial no solo sobre el medio ambiente sino también sobre la salud. Los gases de combustión de calderas poseen un potencial energético aprovechable para la calefacción de otros fluidos logrando mejorar la eficiencia energética en el sector industrial y reducir los costos

de producción y el impacto negativo al medio ambiente. La destilería de alcohol de la Ronera Santiago de Cuba ha encaminado un proyecto para el aprovechamiento del calor de los gases de combustión de la caldera para brindar tratamiento fitosanitario a pallets de madera para la exportación y como soporte estructural en naves durante el añejamiento natural de rones. La idea planteada en el proyecto, implica el diseño, implementación y optimización del sistema de calentamiento propuesto para lograr el tratamiento con la efectividad y eficiencia necesarias.

## 1.MATERIALES Y MÉTODOS

### 1.1 Instalación del sistema de calor convectivo

El sistema de tratamiento fitosanitario propuesto tiene como idea principal recuperar la energía térmica de los gases de escape de una caldera de destilería para calentar la cámara de tratamiento, para alcanzar las condiciones de desinfección NIMF 15. La figura 1 presenta dos vistas (aérea y detallada) del esquema 3D general/conceptual de la instalación del sistema de tratamiento térmico convectivo evaluada en este estudio.



1- Caldera

2- Chimenea

3- Ventilador

4- Intercambiador de calor aire-gases de combustión

5- Cámara de tratamiento (2,6 x 6 x 2 m)

6- Válvula (entrada de aire caliente)

7- Válvula (salida de aire caliente)

Figura 1: Esquema 3D conceptual de la instalación del sistema de tratamiento térmico convectivo estudiado.

Los paneles de control y monitoreo automático, así como los detalles del sistema de distribución de aire caliente al interior de la cámara de tratamiento no se incluyen en la figura (parte de la patente cubana). Los gases de combustión agotados (260-280°C) producidos en la caldera (1) se conducen a la chimenea (2). En el conducto de gases de escape se instala un intercambiador de calor (4) para calentar el aire que es suministrado por el ventilador (3). El aire caliente se envía a la cámara de tratamiento (5) y circula a través de la cámara mediante un sistema de distribución dedicado. El aire se inyecta desde el fondo de la cámara hacia arriba aprovechando el flujo convectivo natural.

La temperatura y el caudal del aire calentado se controlan combinando el control de la velocidad del ventilador y las válvulas automáticas de entrada y salida (6) y (7). El sistema puede proporcionar aire caliente dentro de un rango de temperatura de 60-100°C.

## 1.2 Sondas de bloque de madera y medición experimental de temperatura

El bloque es la parte más gruesa de la estructura de un pallet, por lo que el tiempo necesario para desinfectar el núcleo del bloque a la temperatura aplicada (56-57°C) será el tiempo mínimo necesario para garantizar que todas las estructuras de pallet de madera se hayan desinfectado de forma eficaz. El elemento clave a medir en este estudio es una pieza cúbica de 100 mm procedente de la esquina de un pallet de madera de pino seleccionado tipo GMA. Como se explicó, esta elección está justificada por consideraciones geométricas, ya que esta parte tarda más tiempo en desinfectarse por la temperatura de eliminación de patógenos.

Los nueve bloques cúbicos de pino (Fig.2 (A)) se utilizaron como sondas para obtener los datos experimentales de la temperatura central en función de las curvas de tiempo. Cada sonda de bloque se colocó en diferentes posiciones específicas en la cámara de tratamiento. La humedad de equilibrio aire-madera de las sondas se midió con un humidímetro multifunción PCE-MMK. La humedad de equilibrio promedio en las muestras fue de 11,5%. Las propiedades

termo-físicas de la madera de pino para los cálculos de transferencia de calor se consideraron constantes en el rango de temperatura estudiado de la siguiente manera: calor específico de la madera  $C_p = 1,38 \text{ kJ}/(\text{kg}^\circ\text{C})$  y conductividad térmica de la madera  $k_w = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^\circ\text{C})$  [16, 18]. La densidad de cada sonda se determinó pesando directamente el bloque en una balanza AND FX-1200i ( $\pm 0,01 \text{ g}$ ).

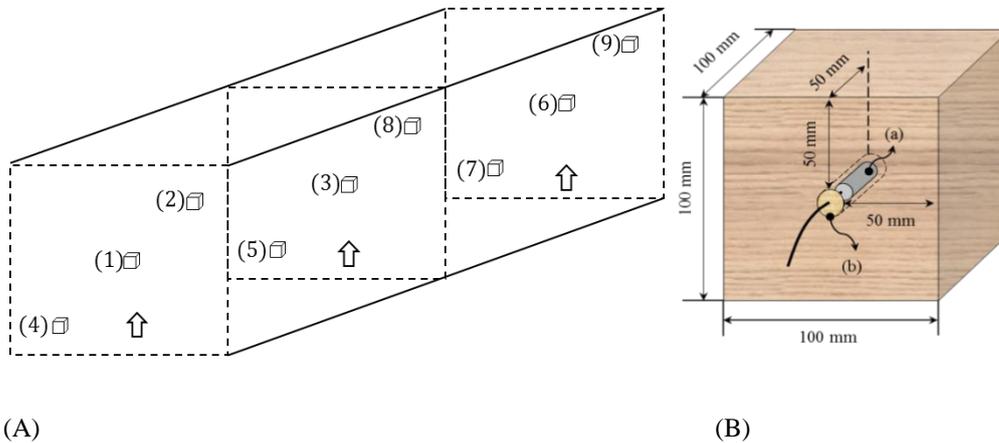


Figura 2: (A) Disposición de la posición de las sondas en la cámara (flechas: alimentación de aire caliente desde la parte inferior) y (B) diagrama general de una sonda de bloque de pino cúbico (100 mm) y la ubicación del sensor de temperatura. (a): sensor de temperatura. (b): sello.

Se prepararon las sondas cúbicas perforando un orificio centrado de 5 mm de diámetro y 50 mm de profundidad desde la superficie de la madera donde se colocó un sensor de temperatura tipo PT100: B01BLCD41M / EP (rango 40 a 400°C; coeficiente de temperatura:  $3.851 \cdot 10^{-3} / \text{K}$ , Clase B: ( $\pm 0,3 \text{ }^\circ\text{C} + 0,5 \%$ )) se introdujo firmemente para medir la temperatura central de la sonda de madera (Fig. 2 (B)). Luego, el estrecho espacio libre entre el cable del sensor y el orificio en la superficie de la sonda se selló con una mezcla de virutas de madera de pino en polvo con resina epoxi para evitar el contacto directo del aire caliente del ambiente con el sensor, disminuyendo así el error experimental. Una vez distribuidas las sondas cúbicas (Fig. 2 (A)) en diferentes posiciones en la cámara de calentamiento (que se cargó a plena capacidad de pallets), se registraron los datos de temperatura del núcleo de las sondas en función del tiempo, en el PC instalado en un panel de control SIEMENS®. La temperatura central de las nueve sondas cúbicas se registraron cada 30 minutos hasta que se alcanzó una temperatura constante en el núcleo de la sonda de madera e igual al ambiente de aire caliente en la cámara a 77°C. El trazado, procesamiento y análisis de los datos se realizó aplicando el software MATLAB® y Origin 8.1®.

### 1.3 Enfoque del modelo matemático

El problema de conducción de calor no lineal para la sonda cúbica de pino se resuelve a través del análisis de elementos finitos 3D mediante la aplicación del método de balance de energía en un volumen de control que se discretiza en función del modelo totalmente implícito [18]. La figura 3 representa un esquema espacial de la sonda de madera cúbica de 100mm. Dado que la geometría cúbica tiene una simetría regular, el perfil de temperatura en el dominio del tiempo de toda la sonda se puede representar mediante cubos básicos iguales de 1/8 de 50 mm (línea continua en negrita en la Fig. 3) con un vértice interno común (el núcleo de la sonda, resaltado en rojo).

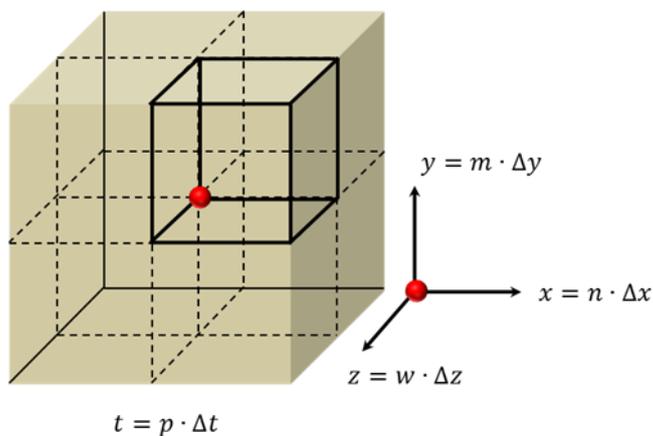


Figura 3: Esquema espacial de una sonda cúbica de madera de 100 mm dividida simétricamente en cubos básicos iguales de 1/8 de 50mm (línea continua en negrita). El núcleo de la sonda como vértice común está resaltado en rojo.

El cambio de temperatura en el dominio del tiempo (t) para cualquier punto nodal (x, y, z) en el cubo básico de 50 mm se puede representar de forma discreta aplicando las transformaciones discretas de la siguiente manera:

$$y = m \cdot \Delta y, x = n \cdot \Delta x, z = w \cdot \Delta z, t = p \cdot \Delta t$$

Donde:

m, n, w y t son las coordenadas discretas y  $\Delta y$ ,  $\Delta x$ ,  $\Delta z$  y  $\Delta t$  son los diferenciales discretos (pasos) para las dimensiones y, x y z y el tiempo respectivamente.

Los diferenciales discretos en todas las dimensiones espaciales se distribuyeron por igual como ( $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 25$  mm) para simplificar los cálculos y el diferencial de tiempo aplicado fue  $\Delta t = 600$ s (10 minutos).

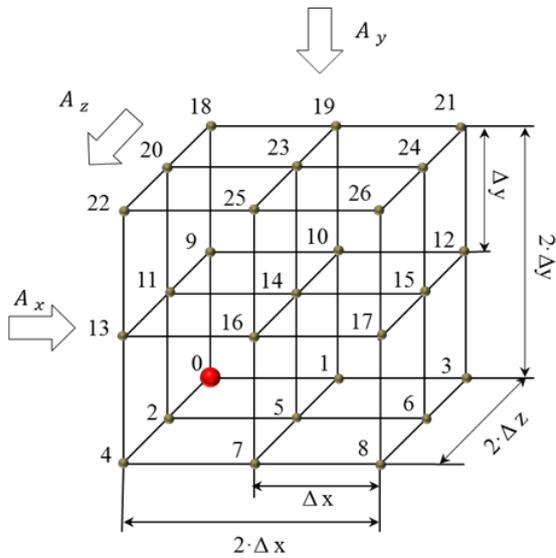
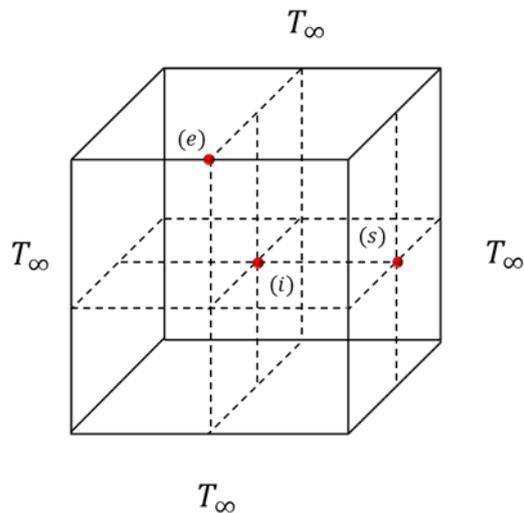


Figura 4: Esquema reticular de un volumen de control cúbico de  $2 \cdot \Delta x$  y nodos generados para el balance de energía en el cubo de 50 mm simétrico de  $1/8$  de sonda cúbica de 100 mm completa.  
 $T_0$ : Temperatura central de toda la sonda cúbica de 100 mm.



Nodos de borde (e):

8, 17, 21, 22, 24, 25, 26

Nodos internos (i):

0 (centro), 1, 2, 5, 9, 10, 11, 14

Figura 5: Ejemplos de tipos de nodos para el balance de energía en toda la sonda cúbica de 100 mm.  $T_\infty$ : Temperatura ambiente (aire).

Nodos de superficie o pared (s):

3, 4, 6, 7, 12, 13, 15, 16, 18, 19, 20, 23

El balance de energía se realizó en  $2 \cdot \Delta x$  volumen de control cúbico como se presenta en la Fig.2. Por lo tanto, como  $\Delta x = \Delta y = \Delta z$ , el volumen de control ( $V_c$ ) para el balance de calor corresponde a la ecuación 1:

$$V_c = 2 \cdot \Delta x \cdot 2 \cdot \Delta y \cdot 2 \cdot \Delta z = 8 \cdot (\Delta x)^3 \quad (1)$$

En base al esquema reticular del volumen de control se generan un total de 27 nodos. Las áreas de transporte de energía Ax, Ay y Az y sus direcciones de flujo (flechas) para las tres dimensiones también se indican en la Fig.4.

Con base en los nodos generados en el esquema reticular de la Fig.4, en la Fig.5 se muestra una clasificación y ejemplos de tipos de nodos.

Los resultados de la clasificación de los nodos son cruciales para obtener las ecuaciones de balance de energía para describir los cambios de temperatura en el dominio del tiempo, como se discutirá más adelante.

También se aplicaron criterios de simetría en la Fig. 4 para identificar los nodos homólogos de la siguiente manera:

$$(T_1 = T_2 = T_9), (T_3 = T_4 = T_{18}) \quad , (T_5 = T_{10} = T_{11}) \quad , (T_6 = T_7 = T_{12} = T_{13} = T_{19} = T_{20}), (T_8 = T_{21} = T_{22}), (T_{15} = T_{16} = T_{23}), (T_{17} = T_{24} = T_{25})$$

La ecuación general de balance de energía aplicada a la mitad de Vc se puede escribir como:

$$\rho \cdot C_p \cdot \left(\frac{V_c}{2}\right) \cdot \frac{\partial T}{\partial t} = Q_x + Q_y + Q_z \quad (2)$$

Donde:

$\rho$ : densidad de la madera (en kg/m<sup>3</sup>).

Cp: capacidad calorífica de la madera (enJ/ C°·kg-1).

T: temperatura (en °C).

t: tiempo (en s).

$Q_x, Q_y, Q_z$ : Flujo de calor transportado a través de los planos (x,y),(y,z) y (x,z) respectivamente (en W).

Luego, discretizando la ecuación 2 y combinándola con la ecuación 1 se obtiene:

$$\rho \cdot C_p \cdot 4 \cdot (\Delta x)^3 \cdot \left( \frac{T_{n,m,w}^{P+1} - T_{n,m,w}^P}{\Delta t} \right) = Q_x + Q_y + Q_z \quad (3)$$

$T_{n,m,w}^P$ : Temperatura en un punto de coordenadas n,m,w en un tiempo (t)→p

$T_{n,m,w}^{P+1}$ : Temperatura en un punto de coordenadas n,m,w en un incremento de tiempo (t+Δt)→p+1

El término correcto del balance de energía discreto (ecuación 3) se desarrolla de acuerdo con el tipo de nodo analizado de la siguiente manera.

Ecuación discreta de transferencia de calor para puntos internos, tipo (i)

Para los nodos internos (i) (Fig.6) el calor es transportado solamente por el mecanismo de conducción. Por lo tanto, en este caso los balances de energía para los planos (x,y),(y,z) y (x,z) se discretizaron convenientemente en la mitad del volumen de control como:

$$Q_x = A_x \cdot \left( \frac{k_w}{\Delta x} \cdot (T_{n+1,m,w}^{P+1} - T_{n,m,w}^{P+1}) - \frac{k_w}{\Delta x} \cdot (T_{n,m,w}^{P+1} - T_{n-1,m,w}^{P+1}) \right) \quad (4)$$

$$Q_y = A_y \cdot \left( \frac{k_w}{\Delta y} \cdot (T_{n,m+1,w}^{P+1} - T_{n,m,w}^{P+1}) - \frac{k_w}{\Delta y} \cdot (T_{n,m,w}^{P+1} - T_{n,m-1,w}^{P+1}) \right) \quad (5)$$

$$Q_z = A_z \cdot \left( \frac{k_w}{\Delta z} \cdot (T_{n,m,w+1}^{P+1} - T_{n,m,w}^{P+1}) - \frac{k_w}{\Delta z} \cdot (T_{n,m,w}^{P+1} - T_{n,m,w-1}^{P+1}) \right) \quad (6)$$

$A_x, A_y, A_z$ : Área de flujo de calor en los planos (x,y),(y,z) y (x,z) para el balance de energía del volumen de control (en m<sup>2</sup>).

$k_w$ : Conductividad térmica de la madera (en W/m°C).

Teniendo  $\Delta x = \Delta y = \Delta z$  y la misma área de flujo de calor para todas las dimensiones, se obtiene:

$$A_x = 2 \cdot \Delta x \cdot 2 \cdot \Delta y = 4 \cdot (\Delta x)^2 = A_y = A_z \quad (7)$$

Combinando ecuaciones 3, 4, 5, 6 y 7, la temperatura de cualquier nodo interno de coordenada n,m,w en función del tiempo ( $T_{n,m,w}^{P+1}$ ) en la sonda cúbica de madera puede ser determinado por la ecuación 8:

$$T_{n,m,w}^{P+1} = \frac{Fo \cdot (T_{n+1,m,w}^{P+1} + T_{n-1,m,w}^{P+1} + T_{n,m+1,w}^{P+1} + T_{n,m-1,w}^{P+1} + T_{n,m,w+1}^{P+1} + T_{n,m,w-1}^{P+1})}{(1 + 6 \cdot Fo)} + \frac{T_{n,m,w}^P}{(1 + 6 \cdot Fo)} \quad (8)$$

Siendo  $Fo$ : el número de Fourier (adimensional) que se define por la ecuación 9 como:

$$Fo = \frac{k_w \cdot \Delta t}{\rho \cdot C_p \cdot (\Delta x)^2} \quad (9)$$

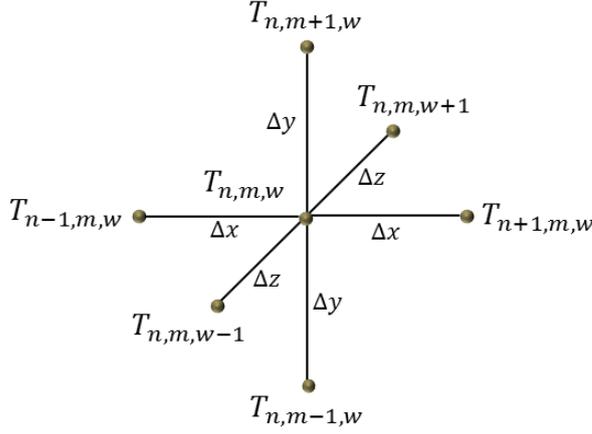


Figura 6: Esquema reticular 3D de un nodo interno tipo (i) de coordenadas n,m,w.

Con base en los criterios de simetría, para el núcleo de la sonda cúbica de madera (nodo (0)), la ecuación 8 se puede simplificar como:

$$T_{n,m,w}^{P+1} = \frac{2 \cdot Fo \cdot (T_{n+1,m,w}^{P+1} + T_{n,m+1,w}^{P+1} + T_{n,m,w+1}^{P+1})}{(1 + 6 \cdot Fo)} + \frac{T_{n,m,w}^P}{(1 + 6 \cdot Fo)} \quad (10)$$

Ecuación discreta de transferencia de calor para nodos de superficie o pared, tipo (s).

Para los nodos de superficie o pared "tipo (s)" representados en la Fig.9, el balance de calor comprende dos mecanismos diferentes. El nodo de pared recibe el calor por convección del ambiente de aire caliente a temperatura ( $T_\infty$ ), luego el calor es transportado por conducción a los nodos de pared internos y vecinos en la sonda de madera.

Por lo tanto, en este caso, los balances de energía para los planos (x,y),(y,z) y (x,z) se discretizaron convenientemente en la mitad del volumen de control como:

$$Q_x = A_x \cdot \left( h \cdot (T_\infty - T_{n,m,w}^{P+1}) - \frac{k_w}{\Delta x} \cdot (T_{n,m,w}^{P+1} - T_{n-1,m,w}^{P+1}) \right) \quad (11)$$

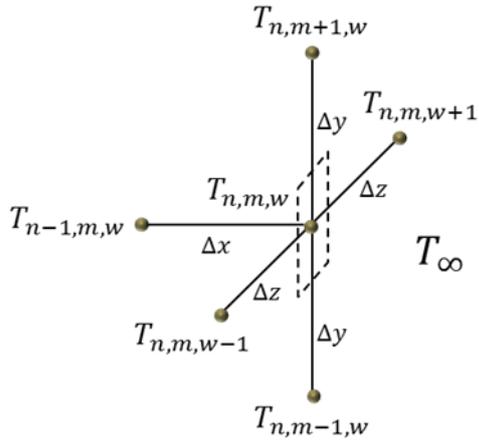


Figura 7: Esquema 3D reticular de un nodo de superficie o pared “tipo(s)” de coordenadas discretas  $n,m,w$ . La línea discontinua indica el plano de la pared/superficie.

Donde:

$$A_x = 2 \cdot \Delta x \cdot 2 \cdot \Delta y = 4 \cdot (\Delta x)^2 \quad (12)$$

$h$ : coeficiente de transporte de calor (en  $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ).

$T_\infty$ : temperatura del aire en la cámara (en  $^\circ C$ ).

Para el plano  $(y,z)$ , el balance de calor da:

$$Q_y = A_y \cdot \left( \frac{k_w}{\Delta y} \cdot (T_{n,m+1,w}^{P+1} - T_{n,m,w}^{P+1}) - \frac{k_w}{\Delta y} \cdot (T_{n,m,w}^{P+1} - T_{n,m-1,w}^{P+1}) \right) \quad (13)$$

$$Q_z = A_z \cdot \left( \frac{k_w}{\Delta z} \cdot (T_{n,m,w+1}^{P+1} - T_{n,m,w}^{P+1}) - \frac{k_w}{\Delta z} \cdot (T_{n,m,w}^{P+1} - T_{n,m,w-1}^{P+1}) \right) \quad (14)$$

Tener:

$$A_y = 2 \cdot \Delta z \cdot \Delta x = A_z = 2 \cdot \Delta y \cdot \Delta x = 2 \cdot (\Delta x)^2 \quad (15)$$

Combinando el equilibrio general ecuación 3 con ecuaciones 11-15, la temperatura de cualquier pared/nodo de superficie de coordenada discreta n,m,w en función del tiempo se puede determinar mediante ecuación 16:

$$T_{n,m,w}^{P+1} = \frac{Fo \cdot (T_{n,m+1,w}^{P+1} + T_{n,m-1,w}^{P+1} + T_{n,m,w+1}^{P+1} + T_{n,m-1,w-1}^{P+1})}{2 \cdot (1 + Fo \cdot (3 + Biot))} + \frac{Fo \cdot T_{n-1,m,w}^{P+1}}{(1 + Fo \cdot (3 + Biot))} + \frac{Biot \cdot Fo \cdot T_{\infty}}{(1 + Fo \cdot (3 + Biot))} + \frac{T_{n,m,w}^P}{(1 + Fo \cdot (3 + Biot))} \quad (16)$$

Con Biot: el número de Biot (adimensional) que se define en la ecuación 17 como:

$$Biot = \frac{h \cdot \Delta x}{k_w} \quad (17)$$

Ecuación discreta de transferencia de calor para nodos de borde, tipo (e):

Los nodos de borde también se pueden utilizar como nodos de borde de pared en la confluencia de dos planos. La figura 6 presenta un esquema 3D reticular de un nodo de borde "tipo (e)" de coordenadas n,m,w. El calor transportado en la dirección del borde (a través del plano x;y) se puede modelar mediante la ecuación 18.

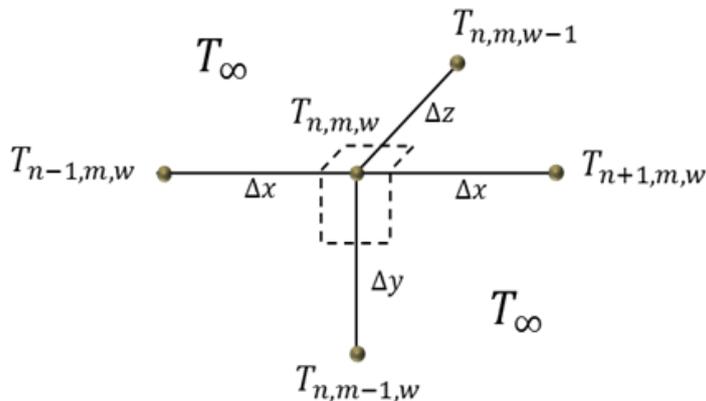


Figura 8: Esquema 3D reticular de un nodo de borde “tipo (e)” de coordenadas n,m,w. La línea discontinua indica la confluencia de los planos x;y y x;z para formar el borde en este caso.

$$Q_x = A_x \cdot \left( \frac{k_w}{\Delta x} \cdot (T_{n+1,m,w}^{P+1} - T_{n,m,w}^{P+1}) - \frac{k_w}{\Delta x} \cdot (T_{n,m,w}^{P+1} - T_{n-1,m,w}^{P+1}) \right) \quad (18)$$

Donde:

$$A_x = \Delta y \cdot \Delta z = (\Delta x)^2 \quad (19)$$

Y para el calor transportado en las direcciones y y z, el balance de energía da:

$$Q_y = A_y \cdot \left( h \cdot (T_\infty - T_{n,m,w}^{P+1}) - \frac{k_w}{\Delta y} \cdot (T_{n,m,w}^{P+1} - T_{n,m-1,w}^{P+1}) \right) \quad (20)$$

$$Q_z = A_z \cdot \left( h \cdot (T_\infty - T_{n,m,w}^{P+1}) - \frac{k_w}{\Delta y} \cdot (T_{n,m,w}^{P+1} - T_{n,m,w-1}^{P+1}) \right) \quad (21)$$

Teniendo:

$$A_y = 2 \cdot \Delta x \cdot \Delta z = A_z = 2 \cdot \Delta x \cdot \Delta y = 2 \cdot (\Delta x)^2 \quad (22)$$

Así, combinando las ecuaciones 3 y 18-22, la temperatura de cualquier nodo de borde de coordenadas discretas n,m,w como función del tiempo puede determinarse mediante la ecuación 23:

$$\begin{aligned}
T_{n,m,w}^{P+1} = & \frac{Fo \cdot (T_{n+1,m,w}^{P+1} + T_{n-1,m,w}^{P+1})}{(2 + Fo \cdot (3 + 2 \cdot Biot))} + \frac{2 \cdot Biot \cdot Fo \cdot T_{\infty}}{(2 + Fo \cdot (3 + 2 \cdot Biot))} \\
& + \frac{Fo \cdot (T_{n,m-1,w}^{P+1} + T_{n,m,w-1}^{P+1})}{(2 + Fo \cdot (3 + 2 \cdot Biot))} + \frac{2 \cdot T_{n,m,w}^P}{(2 + Fo \cdot (3 + 2 \cdot Biot))}
\end{aligned} \tag{23}$$

El nodo de esquina (punto (26) en la Fig. 4) es un tipo especial de nodo de borde. En este caso, realizando un análisis energético y geométrico similar al descrito anteriormente, la temperatura de cada esquina en función del tiempo de la sonda de madera se puede determinar mediante la ecuación 24:

$$\begin{aligned}
T_{n,m,w}^{P+1} = & \frac{Fo \cdot (T_{n-1,m,w}^{P+1} + T_{n,m-1,w}^{P+1} + T_{n,m,w-1}^{P+1})}{(2 + 3 \cdot Fo \cdot (1 + Biot))} + \frac{3 \cdot Biot \cdot Fo \cdot T_{\infty}}{(2 + 3 \cdot Fo \cdot (1 + Biot))} \\
& + \frac{2 \cdot T_{n,m,w}^P}{(2 + 3 \cdot Fo \cdot (1 + Biot))}
\end{aligned} \tag{24}$$

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La figura 11 muestra los datos experimentales de la temperatura central ( $T_0$ ) en función del tiempo para las nueve sondas cúbicas de madera. Las sondas se colocaron en diferentes puntos de la cámara de tratamiento (Fig. 4) para calcular y comparar la distribución del flujo de calor en cada posición específica estudiada.

Los datos de temperatura central se registraron simultáneamente en el panel del sistema de control. Al iniciar el proceso de medición (tiempo “0”), la temperatura inicial de cada sonda fue diferente variando entre 28-37°C como se presenta en la columna 2 ( $T_{(ini.)}$  (°C)) de la Tabla 2.

A pesar de las temperaturas iniciales y la ubicación de las sondas en la cámara de tratamiento, después de 400 minutos todas alcanzan la misma temperatura ambiente de la cámara que se fijó en 77°C. Todas las curvas presentan el mismo comportamiento, en los primeros 100 minutos, la

temperatura aumenta con el cambio de velocidad de calentamiento de unos 0,25-0,3°C/min debido al gradiente de temperatura entre la sonda y el ambiente.

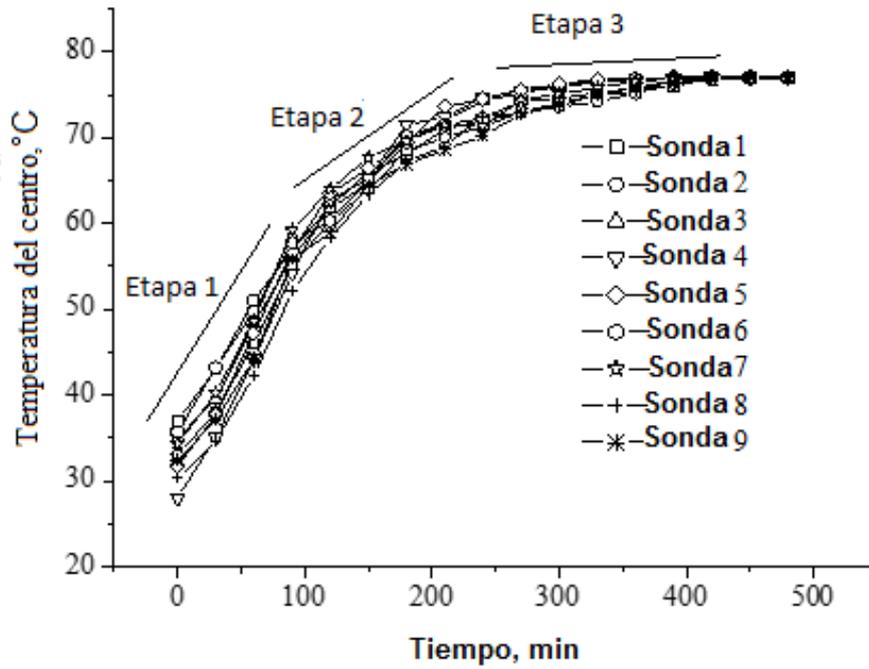


Figura 9: Datos experimentales de la temperatura central de las sondas de bloque de madera  $T_0$  (en °C) en función del tiempo (en minutos).

Tabla 1: Parámetros termo-físicos y estadísticos de ajuste para las sondas cúbicas de madera.

Etapas	$T_{ini}$ (°C)	$\rho_i$ (kg/m <sup>3</sup> )	$R^2$	$m$	$S_{op}$	$h_i$ (W/m <sup>2</sup> .°C)
1	37.0	510	0.9898	1.0030	0.0106	6.90
2	33.1	513	0.9940	1.0009	0.0061	6.40
3	35.0	503	0.9980	0.9999	0.0024	7.55
4	28.2	517	0.9979	0.9997	0.0021	9.80

5	31.7	511	0.9980	1.0001	0.0020	9.50
6	35.6	505	0.9890	1.0007	0.0114	7.10
7	34.3	514	0.9911	1.0036	0.0960	8.90
8	30.3	509	0.9983	1.0011	0.0017	6.10
9	32.4	512	0.9920	1.0011	0.0083	6.25

Ti: temperatura inicial (en °C).

$\rho$ : densidad de la sonda (en kg/m<sup>3</sup>).

R<sup>2</sup>: coeficiente de regresión de ajuste (adimensional).

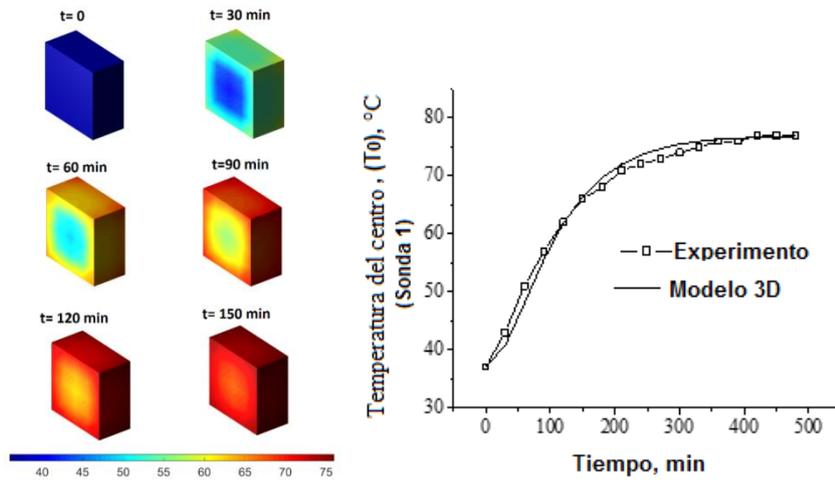
m: pendiente del modelo lineal ajustado entre los datos del modelo finito experimental y 3D (adimensional).

Sop: coeficiente de desviación óptimo (mínimo) (adimensional).

hi: coeficiente de transferencia de calor calculado para una sonda "i" (en W/(m<sup>2</sup>°C)).

En la segunda etapa de 100-250 minutos se puede notar un cambio de temperatura más lento en el rango de 0.1-0.15°C/min. La última etapa de calentamiento, que se establece después de 250 minutos, presenta la menor tasa de cambio de temperatura hasta alcanzar el equilibrio temperatura sonda-ambiente.

Los datos experimentales ajustados para la temperatura central de la sonda 1 al modelo finito 3D también se presentan en la Fig. 12 (B). En este caso, la bondad de ajuste óptima se obtuvo con un coeficiente de transferencia de calor  $h_{1} = 6,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{°C})$ .



(A)

(B)

Figura 10: (A) simulación del proceso de calentamiento 3D de la sonda 1 y (B) datos experimentales de la temperatura central (en °C) en función del tiempo (en minutos) ajustados al modelo finito 3D. Coeficiente de transferencia de calor para una bondad de ajuste óptima  $h_1 = 6,9 \text{ W}/(\text{m}^2\text{°C})$  (Tabla 1).

De acuerdo a los resultados presentados en la Tabla 1, el modelo finito 3D propuesto describe satisfactoriamente los datos experimentales con coeficientes de regresión superiores a 0.98 en todos los casos.

El objetivo más importante de este análisis y modelado matemático es utilizar los resultados para optimizar el consumo de energía y tiempo para el sistema de tratamiento fitosanitario por convección estudiado.

En el rango de temperatura del aire de 80 a 100°C, los cambios en el tiempo mínimo de tratamiento no son tan significativos (-1 a -2 min/°C) en comparación con el rango de 60 a 80°C que desciende a una tasa de retraso de casi -10 min/°C. Por tanto, la temperatura óptima del aire en la instalación de tratamiento fitosanitario estudiada es de 80°C.

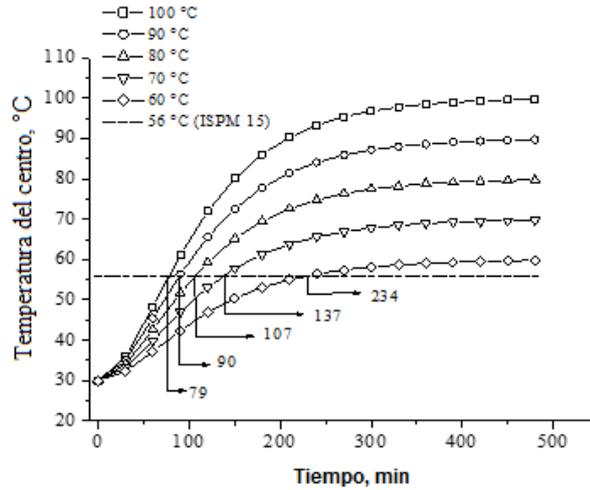


Figura 11: Curvas de calentamiento simuladas de la temperatura del núcleo de la madera en función del tiempo de tratamiento aplicando el modelo finito 3D a diferentes temperaturas del aire.

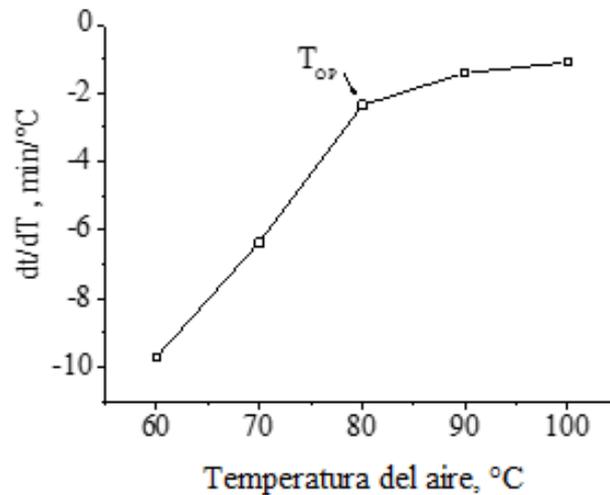


Figura 12: Análisis derivado del cambio del tiempo de tratamiento en función de la temperatura del aire aplicado en la cámara. Top: Temperatura del aire óptima para el tratamiento fitosanitario.

La idea es reducir los efectos derivados de un régimen térmico agresivo para evitar posibles daños a las propiedades de la madera, pero asegurando una desinfección eficiente y un flujo productivo. Una temperatura del aire de 80°C es la temperatura más adecuada para cumplir con los criterios de optimización. Por lo tanto, las condiciones óptimas de operación para la instalación de tratamiento fitosanitario estudiada son las siguientes: temperatura del aire de 80°C y tiempo de tratamiento de 107+30 min =137 min.

## CONCLUSIONES

1. Se diseñó un sistema de tratamiento fitosanitario a partir de la recuperación de calor de los gases de escape de la caldera de la Destilería de Santiago de Cuba demostrando ser una solución

eficiente y económica para garantizar la desinfección de pallets de madera según la normativa ISPM 15.

2. Fue desarrollado y validado un modelo matemático 3D en elementos finitos para el balance de energía no-estacionario en un volumen de control, el cual demostró ser una herramienta útil para optimizar los parámetros operativos de la temperatura del aire de tratamiento convectivo y el tiempo de residencia. A partir de este estudio de modelado, no solo es posible calcular con precisión el tiempo necesario para alcanzar la temperatura de desinfección de 56°C, sino también predecir la fiabilidad del tratamiento fitosanitario convectivo y evaluar la eficacia de la distribución del calor en la cámara de tratamiento. La bondad de ajuste entre los datos experimentales de la temperatura central de la madera en función del tiempo y el modelo 3D mostró coeficientes de correlación satisfactorios superiores a 0,98 para las nueve sondas de madera analizadas. La bondad del ajuste se puede optimizar en función del análisis de una función de desviación en la correlación lineal entre los datos simulados del modelo experimental y 3D.
3. Se encontraron condiciones óptimas para el sistema estudiado con temperatura del aire a 80°C y tiempo de tratamiento de 137 minutos para los pallets de tipo bloque de pino. Este enfoque matemático no se limita a las condiciones presentadas, por lo que puede utilizarse como herramienta para evaluar sistemas de tratamiento térmico para diferentes materiales de madera, sistemas de calentamiento por convección y geometrías variadas.

#### REFERENCIAS

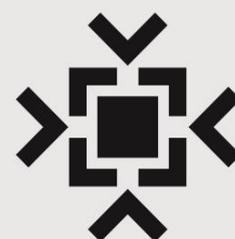
Fredy Fong Casas, Harold Crespo Sariol, Ángel Sánchez Roca, José Lassalle Dieguez, Jan Yperman, Dries Vandamme, Robert Carlee. 2023. 3D finite heat transfer method to optimize a hot air convective

system for phytosanitary treatment of wood pallets. *Energ. Ecol. Environ.*

<https://doi.org/10.1007/s40974-023-00275-8>

El desarrollo sostenible es aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones, garantizando el equilibrio entre el crecimiento económico, el cuidado del medio ambiente y el bienestar social. Ese desarrollo sostenible está basado en la aplicación de las tecnologías sostenibles. Las cuales buscan hacer mejor uso de los recursos naturales, con la intención de generar un menor impacto durante la vida útil de los aparatos o dispositivos tecnológicos, ya que propone utilizar métodos innovadores para la creación de productos respetuosos con el medio ambiente, desde el momento de la extracción de la materia prima hasta la respectiva disposición final. Estos conceptos justifican la inclusión del Simposio 7 “Tecnologías, Producciones y Procesos Industriales para el Desarrollo Sostenible” en la III Convención de Ciencia y Conciencia de la Universidad de Oriente.

ISBN: 978-959-207-720-1



**Ediciones UO**