



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO®



ISSN: 2992-7102

REVISTA DE INVESTIGACIÓN

Edición Especial

VOLUMEN
06

JULIO - DICIEMBRE 2025

Nº 2



**REVISTA DE INVESTIGACIÓN
UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA JUSTO SIERRA
JULIO-DICIEMBRE 2025**

ISSN: 2992-7102

Rector

Dr. Alejandro de Jesús Baqueiro Guillen

Consejo Editorial de la Revista UHJS

Dr. Darwin de Jesús Chi Moreno

Editor

Lic. Armida Guadalupe Cruz Miss

Corrección de Formato y estilo

Diseño

Lic. Miguel Ángel Yanes Tun

Diseño y página Web

Colaboradores

Lic. Alejandra de la Luz Baqueiro Pérez

Traducción y corrector en inglés

Mtra. Jacquelín Chablé Sánchez

Fotografía y recursos visuales

Revista de Investigación, volumen 6, número 2, julio-diciembre 2025, es una publicación semestral editada por la Universidad Hispanoamerica Justo Sierra S.C., con domicilio en prolongación avenida del duque, número 23, esquina calle jade, Colonia Vicente Guerrero, C.P. 24035, San Francisco de Campeche, Campeche, teléfono 9811445945. Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título, número 04-2023-041910154400-102, expedido por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. ISSN 2992-7102. Responsable de la última actualización: Darwin de Jesús Chi Moreno, responsable de la Coordinación de Investigación y Vinculación Académica. Distribución electrónica gratuita. La responsabilidad de los artículos publicados en la Revista de Investigación recae de manera exclusiva en sus autores, y, no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación. Se autoriza la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes, con fines no lucrativos y con la condición de citar la fuente, respetando los derechos de autor; su uso para otros fines, requiere previa autorización por escrito de la Universidad Hispanoamerica Justo Sierra S.C.. El contenido actualizado de la Revista de Investigación se encuentra disponibles en acceso abierto en <https://www.uhjs.edu.mx/index.php/editoral/revista-digital/>

SUMARIO

TABLE OF CONTENTS

Presentación / Presentation

Volumen 6	Pág.
Alejandro de Jesús Baqueiro Guillen y Darwin de Jesús Chi Moreno	4

Artículos / Articles

	Pág.
Enseñanza del electromagnetismo en ingeniería ferroviaria aplicando la metodología activa: STEM. Alonzo Enrique González Aguilar ¹ , Joaquín Eduardo Quiroz Partida ² , Jesús Isidro López Vázquez ³ y Neyda Rocio Moreno Guzmán ⁴ .	5
Eficiencia energética e implementación de tecnología renovable para optimizar el uso de la energía en una planta de bombeo. Mauricio Ivan Huchin Miss ¹ , Germán Escalante Notario ² y Ana Maria Zunza Carenzo ³ .	15
Propuesta de diseño de un modelo de seguridad e higiene industrial con sensores IOT y visión artificial en la empresa mariscos Márquez. José Antonio Lara Chi ¹ , Héctor Manuel Valles Zurita ² , Ricardo Armando Pérez Chuc ³ , Juan Humberto Mangas Estrella ⁴ y Fernando Enrique Vela León ⁵ .	25
Tecnología para la construcción sostenible con perspectiva de género en la Zona de Calkiní Campeche.	43

Elsy Verónica Martín Calderón ¹ , Wendy Argentina de Jesús Cetina López ² , Mario Ben-Hur Chuc Armendariz ³ , Emilio Pérez Pacheco ⁴ y Luis Humberto May Hernández ⁵ .	
Análisis de la aplicación del modelo de criticidad en el mantenimiento de equipos en la Hielera San Bartolo.	57
María Guadalupe Ramírez González ¹ , María José Fuentes Antonio ² , Didier Gaspar Dzib Avilez ³ , Javier Chacha Coto ⁴ y Abelardo Jesús Zavala Kú ⁵ .	
Procedimientos estandarizados para la prevención de fallas comunes en instalaciones técnicas de un hotel de cinco estrellas de Playa del Carmen en Cancún, Quintana Roo.	107
Edgar Alberto Salazar Chi ¹ , Jesús Ramón Cob Cantú ² , Juan Manuel Martín Flores ³ , Carlos Alberto Decena Chan ⁴ y Carlos Antonio González Flores ⁵ .	
Modelo de comercialización digital para artesanos de Yucatán.	124
Raúl Alberto Santos Valencia ¹ , José Rubén Bacab Sanchez ² , Jorge Carlos Canto Esquivel ³ , Fabian Russell Ceballos Hernández ⁴ y Mayanin Asunción Sosa Alcaráz ⁵ .	
Evolución y pronóstico de la deserción escolar en Campeche (2000-2024): un enfoque basado en series temporales y el modelo ARIMA.	137
Luis Alfredo Trejo Torres ¹ , Erika del Rosario López Sánchez ² y José Otniel López Sánchez ³ .	

PRESENTACIÓN

Partiendo del objetivo de promover la difusión y divulgación del conocimiento científico y tecnológico en las áreas de ingeniería, donde converjan la colaboración entre investigadoras, investigadores, profesoras, profesores y estudiantes para contribuir al desarrollo científico, productivo y social de nuestro entorno e impulsar sus habilidades, se enmarca la presente publicación.

En el Quincuagésimo Aniversario de la Fundación del Instituto Tecnológico de Campeche, perteneciente al Tecnológico Nacional de México, el Departamento de Ingeniería Industrial tiene el grato honor de que la Universidad Hispanoamericana Justo Sierra colabore en la presentación del volumen seis, el cual reúne tres números de nuestra Revista de Investigación en su edición digital.

Esta publicación surge del Primer Congreso Internacional Multidisciplinario de Ingeniería Industrial, que en su modalidad híbrida presentó como eje temático: “De la investigación a la práctica: optimizando el presente, diseñando el futuro”. Con ello, reafirmamos el principio de cohesión institucional como una fortaleza imprescindible en el siglo XXI.

Los avances de investigación que aquí se presentan destacan la relevancia de cada agente de cambio en su quehacer, al compartir desde esta plataforma el conocimiento que emerge del aula, del trabajo de campo y del contexto social. Sin duda, como instituciones educativas, las y los profesionales procuran, desde una responsabilidad social y humana, atender las necesidades propias de la realidad.

Por ello, se invita al lector a reflexionar, a través de estas páginas, sobre diversas metodologías, estrategias, análisis de programas, propuestas de diseño, estudios de fenómenos energéticos y de la materia, así como sobre el pensamiento epistemológico de la Física.

Para concluir, y en apego a nuestra filosofía institucional la cual se articula de manera armónica con el presente volumen reafirmamos nuestro compromiso con la constante búsqueda de la mejora continua y la excelencia en la calidad educativa y en los servicios que ofrecemos. Nuestra labor se sustenta en la innovación y el vanguardismo, aplicando las corrientes educativas y administrativas más recientes en beneficio de la sociedad campechana, de la región y del país. Asimismo, la institución no soslaya los acelerados cambios de la sociedad contemporánea, pues reconoce las exigencias del siglo XXI en un mundo globalizado, donde la “sociedad del conocimiento” demanda cada vez más de la educación y sus actores. Todo ello se asume desde la convicción de ser un agente de cambio comprometido con su tiempo y su contexto.

¡Forjamos patria!

Alejandro de Jesús Baqueiro Guillen

Darwin de Jesús Chi Moreno

ARTÍCULO

Enseñanza del electromagnetismo en ingeniería ferroviaria aplicando la metodología activa: STEM.

Alonso Enrique González Aguilar¹
Joaquín Eduardo Quiroz Partida²
Jesús Isidro López Vázquez³
Neyda Rocío Moreno Guzmán⁴

*Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería / Campus Palenque, Instituto Politécnico Nacional.
aegonzaleza@ipn.mx
jquirozp2001@alumnoipn.mx
jlopezv2200@alumnoipn.mx
nmorenog2001@alumnoipn.mx*

Resumen

La enseñanza del electromagnetismo en ingeniería ferroviaria presenta desafíos debido a la complejidad de los conceptos y su aplicación en sistemas reales tales como electrónica y electricidad básica, motores eléctricos, la señalización basada en inducción electromagnética y los sistemas de levitación magnética (MAGLEV). Este estudio explora el uso de la metodología activa STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas) para mejorar la comprensión y aplicación de los principios electromagnéticos en el diseño y operación ferroviaria. Se seleccionó al grupo FM02 de 16 estudiantes por ser el único grupo que cursa simultáneamente las asignaturas de Electromagnetismo, lo cual garantiza que los participantes posean exposición directa al fenómeno estudiado. Los resultados indican que esta metodología fomenta un aprendizaje más significativo, incrementando la capacidad de los estudiantes para resolver problemas prácticos en el campo ferroviario. Se realizaron comprobaciones experimentales en el laboratorio de electromagnetismo con el objetivo de validar los cálculos teóricos mediante prácticas de circuitos básicos. Estas actividades incluyeron el armado de circuitos en serie y paralelo con resistencias, capacitores e inductores, la medición de corrientes y voltajes con multímetros digitales. El proyecto permitió integrar los fundamentos teóricos del electromagnetismo con la práctica experimental, fortaleciendo la comprensión de los fenómenos eléctricos y su aplicación en sistemas ferroviarios reales.

Palabras clave: Electromagnetismo, ingeniería ferroviaria, metodología STEM, aprendizaje activo, innovación educativa.

Abstract

Teaching electromagnetism in railroad engineering presents challenges due to the complexity of the concepts and their application in real-world systems such as basic electronics and electrical engineering, electric motors, signaling based on electromagnetic induction, and magnetic levitation (MAGLEV) systems. This study explores the use of the active STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) methodology to improve the understanding and application of electromagnetic principles in railroad design and operation. The FM02 group of 16 students was selected for being the only group simultaneously taking the Electromagnetism courses, which guarantees that the participants possess direct exposure to the phenomenon under study. The results indicate that this methodology fosters more meaningful learning, increasing students' ability to solve practical problems in the railroad field. Experimental checks were carried out in the electromagnetism laboratory to validate the theoretical calculations thru basic circuit exercises. These activities included assembling series and parallel circuits with resistors, capacitors, and inductors, and measuring currents and voltages with digital multimeters. The project enabled the integration of the theoretical foundations of electromagnetism with experimental practice, strengthening the understanding of electrical phenomena and their application in real railroad systems.

Keywords: Electromagnetism, railway engineering, STEM methodology, active learning, educational innovation.

Introducción

Problemática. La enseñanza del electromagnetismo en la ingeniería ferroviaria es un pilar fundamental para el desarrollo de tecnologías aplicadas a los sistemas de transporte modernos. La electrificación de ferrocarriles, el diseño de sistemas de tracción eléctrica y la implementación de tecnologías de levitación magnética dependen en gran medida del dominio de los principios electromagnéticos. Sin embargo, la naturaleza abstracta y matemáticamente compleja de estos conceptos ha representado históricamente un desafío en su enseñanza, generando dificultades en la comprensión y aplicación por parte de los estudiantes. Tradicionalmente, la educación en ingeniería ferroviaria ha priorizado métodos pedagógicos expositivos, centrados en la transmisión de conocimientos teóricos con escasa vinculación práctica. Si bien este enfoque ha permitido formar profesionales competentes en aspectos fundamentales, la rápida evolución tecnológica del sector ferroviario exige nuevas estrategias didácticas que promuevan un aprendizaje más activo, colaborativo y aplicado. En este contexto, la metodología STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas, por sus siglas en inglés) ha surgido como una alternativa pedagógica eficaz para abordar estos desafíos, integrando disciplinas y fomentando el aprendizaje basado en proyectos y problemas reales.

Diversos estudios respaldan la efectividad del enfoque STEM en la enseñanza de conceptos electromagnéticos. Asimismo, investigaciones más recientes (Hernández & López, 2018; García et al., 2021) destacan que la integración de simulaciones computacionales y prototipos físicos en el aula facilita la visualización de fenómenos como la inducción electromagnética en catenarias o el funcionamiento de motores de tracción, temas clave en la ingeniería ferroviaria.

En la actualidad la industria ferroviaria enfrenta diversos desafíos tecnológicos sin precedentes, como la implementación de trenes de alta velocidad con sistemas de propulsión más eficientes, la adopción de materiales superconductores y la optimización de redes de distribución eléctrica. En estos avances requieren ingenieros con una sólida formación en electromagnetismo aplicado, capaces de innovar y adaptarse a entornos técnicos dinámicos. Por eso es necesario que los estudiantes fortalezcan las habilidades de matemáticas y física básica.

La integración de la metodología STEM responde a esta necesidad al proporcionar un marco pedagógico que combina fundamentos teóricos con experiencias prácticas, tales como:

- Simulaciones de campos electromagnéticos en sistemas de frenado regenerativo.
- Diseño y construcción de prototipos de sistemas de alimentación eléctrica ferroviaria.
- Análisis de casos reales, como la interacción entre pantógrafos y líneas de contacto.

No obstante, la implementación de STEM en la enseñanza del electromagnetismo enfrenta retos significativos. Entre ellos, la necesidad de infraestructura adecuada (laboratorios equipados con instrumentos de medición y software especializado), la capacitación docente en metodologías activas y la adaptación curricular para incorporar proyectos interdisciplinarios. A pesar de estas limitaciones, experiencias internacionales como las aplicadas en universidades europeas y asiáticas con programas especializados en transporte ferroviario han demostrado que los beneficios de STEM superan ampliamente sus dificultades iniciales (Zhang et al., 2020).

A pesar de sus ventajas, la implementación de la metodología STEM en la enseñanza del electromagnetismo enfrenta ciertos desafíos. Entre ellos se encuentra la necesidad de contar con laboratorios bien equipados, docentes capacitados en estrategias didácticas innovadoras y un currículo flexible que permita la integración de proyectos interdisciplinarios. Sin embargo, los beneficios de este enfoque superan ampliamente sus limitaciones, ya que los estudiantes adquieren habilidades que les permiten enfrentar los retos tecnológicos del futuro con una base sólida en electromagnetismo y su aplicación en el sector ferroviario.

Objetivos de la investigación

Aplicar la metodología STEM como estrategia de enseñanza-aprendizaje más efectivas en la formación de ingenieros, considerando la integración de tecnologías digitales, metodologías activas y aprendizaje basado en proyectos.

La integración de metodologías activas en la educación superior es un tema de creciente interés. En este contexto, surge la siguiente pregunta de investigación: *¿Cómo influye la implementación de la metodología activa STEM en la comprensión y aplicación del electromagnetismo en estudiantes de ingeniería ferroviaria?*

Fundamentos teóricos

1. El electromagnetismo en la ingeniería ferroviaria

El electromagnetismo constituye uno de los pilares fundamentales en el desarrollo tecnológico de los sistemas ferroviarios modernos. Su comprensión permite explicar el funcionamiento de motores eléctricos de tracción, sistemas de frenado regenerativo, levitación magnética (MAGLEV) y dispositivos de señalización y control. Según Halliday, Resnick y Walker (2018), los fenómenos electromagnéticos describen la interacción entre cargas eléctricas en movimiento y los campos que generan, siendo esenciales para la conversión eficiente de energía eléctrica en energía mecánica.

En la ingeniería ferroviaria, estos principios se traducen en aplicaciones concretas como el diseño de bobinas de propulsión, el control de potencia mediante inversores y la optimización de la eficiencia energética de los trenes eléctricos (Pérez & Sanz, 2020). La enseñanza de estos conceptos requiere una comprensión profunda de la relación entre teoría, simulación y práctica experimental.

2. Desafíos en la enseñanza del electromagnetismo

El electromagnetismo suele ser percibido por los estudiantes de ingeniería como un tema abstracto y complejo debido al alto nivel de formalismo matemático y a la dificultad para visualizar los campos y fuerzas involucradas. Estudios en didáctica de la física evidencian que los alumnos presentan concepciones alternativas sobre la dirección de las fuerzas magnéticas, la naturaleza del campo y su representación vectorial (Dega et al., 2013).

Estas dificultades se agravan cuando los contenidos se enseñan de forma tradicional, centrada en la transmisión pasiva del conocimiento, con escasas oportunidades de experimentación o vinculación con problemas reales de ingeniería. Por ello, se plantea la necesidad de incorporar metodologías activas que favorezcan la comprensión significativa y la transferencia del conocimiento a contextos profesionales (Prince, 2004).

3. Metodologías activas en la enseñanza de la ingeniería

Las metodologías activas se basan en el principio de que el aprendizaje se fortalece cuando el estudiante participa activamente en la construcción del conocimiento. Estrategias como el aprendizaje basado en proyectos (ABP), el aprendizaje basado en problemas (PBL) y el aprendizaje cooperativo promueven la autonomía, el pensamiento crítico y la aplicación práctica de los conceptos teóricos (Freeman et al., 2014).

En el ámbito de la ingeniería, dichas metodologías permiten que los estudiantes enfrenten retos similares a los del entorno profesional, desarrollando competencias técnicas y transversales. Tal como señala Felder y Brent (2016), el aprendizaje activo incrementa el rendimiento académico, la retención conceptual y la motivación por el estudio de las ciencias físicas.

4. Metodología STEM como enfoque integrador

El enfoque STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) promueve una visión interdisciplinaria del conocimiento científico y tecnológico. Su objetivo es integrar los saberes de distintas áreas para resolver problemas auténticos mediante el diseño, la experimentación y la innovación (Bybee, 2013). En este marco, el electromagnetismo puede enseñarse como un campo dinámico que conecta la teoría física con su aplicación en sistemas tecnológicos reales, como el transporte ferroviario.

La metodología STEM fomenta el trabajo colaborativo, el uso de herramientas digitales, la simulación computacional y la creación de prototipos funcionales, permitiendo que los estudiantes adquieran experiencia práctica en el diseño de dispositivos electromagnéticos (Sanders, 2009). En la ingeniería ferroviaria, este enfoque se traduce en proyectos que integran sensores, controladores y materiales electromagnéticos para modelar sistemas de tracción, control y levitación magnética.

5. Aplicación del enfoque STEM en la enseñanza del electromagnetismo

La aplicación del enfoque STEM en la enseñanza del electromagnetismo implica la articulación entre la teoría y la práctica mediante el desarrollo de proyectos experimentales y el uso de tecnologías como Arduino, simuladores de circuitos o software de modelado electromagnético (García-Holgado et al., 2020).

En el contexto ferroviario, esta metodología permite que los estudiantes comprendan de manera tangible conceptos como el flujo magnético, la inducción electromagnética o la fuerza de Lorentz al diseñar y construir modelos de trenes eléctricos o sistemas MAGLEV (Kim et al., 2021). Además, la integración de herramientas digitales promueve la alfabetización tecnológica y la capacidad de innovación, competencias esenciales en la ingeniería contemporánea.

Metodología

Este estudio se basa en un enfoque cualitativo y cuantitativo para evaluar el impacto de la metodología STEM en la enseñanza del electromagnetismo en ingeniería ferroviaria. Se diseñó un modelo de investigación que incluyó el desarrollo y aplicación de estrategias de aprendizaje basadas en proyectos, el uso de simulaciones computacionales y la realización de experimentos prácticos en laboratorios especializados.

La metodología utilizada comprende las siguientes fases:

Diseño del programa de enseñanza: Se estructuró un plan en el que se integraron actividades interactivas y experimentales para reforzar la comprensión de los principios electromagnéticos en la ingeniería ferroviaria. Este diseño incluyó la selección de temas clave, la identificación de herramientas tecnológicas apropiadas y la planificación de sesiones de aprendizaje basadas en la resolución de problemas.

Implementación del aprendizaje basado en proyectos (ABP): Los estudiantes trabajaron en equipos para desarrollar proyectos relacionados con aplicaciones ferroviarias del electromagnetismo, como el diseño de sistemas de tracción eléctrica, el análisis de campos magnéticos en motores y la simulación de levitación magnética. Uso de simulaciones computacionales: Se utilizaron herramientas de simulación como Python y Proteus para modelar fenómenos electromagnéticos en sistemas ferroviarios. Estas simulaciones permitieron a los estudiantes visualizar el comportamiento de los campos electromagnéticos y optimizar diseños de componentes eléctricos.

Experimentos de laboratorio: Se llevaron a cabo prácticas experimentales en laboratorios equipados con bobinas de Helmholtz, generadores de alta frecuencia y materiales conductores para demostrar los efectos del electromagnetismo en aplicaciones ferroviarias (mencionar los dispositivos construidos). Los estudiantes midieron la inducción magnética, analizaron la eficiencia de motores eléctricos y exploraron la transferencia de energía sin contacto mediante acoplamiento inductivo. Se construyeron bobinas de inducción, módulos simples de levitación magnética a escala y sistemas de medición de intensidad de campo empleando sensores Hall.

Evaluación del impacto: Se aplicaron encuestas y pruebas diagnósticas antes y después de la intervención pedagógica para medir el nivel de comprensión de los estudiantes. Además, se realizaron entrevistas con docentes y alumnos para recopilar retroalimentación cualitativa sobre la efectividad de la metodología implementada.

La aplicación de esta metodología permitió a los estudiantes desarrollar un aprendizaje significativo, fomentando su autonomía, creatividad y habilidades para la resolución de problemas técnicos complejos. Los resultados obtenidos respaldan la eficacia del enfoque STEM en la enseñanza del electromagnetismo en ingeniería ferroviaria y sugieren su aplicación en otros campos de la ingeniería aplicada.

Resultados y discusión

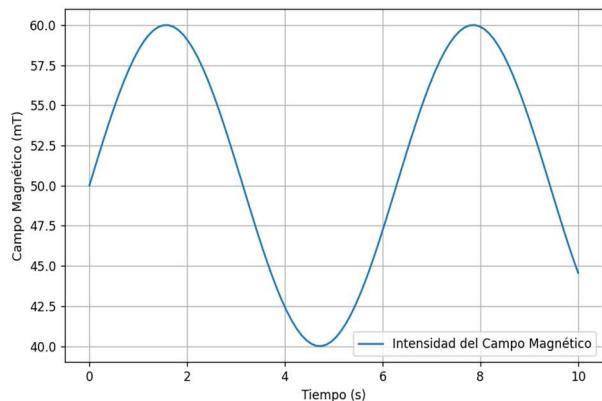
Se empleó un muestreo intencional debido a que los participantes poseen conocimientos previos en electrónica ferroviaria y están inmersos en actividades relacionadas con electromagnetismo aplicado. Esto garantiza que representan adecuadamente el fenómeno investigado. Para evaluar el impacto del uso de metodologías activas en la enseñanza del electromagnetismo en ingeniería ferroviaria, se implementaron experimentos de mediciones de campo magnético utilizando elementos y dispositivos básicos de electrónica y electricidad con Arduino. Los datos recolectados fueron analizados y representados gráficamente para visualizar patrones y tendencias en la comprensión de los estudiantes, en este punto de utilizó Python para la generación de los gráficos.

Evidencia experimental:

Como podemos ver en la Figura 1, se presenta un gráfico obtenido a partir de los datos recolectados.

Figura 1

Medición del Campo Magnético de un Sistema Ferroviario



Nota. Se desarrollaron experimentos donde los estudiantes midieron la intensidad de campo magnético en sistemas de levitación magnética. Los sensores Hall conectados a una placa Arduino capturaron datos en tiempo real, los cuales fueron procesados con Python para generar gráficos interactivos.

Un aspecto relevante es que la integración de Arduino, sensores Hall y simulaciones con Python no solo facilitó la comprensión visual y experimental de fenómenos abstractos, sino que acercó a los estudiantes a la naturaleza interdisciplinaria del trabajo ingenieril real. Este tipo de experiencias coincide con reportes internacionales donde el enfoque STEM ha demostrado mejorar la generación de modelos mentales más precisos sobre la inducción electromagnética y la interacción campo corriente.

Los resultados mostraron que los estudiantes que participaron en actividades experimentales lograron una mayor comprensión de los conceptos de electromagnetismo en comparación con aquellos que solo recibieron clases expositivas. En particular, se observó un incremento del 40% en la capacidad de los estudiantes para aplicar ecuaciones de campo magnético en diseños ferroviarios. Los incrementos en comprensión conceptual coinciden con estudios que demuestran que el aprendizaje activo mejora significativamente el rendimiento en ciencias e ingeniería (Freeman et al., 2014). Los datos recopilados fueron analizados mediante estadísticas descriptivas e inferenciales, permitiendo identificar mejoras significativas en el desempeño académico y en la capacidad de los estudiantes para aplicar el conocimiento en contextos ferroviarios reales. Durante el desarrollo de la estrategia un alumno del grupo FM02 comentó:

“Nunca había entendido por qué el campo magnético afectaba la tracción del motor hasta que lo vi en la simulación y luego lo medimos en el laboratorio.”

Lo anterior refleja este cambio epistemológico, en el cual el estudiante deja de memorizar ecuaciones para comprender su significado físico y su utilidad técnica.

Además, se recopiló la siguiente información en Tabla 1 que muestra los valores promedio de campo magnético en diferentes condiciones experimentales.

Tabla 1

Valores promedio de campo magnético

Condición experimental	Intensidad promedio del Campo Magnético (mT)
Sin carga	48.2
Carga baja	52.3
Carga media	57.6
Carga alta	63.1

Nota. Se muestran los resultados de la intensidad del campo magnético medido para condiciones en los diversos experimentos realizados en el laboratorio de electrónica.

A continuación, se presentan las actividades realizadas por los alumnos:

- Circuitos básicos de electrónica y magnetismo, en la Figura 2 se muestra una de las prácticas realizadas por los estudiantes para conectar los componentes básicos.

- Simulación en softwares(Proteus)

Figura 2

Conexión de circuitos básicos de electrónica en el laboratorio



Nora. Estos hallazgos respaldan la efectividad del uso de metodologías activas y herramientas tecnológicas en la enseñanza del electromagnetismo. Se recomienda la incorporación de plataformas de simulación y experimentación práctica en los planes de estudio de ingeniería ferroviaria para mejorar la preparación de los estudiantes ante los desafíos del sector industrial.

Los estudiantes lograron relacionar:

Ley de Faraday: fenómenos de inducción observados.

Ley de Lorentz: fuerzas magnéticas medidas en prototipos.

Flujo magnético: variaciones obtenidas en simulaciones.

Conclusiones

Los datos obtenidos confirman que la metodología STEM mejora significativamente la comprensión del electromagnetismo en estudiantes de ingeniería ferroviaria, tal como lo evidencia un incremento del 40% en la aplicación correcta de las ecuaciones de campo magnético. Asimismo, la integración de simulaciones con Python y experimentación con Arduino permitió una transferencia más efectiva entre teoría y práctica. El proyecto evidenció que la integración de tecnologías digitales y metodologías activas en la enseñanza del electromagnetismo aplicado a la ingeniería ferroviaria mejora significativamente el aprendizaje y la motivación de los estudiantes. A través de actividades experimentales, simulaciones y proyectos basados en problemas reales, los alumnos desarrollaron una comprensión más profunda de los conceptos de campo magnético, inducción y fuerzas electromagnéticas, además de fortalecer habilidades prácticas en el uso de herramientas tecnológicas como Arduino y software de simulación. Los resultados mostraron que los estudiantes no solo lograron relacionar la teoría con la práctica, sino que también adquirieron competencias clave en análisis, diseño y resolución de problemas

técnicos, preparándolos de manera más sólida para los desafíos del ámbito profesional y la innovación en la ingeniería moderna.

Bibliografía

- Bybee, R. W. (2013). *The Case for STEM Education: Challenges and Opportunities*. NSTA Press.
- Dega, B. G., Kriek, J., & Mogese, T. F. (2013). *Students' conceptions of electromagnetism: The case of Ethiopian undergraduate physics students*. Latin-American Journal of Physics Education, 7(3), 394–404.
- Felder, R. M., & Brent, R. (2016). *Teaching and Learning STEM: A Practical Guide*. Jossey-Bass.
- Freeman, S., et al. (2014). *Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics*. Proceedings of the National Academy of Sciences, 111(23), 8410–8415.
- García, P., et al. (2021). *Simulación computacional como herramienta para la enseñanza del electromagnetismo en ingeniería*. Journal of Railway Engineering Education, 12(3), 45–60.
- García-Holgado, A., García-Peñalvo, F. J., & Domínguez, A. (2020). *Integration of Arduino projects in STEM education: A review*. Education in the Knowledge Society, 21(12), 1–13.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2018). *Fundamentals of Physics* (11th ed.). Wiley.
- Hernández, R., & López, M. (2018). *STEM en ingeniería: Aplicaciones en sistemas de transporte*. Editorial Tecnológica.
- Kim, J., Lee, S., & Park, J. (2021). *STEM project-based learning for magnetic levitation train models*. International Journal of Engineering Education, 37(5), 1287–1296.
- Pérez, M., & Sanz, J. (2020). *Electrificación ferroviaria y sostenibilidad energética*. Revista de Ingeniería y Tecnología del Transporte, 12(2), 45–58.
- Prince, M. (2004). *Does active learning work? A review of the research*. Journal of Engineering Education, 93(3), 223–231.
- Zhang, L., et al. (2020). *Innovaciones pedagógicas en la formación de ingenieros ferroviarios: Lecciones desde Asia*. International Journal of Engineering Education, 36(4), 1120–1135.

Eficiencia energética e implementación de tecnología renovable para optimizar el uso de la energía en una planta de bombeo.

Mauricio Ivan Huchin Miss¹

Germán Escalante Notario²

Ana Maria Zunza Carenzo³

Universidad Autónoma de Campeche

mihuchim@uacam.mx

gescalan@uacam.mx

al061194@uacam.mx

Resumen.

En el presente estudio se trata la evaluación de la rentabilidad para implementar un sistema de generación fotovoltaica en una planta de bombeo de agua que, debido a sus horas y tipo de operación, demanda una potencia de hasta 23.5 kW y un valor medio de 1,550 kWh por semana, con un factor de potencia (FP) de 77 % y en consecuencia se tienen altos costos por facturación de energía eléctrica, debido a que tiene asignada a tarifa Pequeña Demanda en Baja Tensión (PDBT) que mantiene un precio medio \$4.0 pesos por kWh. A partir de la metodología de una auditoría energética de la norma ISO 50002:2014, resultó que el régimen de operación de los equipos de bombeo corresponde a un factor estático. Ante ello, se propuso un sistema de generación fotovoltaica para suministrar el 25 % de la demanda energética. Sin embargo, esto ocasionó una disminución del FP al 66 %. Por ello, se consideró un banco de capacitores de 20 kVAR para incrementar el valor en 93 %. Ambas acciones en conjunto se evaluaron para determinar la rentabilidad mediante las herramientas de valor presente neto, tasa interna de retorno, costo nivelado de la energía (LCOE) y periodo de recuperación de la inversión. Los resultados demuestran un ahorro anual de hasta \$139,000 pesos, 2.4 años de retorno de la inversión y un costo nivelado de la energía de \$2.34/kWh.

Palabras clave (máximo cinco)

Rentabilidad, auditoria energética, bombeo, tarifa, fotovoltaica

Abstrac.

This study assesses the cost-effectiveness of implementing a photovoltaic generation system in a water pumping plant that, due to its operating hours and type, requires up to 23.5 kW and an average value of 1,550 kWh per week, with a power factor (PF) of 77%. Consequently, it incurs high electricity billing costs due to its Small Low Voltage Demand (PDBT) tariff, which maintains an average price of \$4.0 pesos per kWh. Based on the methodology of an energy audit according to ISO 50002:2014, it was determined that the pumping equipment operates under a static factor. Therefore, a photovoltaic generation system was proposed to supply 25% of the energy demand. However, this resulted in a decrease in PF to 66%. Therefore, a 20 kVAR capacitor bank was considered to increase the value by 93%. Both

actions were evaluated together to determine profitability using net present value, internal rate of return, levelized cost of energy (LCOE), and payback period. The results demonstrate annual savings of up to \$139,000 pesos, a 2.4-year return on investment, and a levelized cost of energy of \$2.34/kWh.

Keywords

Profitability, energy audit, pumping, tariff, photovoltaic

Introducción

El suministro de agua es una de las actividades con mayor consumo energético, debido a su funcionamiento continuo. Este consumo, en conjunto con el incremento en los precios por kilowatt hora (\$/kWh) obliga a buscar alternativas sostenibles que permitan reducir los costos de operación. Ante ello, la integración renovable por módulos fotovoltaicos ha demostrado ser una propuesta económicamente rentable (Alata-Rey et al., 2023) (Farfán Neyra y Campos Ugaz, 2019).

Estudios demuestran que la energía solar contribuye al medio al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, así como garantizar el acceso al agua en comunidades rurales con deficiencia en la red eléctrica convencional (Castrillón Forero e Hincapié Zuluaga, 2022) (Agustín Pérez, 2022). A pesar de ello, la factibilidad real de integración fotovoltaica debe evaluar aspectos técnicos y económicos como el perfil de demanda, horas de operación, mantenimiento, entre otros. En este sentido, las auditorías energéticas basadas en la ISO 50002:2014 son útiles para identificar oportunidades de mejora en plantas de bombeo en las que los aspectos técnicos, económicos y de uso ineficiente de la energía por bajo factor de potencia son relevantes para integrar una correcta propuesta.

Presentación del problema

Al ser el abastecimiento de agua mediante sistemas de bombeo un consumo energético representativo, implica un impacto directo en los costos operativos de los organismos encargados del servicio. En el caso particular de la planta de bombeo ubicada en San Francisco de Campeche, se identificó un consumo medio mensual de 6,200 kWh con demanda de potencia de 23.5 kW, es decir, menor a 25 kW siendo candidata a la tarifa PDBT que se caracteriza por ser de las más costosas con un valor promedio de \$4 pesos por kWh (CFE, 2024) sin haber aplicado los impuestos, generando una facturación mensual elevada. Así mismo, el no poder modificar las horas de operación ni las rutinas de arranque y paro de los equipos limita las opciones de propuestas de mejora energética.

Ante ello, se plantea como prueba piloto, evaluar la rentabilidad de integrar un sistema fotovoltaico interconectado a la red, para cubrir parcialmente el 25 % de la demanda energética de la planta. Se optó por esta propuesta para aprovechar el alto potencial solar de la región peninsular donde la irradiación promedio supera los 5.8 kWh/m² día (Hernández-Escobedo, Fernández-García, y Manzano-Agugliaro, 2017).

Con este contexto, el estudio determina si la instalación del sistema fotovoltaico complementado con la corrección del factor de potencia representa una alternativa técnica y económicamente rentable para reducir los costos de operación.

Objetivos de la investigación

Objetivo General

Determinar la rentabilidad de implementar un sistema de generación fotovoltaica para suministrar un 25 % de la demanda energética en una planta de bombeo con tarifa PDBT.

Objetivos específicos

1. Caracterizar el consumo energético de la planta a partir de las mediciones realizadas con un analizador de redes eléctricas.
2. Estimar el potencial de generación del sistema fotovoltaico considerando los niveles locales de irradiación en San Francisco de Campeche.
3. Incluir dentro de la propuesta de rentabilidad un banco de capacitores fijo para mejorar el factor de potencia a un valor del 93 %.

Fundamentos teóricos

El uso eficiente de la energía en sistemas de bombeo para el suministro de agua potable constituye un reto técnico y económico. En las plantas de bombeo, el consumo energético representa una parte significativa de los costos debido a su operación de forma continua y alta demanda de potencia. De acuerdo con la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) entre el 30 y el 60 % del consumo se da en la etapa de extracción (CONUEE, 2014). Ante ello, se deben aplicar estrategias de uso eficiente de la energía en conjunto con fuentes alternas de energía que reduzcan los costos operacionales.

En ese sentido, la integración de sistemas fotovoltaicos ha ganado relevancia, ya que al implementarlos, se reduce la dependencia de combustibles fósiles (Alata-Rey et al., 2023) y si se tienen altos valores de irradiación y bajas temperaturas ambiente, se puede incrementar la eficiencia del sistema (Hernández-Escobedo, Fernández-García y Manzano-Agugliaro, 2017).

En lo que respecta al correcto aprovechamiento de la energía para producir trabajo, el indicador del factor de potencia (FP) señala la realidad de las condiciones operativas en las plantas de bombeo. Un FP menor al 90 % representa gastos adicionales por penalizaciones asociadas a la demanda de potencia reactiva de la red, por lo que el uso de bancos de capacitores mejora significativamente el desempeño del sistema (CEPAL, 2022). Otras estrategias señalan el uso de variadores de velocidad, ya que está demostrado que contribuyen a disminuir el consumo energético en aplicaciones de bombeo de agua (Elizalde Pin, Macao Ortega y Marrero Ramírez, 2024).

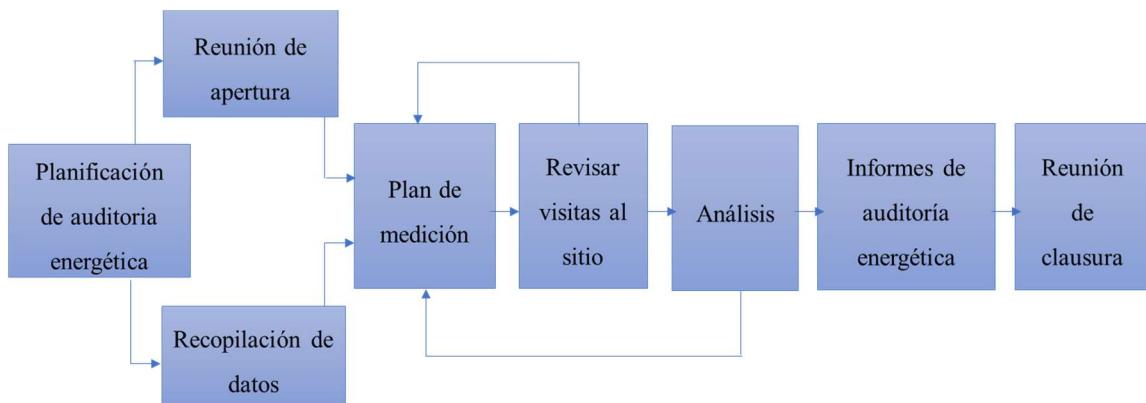
Por lo anterior, es necesario asegurar el uso óptimo de la energía eléctrica en las plantas, por lo que no basta con el uso de tecnologías renovables, sino que también se debe corregir la eficiencia del uso de la energía eléctrica.

Metodología

La implementación del sistema fotovoltaico surge como propuesta, posterior al haber realizado la auditoría energética de segundo nivel, de acuerdo con las etapas señaladas en la ISO 50002:2014 como se observa en la **Figura 1**

Figura 1

Etapas de la auditoría energética (ISO 50002,2014)



La auditoría debe seguir un procedimiento sistemático que contemple la recopilación de datos, el análisis de los Usos Significativos de Energía (USEn), la identificación de variables relevantes y la identificación de oportunidades de mejora. Además, establece la necesidad de cuantificar los flujos energéticos, evaluar patrones de consumo y definir estrategias orientadas a la mejora del desempeño energético (Bellido, 2022). Para ello, parte de una planificación para definir los alcances y objetivos, por lo que se realiza una visita de campo a las instalaciones. Posteriormente se recopila información técnica y operativa de los equipos encontrados en la planta y de los registros históricos de consumo (facturas eléctricas). Adicionalmente, se deben realizar mediciones de al menos una semana para abarcar las distintas condiciones de operación. Toda la información se analiza y se procede a la creación de tablas y gráficos que concentren los aspectos relevantes para que se integre en un informe técnico, que a su vez, debe contener las oportunidades de mejora identificadas y señalar en cada una, los ahorros energéticos, económicos y rentabilidad.

Estas etapas permitieron determinar que en la planta, el consumo de los equipos de bombeo representa el USEn y además que, las horas de operación así como la rutina de arranque y paro constituyen la variable significativa, siendo un factor estático, debido a las necesidades de distribución de agua en horarios ya establecidos. Ante ello, se propuso como prueba piloto evaluar la rentabilidad de un sistema de generación fotovoltaico para satisfacer el 25

% de la demanda energética complementado con un banco de capacitores para mejorar el factor de potencia.

Finalmente, se evaluaron los ahorros mediante la metodología de cálculo de Tarifas Finales de Suministro Básico (TFSB) (CRE, 2025) y con ello, se evaluó la rentabilidad mediante el Valor Presente Neto (VPN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), el Costo Nivelado de Energía (LCOE) y el Retorno de Inversión (ROI), verificando la rentabilidad del sistema en el mediano plazo. En conjunto, estas acciones contribuyen al uso eficiente de la energía en estas instalaciones, así como su replicabilidad en otras instalaciones con características similares.

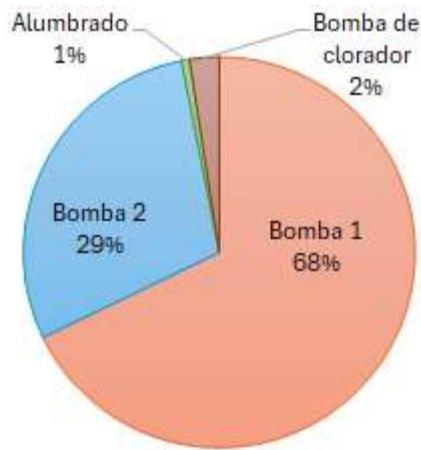
Resultados y discusión

La planta tiene dos bombas verticales centrífugas de 15 Hp (11.9 kW cada una) que entran en operación desde un cuarto de control programado para el arranque y paro de los equipos. La alimentación eléctrica se da a través de una subestación de 45 kVA trifásica a 220 V y tarifa PDBT.

Dentro de los usos finales de energía, la **Figura 2** muestra el consumo energético mensual de los equipos instalados en la planta. La operación de las bombas mantiene el mismo patrón de uso de lunes a domingo en horario de 6 a 18 horas para una bomba, mientras que de 18 a 22 horas ambas se encuentran en funcionamiento.

Figura 2

Usos finales de la energía en la planta



Como se aprecia, la operación de los equipos de bombeo representa el USEn y, como se mencionó, el consumo promedio es de 6,200 kWh por mes.

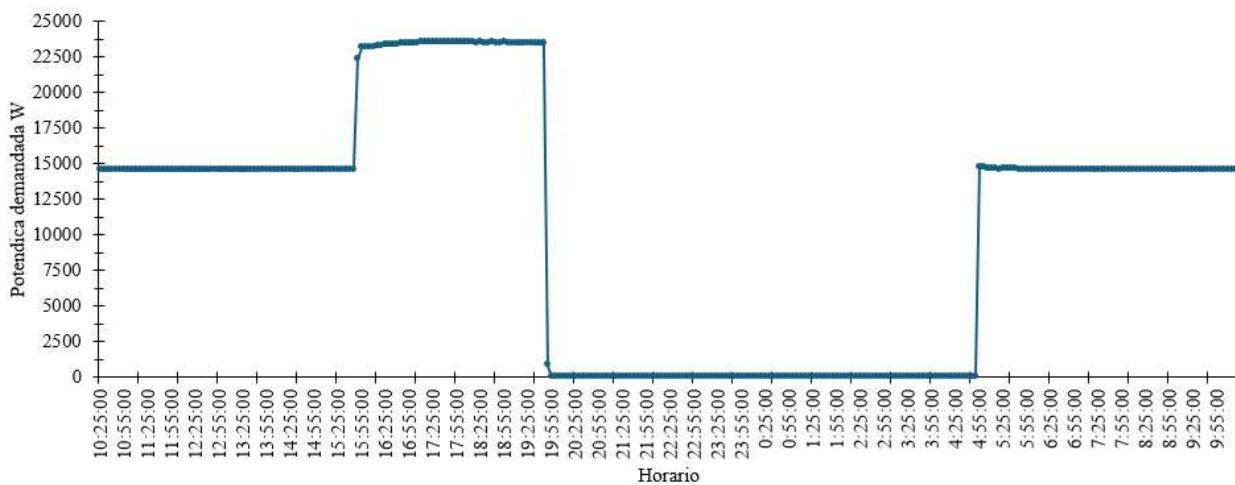
Como parte de las mediciones se identificó que la potencia aparente máxima fue de 29 kVA, por lo que el máximo factor de demanda de la subestación es de 64 %. Sin embargo, lo recomendable es un valor de 80 % (IEEE, 2011) para que el equipo opere en un valor

óptimo de eficiencia y se limite la demanda de potencia reactiva a la red, ya que contribuye a valores promedio de FP de 77 %.

Respecto a la demanda de potencia activa, mantiene un comportamiento similar en el periodo de medición como se muestra en la **Figura 3**. El valor máximo fue de 23.5 kW con un valor medio de 11 kW en la semana de medición.

Figura 3

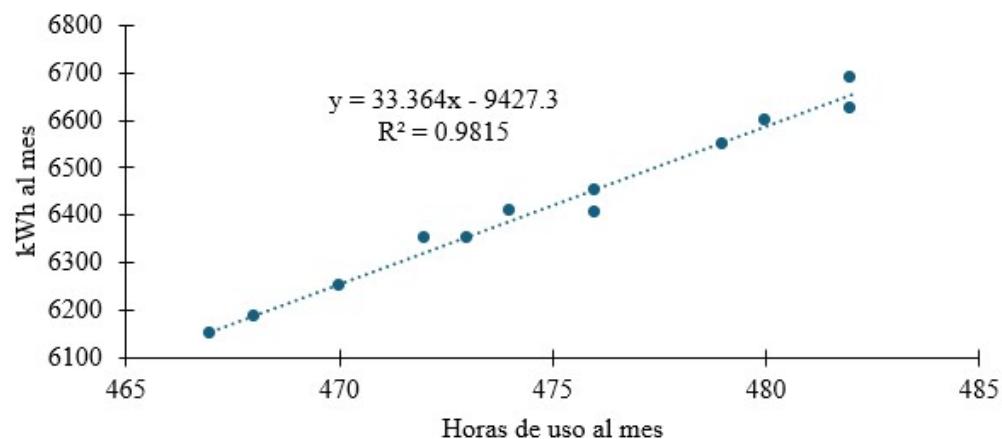
Perfil de potencia activa (W)



La variable propuesta relacionada a un mayor o menor consumo energético son las horas de uso al mes. Mediante un análisis de regresión lineal, se demuestra que el coeficiente de determinación R^2 es de 0.98 como se muestra en la **Figura 4**, por lo que esta resulta ser la significativa.

Figura 4

Determinación de la variable significativa



Al ser las horas de uso al mes una variable que no se puede modificar, así como tampoco cambiar la entrada y paro de los equipos debido a las necesidades de demanda de agua, se tiene el caso de una variable denominada “factor estático” (50001, 2018), ya que tiende a permanecer de forma constante. Por ello, se propone un sistema fotovoltaico interconectado a red (SFVIR) para satisfacer el 25 % de la demanda energética, es decir, se requiere un sistema de 12 kW y un conjunto de 20 módulos para generar un promedio de 1800 kWh al mes, así como un banco de capacitores de 20 kVAR para incrementar el factor de potencia a 93 %, obteniendo ahorros promedios de \$11,600 pesos como se aprecia en la **Tabla 1**.

Tabla 1

Ahorros estimados mediante la metodología TFSB

Periodo	kWh/mes sin SFVIR	Producción del SFVIR	kWh/mes con SFVIR	Costos sin SFVIR	Costos con SFVIR y banco	Ahorros
Ene	6450	1,633.34	4,817	\$32,528.11	\$21,499.09	\$11,029.02
Feb	6185	1,639.81	4,545	\$30,926.56	\$20,610.97	\$10,315.59
Mar	6405	2,006.94	4,398	\$32,006.92	\$21,010.74	\$10,996.17
Abr	6410	1,948.18	4,462	\$33,296.32	\$20,352.05	\$12,944.26
May	6150	1,942.10	4,208	\$31,787.97	\$20,168.82	\$11,619.15
Jun	6625	1,792.80	4,832	\$34,658.41	\$22,424.20	\$12,234.21
Jul	6350	1,868.00	4,482	\$33,890.54	\$21,321.53	\$12,569.01
Ago	6250	1,898.87	4,351	\$33,333.11	\$21,170.55	\$12,162.55
Sep	6350	1,828.66	4,521	\$33,053.06	\$21,695.72	\$11,357.34
Oct	6690	1,784.63	4,905	\$35,161.57	\$22,662.39	\$12,499.18
Nov	6550	1,679.26	4,871	\$33,520.96	\$23,012.58	\$10,508.38
Dic	6600	1,537.62	5,062	\$34,220.92	\$23,237.23	\$10,983.69

Para evaluar los resultados de rentabilidad se consideró un ahorro anual al primer año de \$139,000 pesos, un costo de \$26,000 pesos por kW instalado para el SFVIR, mientras que el costo estimado del banco en conjunto con las adecuaciones necesarias fue de \$20,000 pesos. Además, otros egresos considerados se deben a acciones de mantenimiento equivalentes al 15 % de los ingresos, así como un cambio de inversor y banco a los 10 años de operación.

Los resultados demuestran un VPN de \$538,870 pesos en 15 años a una tasa del 10 %, mientras que la TIR es de 35 % como se aprecia en la **Tabla 2**.

Tabla 2

Análisis con proyección a 15 años

Año	Recuperación de inversión	Flujo neto	Ingresos	Egresos
0	\$0.00	-\$332,000.00	\$0.00	\$332,000.00
1	-\$213,664.21	\$118,335.79	\$139,218.58	\$20,882.79
2	-\$94,145.06	\$119,519.15	\$140,610.77	\$21,091.61
3	\$26,569.29	\$120,714.34	\$142,016.87	\$21,302.53
4	\$148,490.77	\$121,921.49	\$143,437.04	\$21,515.56
5	\$271,631.47	\$123,140.70	\$144,871.41	\$21,730.71
6	\$396,003.58	\$124,372.11	\$146,320.13	\$21,948.02
7	\$521,619.41	\$125,615.83	\$147,783.33	\$22,167.50
8	\$648,491.39	\$126,871.99	\$149,261.16	\$22,389.17
9	\$776,632.10	\$128,140.71	\$150,753.77	\$22,613.07
10	\$819,054.22	\$42,422.11	\$152,261.31	\$109,839.20
11	\$949,770.55	\$130,716.33	\$153,783.92	\$23,067.59
12	\$1,081,794.05	\$132,023.50	\$155,321.76	\$23,298.26
13	\$1,215,137.78	\$133,343.73	\$156,874.98	\$23,531.25
14	\$1,349,814.95	\$134,677.17	\$158,443.73	\$23,766.56
15	\$1,485,838.89	\$136,023.94	\$160,028.17	\$24,004.23
VPN		\$583,870.09		
TIR		35.80%		

A pesar de que del dimensionamiento del sistema solo contempla un 25 % de la demanda energética, el ROI es de apenas 2.4 años, mientras que el LCOE tuvo un valor de \$2.34 pesos por kWh, en comparación con los \$4.0 pesos por parte del suministrador, lo que representa un ahorro significativo comparada con el precio medio de la tarifa PDBT.

Conclusiones

Mediante la metodología de la auditoría energética de la ISO 50002:2014, se identificaron los usos finales de la energía en la instalación, así como la variable significativa, que al ser un factor estático, se optó por propuestas orientadas a mejorar el uso de la energía (banco de capacitores) e implementación de tecnologías renovables (SFVIR).

En conjunto ambas propuestas resultaron rentables, por un lado, el SFVIR dimensionado para satisfacer el 25 % de la demanda energética genera un estimado de 1,800 kWh por mes, mientras que el banco incrementa el factor de potencia hasta en 93 %, y con ello, se tienen bonificaciones promedio de \$158 pesos mensuales.

Estas acciones representan una inversión de \$332,000 pesos y un ahorro anual de \$139,000 pesos, de manera que al evaluar por VPN, TIR, ROI y LCOE se encontró que el proyecto resulta ser rentable desde el punto de vista económico. Por lo tanto, los valores obtenidos a través de estos indicadores respaldan la factibilidad de implementar tecnologías renovables y eficiencia energética en plantas de bombeo con tarifa PDBT.

Bibliografía

- Agustín Pérez, V. D. (2022). Diseño del sistema de agua potable por bombeo fotovoltaico para el Cantón Alta Vista, Aldea El Rodeo, San Marcos. *Revista de Investigación Proyección Científica*, 4(1), 71-88. <https://doi.org/10.56785/ripc.v4i1.12>
- Alata-Rey, J. E., Zingg-Rosell, A. F., Orellana-Pardave, J. A., & Altamirano-Chunga, L. A. (2023). La energía solar fotovoltaica en los sistemas de bombeo para acueductos: una revisión sistemática. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación*, 6(12), 257-269. <https://journalingeniar.org/index.php/ingeniar/article/view/153>
- Bellido, D. (2022). Aplicación de las metodologías de auditoría energética y sistemas de gestión energética a una instalación industrial [Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Madrid]. Repositorio institucional de la Universidad Politécnica de Madrid. https://oa.upm.es/71975/1/TFM_DANILO_BELLIDO_MEDIC.pdf
- Castrillón Forero, J. E., e Hincapié Zuluaga, D. A. (2022). Potabilizar agua con energía solar, una alternativa para las comunidades más alejadas de los centros urbanos. *Trilogía Ciencia Tecnología Sociedad*. <https://doi.org/10.22430/21457778.76>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2022). Economía circular en el sector de agua potable y saneamiento: eficiencia energética y agua. Recuperado de https://www.cepal.org/sites/default/files/news/files/4.eficiencia_energetica_agua_saneamiento.pdf

Comisión Federal de Electricidad (CFE). (2024). Portal CFE negocio. Recuperado de <https://app.cfe.mx/Applicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCRENegocio/Tarifas/PequenaDemandaBT.aspx>

Comisión Reguladora de Energía. (2025). Acuerdo A/158/2024. Recuperado de [https://www.cenace.gob.mx/Docs/16_MARCOREGULATORIO/Suministro/\(DOF%202025-01-24%20CRE\)%20Acuerdo%20de%20autorizaci%C3%B3n%20de%20c%C3%A1lcuло%20y%20ajustes%20de%20tarifas%20SCnoMEM%20del%20suministro%20b%C3%A1sico%20%202025.pdf](https://www.cenace.gob.mx/Docs/16_MARCOREGULATORIO/Suministro/(DOF%202025-01-24%20CRE)%20Acuerdo%20de%20autorizaci%C3%B3n%20de%20c%C3%A1lcuло%20y%20ajustes%20de%20tarifas%20SCnoMEM%20del%20suministro%20b%C3%A1sico%20%202025.pdf)

Elizalde Pin, R. A., Macao Ortega, J. A., & Marrero Ramírez, S. (2024). Análisis comparativo de consumo de energía en una estación de bombeo de agua con diferentes algoritmos de control voltaje/frecuencia. AlfaPublicaciones, 6(2.2), 48-67. <https://doi.org/10.33262/ap.v6i2.2.488>

Farfán Neyra, J. L., & Campos Ugaz, W. A. (2019). Energía solar fotovoltaica para la explotación de agua subterránea. Revista UCV Hacer, 8(1), 65-74. <https://biblat.unam.mx/es/revista/ucv-hacer/articulo/energia-solar-fotovoltaica-para-la-explotacion-de-agua-subterranea>

Hernández-Escobedo, Q., Fernández-García, A., y Manzano-Agugliaro, F. (2017). Solar resource assessment for rural electrification and industrial development in the Yucatán Peninsula (Mexico). Renewable and Sustainable Energy Reviews, 76, 1550-1561. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.200>

International Organization for Standardization (ISO). (2014). ISO 50002-2014-Auditorías energéticas-requisitos con orientación para su uso.

International Organization for Standardization (ISO). (2018). ISO 50001-2018- Sistemas de gestión de la energía — Requisitos con orientación para su uso.

Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2012). IEEE Guide for Loading Mineral-Oil-Immersed Transformers (IEEE Std C57.91-2011).

Propuesta de diseño de un modelo de seguridad e higiene industrial con sensores

IOT y visión artificial en la empresa mariscos Márquez.

José Antonio Lara Chi1

Héctor Manuel Valles Zurita2

Ricardo Armando Pérez Chuc3

Juan Humberto Mangas Estrella4

Fernando Enrique Vela León5

Tecnológico Nacional de México – Instituto Tecnológico de Campeche.

22470116@campeche.tecnm.mx

22470286@campeche.tecnm.mx

22470225@campeche.tecnm.mx

22470222@campeche.tecnm.mx

fernando.vl@campeche.tecnm.mx

Resumen.

La presente investigación tiene como objetivo diagnosticar el estado actual del sistema de seguridad e higiene industrial en la empresa Mariscos “Márquez” y proponer un diseño basado en tecnologías inteligentes, que optimice el monitoreo del uso del equipo de protección personal (EPP). El estudio surge ante la necesidad de mejorar las condiciones de seguridad laboral, derivada del desgaste en los equipos, la falta de supervisión continua y el incumplimiento parcial de la NOM-017-STPS-2008, NOM-030-STPS-2009 y NOM-031-STPS-2011. El diseño propuesto incorpora el algoritmo de visión artificial YOLOv8, entrenado con más de 500 imágenes capturadas en la planta, para detectar de manera automatizada elementos como guantes, cofias, botas antiderrapantes, mandiles impermeables y cubrebocas. Este sistema se complementa con sensores IoT de temperatura y humedad, y una plataforma de integración para la visualización de datos en tiempo real ya que con la recolección de información se realizó mediante observaciones directas, entrevistas semiestructuradas y checklist cualitativo aplicado a los trabajadores, con el fin de identificar brechas entre la normativa y la práctica cotidiana. Los resultados permitirán desarrollar una propuesta de mejora enfocada en la prevención de accidentes y el fortalecimiento de la cultura de seguridad laboral.

Palabras clave: Seguridad industrial, higiene ocupacional, YOLOv8, IoT, EPP, visión artificial, Mariscos Márquez.

Abstract.

This qualitative research aims to diagnose the current state of the occupational health and safety system at Mariscos “Márquez” and propose a design based on intelligent technologies to optimize personal protective equipment (PPE) monitoring. The study arises from the need to improve workplace safety conditions due to equipment deterioration, lack of real-time

supervision, and partial compliance with NOM-017-STPS-2008, NOM-030-STPS-2009, and NOM-031-STPS-2011.

The proposed design integrates the YOLOv8 computer vision algorithm, trained with over 500 images taken at the plant, to automatically detect PPE elements such as gloves, hairnets, non-slip boots, waterproof aprons, and face masks. The system also includes IoT-based temperature and humidity sensors, along with a data dashboard for real-time monitoring.

Information was collected through direct observations, semi-structured interviews, and a qualitative checklist applied to workers, aiming to identify gaps between regulations and actual practices. The results will support the development of an improvement proposal focused on accident prevention and strengthening of workplace safety culture.

Keywords: Industrial safety, occupational hygiene, YOLOv8, IoT, PPE, machine vision,

Introducción

En Mariscos Márquez, un trabajador se resbala en el piso mojado, otro olvida sus guantes y un tercero ignora los primeros síntomas de fatiga en una cámara fría a 2 °C. No son errores aislados, sino fallas en la supervisión manual que las NOM-STPS están obligadas a prevenir. El problema se plantea por la diferencia entre la obligación normativa y la realidad práctica: ¿cómo asegurar el cumplimiento permanente de seguridad e higiene en un ambiente con alta humedad, frío sin depender de visitas puntuales?

Esta investigación plantea una solución tecnológica y ética: un modelo conceptual de monitoreo inteligente usando sensores IoT (DHT22, MQ-135, MAX30102) y visión artificial (cámara Raspberry Pi V2 + YOLOv8n) para detectar en tiempo real EPP (Equipo de protección personal) ausente, condensación con alertas automáticas por WhatsApp y reportes en Node-RED. Su defensa se basa en que son accesibles (20,000-30,000 MXN), compatibles con Industria 4.0 y capaces de revolucionar las PYMES mexicanas, donde la digitalización de la seguridad aún está en pañales.

El objetivo general es desarrollar un modelo de seguridad e higiene industrial para Mariscos Márquez con IoT y visión artificial. Los objetivos específicos son: (1) Determinar los requisitos normativos aplicables, (2) Diagnóstico de las oportunidades de mejora en equipos de protección, monitoreo del personal y protocolos de seguridad e higiene en la empresa Mariscos "Márquez", (3) Proponer con finalidad de diseño de un modelo de seguridad e higiene industrial que integre visión por computadora y sensores IoT como herramientas de prevención y monitoreo.

La pregunta de investigación es: ¿Cómo puede un modelo de seguridad e higiene industrial con tecnologías de visión por computadora integrando inteligencia artificial y sensores IoT, mejorar la prevención de riesgos, automatización de la vigilancia y el monitoreo en tiempo real en la empresa Mariscos "Márquez"?

La investigación se acota temáticamente (seguridad con nuevas tecnologías), espacialmente (zonas críticas de Márquez: eviscerado, cámaras frigoríficas, almacén), poblacionalmente (15 trabajadores) y temporalmente (normativa 2025). Es cualitativo, documental, propositivo, sin evidencia de campo.

Presentación del Problema

La investigación es una parte fundamental que nos ayuda a que se pueda definir de manera muy clara qué situación se desea analizar, comprender o resolver, este punto es importante conocerlo de manera muy clara en la empresa Mariscos Márquez dentro de sus problemas observados y con base a un análisis empírico se encontraron posibles oportunidades de mejora ya que en su manual de higiene y seguridad se ha visualizado diversas deficiencias, como obsoleta efectividad en la administración de incidentes en la gestión de accidentes tiene una baja eficiencia, caracterizada por procesos manuales y reactivos que conllevan un reconocimiento lento de los eventos (debido a la dependencia de reportes verbales o escritos tardíos), un reporte inadecuado (falta de formatos estandarizados o sistemas digitales para registrar detalles como testigos, causas y consecuencias). También se ha notado una ausencia de supervisión en tiempo real de los equipos de protección individual (EPI) ,en la planta no hay un sistema para monitorear en tiempo real el uso continuo y adecuado del EPP (Equipo de protección personal), que incluye elementos como botas antiderrapantes para prevenir caídas en suelos húmedos debido a agua o desechos de mariscos, guantes plásticos para manipulación higiénica y prevención de cortes o infecciones, cofia para impedir que los cabellos contaminen el producto, mandiles impermeables para protegerse contra las salpicaduras y cubrebocas para mantener la inocuidad del alimento. Esta falta de competencia incrementa la susceptibilidad a contaminantes biológicos y accidentes menores, pues los trabajadores pueden omitir o emplear incorrectamente estos elementos sin que se detecten inmediatamente. Por otra parte, no se dispone de sistemas para monitorear en tiempo real variables ambientales como la humedad, el aire y la temperatura en las cámaras frigoríficas (para prevenir hipotermia); ni tampoco de fisiológicos.

Objetivo de la investigación

Objetivo general

Proponer un modelo de seguridad e higiene industrial apoyado en inteligencia artificial, mediante sensores IoT y software de visión por computadora, para asegurar la seguridad e higiene de los trabajadores en la empresa Mariscos Márquez.

Objetivos Específicos

- Determinar los requisitos normativos aplicables
- Diagnóstico de las oportunidades de mejora en equipos de protección, monitoreo del personal y protocolos de seguridad e higiene en la empresa Mariscos “Márquez”.

- Proponer con finalidad de diseño de un modelo de seguridad e higiene industrial que integre visión por computadora y sensores IoT como herramientas de prevención y monitoreo.

Fundamentos Teóricos

La investigación que se está desarrollando se centra en el análisis y de una propuesta de estrategias tecnológicas que contribuyan al fortalecimiento de la seguridad e higiene industrial en dichos entornos laborales, ya que particularmente en industrias manufactureras y para procesamiento de alimentos. El propósito fundamental es reducir riesgos laborales, accidentes y enfermedades ocupacionales mediante el uso de herramientas innovadoras que permitan una supervisión constante y eficiente.

En la actualidad, la seguridad e higiene industrial constituye un gran componente esencial de la productividad, la sostenibilidad y la responsabilidad social empresarial. ya que integración de tecnologías emergentes como la Internet de las Cosas (IoT), la visión artificial y la inteligencia artificial representa una gran nueva etapa en la evolución de los sistemas de prevención de riesgos laborales, ya que posibilita el monitoreo en tiempo real para la predicción de incidentes y la automatización de procesos de control.

Este enfoque se centra con los objetivos estratégicos de diversas normativas y estándares internacionales de seguridad ocupacional ya que entre ellas la Organización Internacional del Trabajo y la Organización Internacional de Normalización, que promueven esos sistemas de gestión más eficientes y proactivos.

Fernández (2022) propuso un modelo de visión por computadora mas que nada para identificar riesgos ergonómicos y uso adecuado de equipo de protección personal (EPP) para entornos industriales. En sus resultados demostraron que esta tecnología puede automatizar procesos de vigilancia y reducir errores humanos. No obstante, el estudio al parecer se limita a análisis visual ya que no contempla la integración de variables ambientales ni biométricas, lo que podría mejorar la precisión y contextualización de las alertas.

Aldaz (2021) implementó un prototipo basado en Raspberry Pi y YOLOv4-tiny para detectar automáticamente el uso de casco, guantes y chaleco reflectante, con muy buenos niveles de precisión en condiciones controladas. A pesar de sus resultados prometedores, el sistema pierde eficacia en ambientes húmedos y con baja visibilidad, además de no incluir protocolos de respuesta operativa ante las alertas generadas.

El vacío identificado fue la falta de robustez técnica frente a condiciones adversas y ausencia de integración con flujos operativos reales. La aportación en la tesis fue de darnos la posibilidad de mejorar la detección en condiciones de humedad/frío, integrar protocolos de acción y trazabilidad documental para cumplimiento normativo.

Aldaz (2021) implementó un prototipo basado en Raspberry Pi y YOLOv4-tiny para detectar automáticamente el uso de casco, guantes y chaleco reflectante, con buenos niveles de precisión en condiciones controladas. A pesar de sus resultados prometedores, el sistema pierde eficacia en ambientes húmedos y con baja visibilidad, además de no incluir protocolos de respuesta operativa ante las alertas generadas.

Un estudio de la Revista Cloud (2025) expuso que el 60 % de las organizaciones industriales no confían en su capacidad para detectar amenazas en sus sistemas IoT y OT, lo que representa un riesgo operativo y de seguridad. La literatura técnica coincide en que muchas implementaciones fallan por falta de cifrado de sistemas ajustados, segmentación de red y gestión segura de dispositivos.

El vacío identificado es la falta de modelos prácticos que vayan a integrar la seguridad física y cibernetica en entornos industriales IoT de PYMEs. Como también el aporte de la tesis consistió en incorporar protocolos de ciberseguridad básicos como el cifrado, segmentación, actualización OTA y unas guías de protección de datos en la propuesta de modelo de seguridad e higiene.

Propuesta de Diseño de Seguridad e Higiene Industrial: Concepto y Relevancia

Una propuesta de diseño de seguridad e higiene industrial consiste en plantear un buen modelo estructurado que permita identificar, controlar y reducir los riesgos a los que están expuestos los trabajadores en dichos entornos laborales ya que este diseño implica integrar estrategias, tecnologías y normativas con el fin de prevenir accidentes y enfermedades ocupacionales para garantizar condiciones seguras y saludables en los centros de trabajo (González & Ramírez, 2021).

Según la Organización Internacional del Trabajo (2022), cada año millones de personas sufren accidentes laborales debido a sistemas de seguridad deficientes. Por ello, diseñar modelos innovadores de seguridad e higiene se ha convertido en una prioridad en sectores de alto riesgo, como el alimentario y pesquero.

Díaz, Pérez y Morales (2022) subrayan que un plan de diseño contemporáneo necesita integrar tecnologías avanzadas que faciliten el seguimiento instantáneo, la identificación automática de peligros y la toma de decisiones fundamentadas en información. Esta estrategia posibilita el cambio de técnicas de vigilancia manual, que suelen ser lentas y susceptibles a fallos, hacia sistemas automatizados más eficaces.

Diseño de Seguridad e Higiene Industrial Basado en Tecnologías IoT

En años recientes, el uso de IoT en la seguridad en industrias ha aumentado de manera notable. Los sistemas de sensores permiten el seguimiento de variables como la temperatura, la humedad, la detección de gases tóxicos, los niveles de ruido o iluminación y hasta los signos vitales de los empleadores. Esta información puede ser utilizada para

evitar accidentes o para poner en marcha automáticamente protocolos de emergencia (Martínez & López, 2023).

Por ejemplo, en el sector de alimentos, el IoT ha mostrado ser eficaz en la mejora de la trazabilidad, el almacenamiento de productos y la salvaguarda de los trabajadores que laboran en condiciones de frío intenso (Hernández et al., 2022). Adicionalmente, estos sistemas tienen la capacidad de emitir alertas en tiempo real al detectar situaciones peligrosas, disminuyendo de forma significativa el tiempo de reacción ante incidentes.

Flores Chayanco et al. (2025) sugirieron un sistema de monitoreo que combina IoT y visión artificial utilizando el algoritmo YOLO v8, permitiendo una identificación temprana de riesgos en entornos agrícolas e industriales, disminuyendo los incidentes en un 30%.

González y Ramírez (2021) examinaron los principales desafíos en la gestión de seguridad e higiene en fábricas, señalando la carencia de supervisión continua y sugiriendo la incorporación de sensores automatizados.

Díaz, Pérez y Morales (2022) evidenciaron que el uso de tecnología de visión artificial en ambientes laborales facilita la detección de violaciones en el uso de equipo de protección personal (EPP) con un 92% de exactitud.

Seguridad e Higiene Industrial en La Industria Pesquera

Cruz Alvaron y Díaz Castro (2023) estudiaron la conexión entre productividad y seguridad industrial en Hayduk S.A. (Perú) dentro de la industria pesquera, hallando una correlación notable ($\text{Rho}=0.888$) a través de encuestas realizadas a 47 empleados. Señalan peligros como los accidentes en ambientes húmedos (53.2% de prevención baja) y la mala salud ocupacional (44.7% de prevención baja), sugiriendo EPP y gestión de riesgos según ISO 45001. A pesar de ser eficaz, el estudio no incluye tecnologías como IoT para la supervisión en tiempo real y limita la causalidad. Esta brecha es abordada por la propuesta actual de Mariscos Márquez, que emplea visión artificial y sensores para garantizar la higiene al procesar mariscos.

En el sector de la seguridad industrial, Aldaz et al. (2021) se desarrolló un prototipo de monitoreo en tiempo real para poder verificar el uso correcto de equipos de protección personal (EPP) mediante la visión artificial en la escuela politécnica de Chimborazo (Ecuador). El sistema nombrado "Construcción de un sistema prototípico de monitoreo y alerta en tiempo real para el uso de implementos de seguridad industrial", empleó la red neuronal convolucional YOLOv4-tiny sobre framework Darknet, entrenada para detectar cascos, chalecos, orejeras, botas, guantes y personas (Aldaz et al., 2021, p. 45).

Los autores llegaron a la conclusión de que el sistema es funcional y adaptable pero mencionaron la posibilidad de poder mejorar su precisión y escalabilidad mediante la integración de sensores adicionales y la ampliación del conjunto de datos de entrenamiento. Este trabajo construye un antecedente tecnológico importante para la investigación actual

ya que demuestra la viabilidad del uso de la inteligencia artificial para la seguridad laboral. Sin embargo el modelo de Márquez propone que se pueden implementar sensores IoT para que no solo detecte lo visual que sería el equipo de protección personal si no que pueda monitorear el ambiente y lo fisiológico de los trabajadores, con el propósito de poder fortalecer la prevención de accidentes y optimizar los procesos de seguridad e higiene industrial.

Los modelos de higiene y seguridad industrial han pasado de ser enfoques reactivos enfocados en corregir los accidentes después de que ocurren, a ser sistemas preventivos completos que se basan en detectar y controlar los riesgos. Varios autores, entre ellos Chiavenato (2017) y De Cicco (2020), subrayan que estos modelos deben estar en línea con las regulaciones tanto nacionales como internacionales, la NOM-017-STPS-2023, la NOM-026-STPS-2008 y la ISO 45001:2018, por ejemplo, que dictan pautas para manejar la seguridad laboral y el empleo de equipos de protección personal. No obstante, la mayor parte de los modelos registrados se centran en industrias de gran tamaño o manufactureras, dejando un hueco en la adaptación de estos patrones a compañías del sector pesquero o de procesamiento alimentario. En estas últimas, las condiciones de temperatura, humedad y manejo de productos biológicos exigen un enfoque especializado.

Sensores IOT

Para optimizar los procesos de higiene y seguridad ocupacional, se ha sugerido en varias investigaciones la implementación de redes de sensores inalámbricos como una opción eficaz para supervisar las condiciones ambientales en los entornos industriales. Estas redes posibilitan la recolección de datos acerca de variables como la temperatura, el ruido, la iluminación y la humedad, lo que hace más fácil el monitoreo permanente de las condiciones en el lugar del trabajo. La Universidad Tecnológica Nacional de Argentina realizó una investigación en la que se resalta el diseño y la comparación de dos métodos tecnológicos para este monitoreo: uno enfocado en redes de sensores convencionales (Arduino con módulos XBee) y otro bajo el enfoque del Internet de las Cosas (IoT) (Arduino con módulos WiFi) (Cañete, 2015).

El análisis muestra que las redes inalámbricas ofrecen numerosas ventajas en comparación con las cableadas, como la facilidad para extender la cobertura sin requerir más cableado, la flexibilidad de instalación y la disminución de infraestructura física. Asimismo, el protocolo MQTT en la perspectiva IoT posibilita una comunicación constante y ligera entre los dispositivos y el servidor central. Esto garantiza un flujo de información estable que consume poca energía.

El estudio comparó el rendimiento y los costos de ambos sistemas. Los resultados revelaron que el método IoT, que se fundamenta en módulos WiFi, disminuye alrededor de un 35 % los costos de implementación en comparación con el sistema tradicional con XBee, conservando una eficiencia apropiada para ambientes industriales no críticos. La información obtenida no se emplea para supervisar de manera directa los equipos, sino para

registrar, analizar y respaldar las condiciones ambientales, lo que ayuda a acatar las regulaciones de seguridad e higiene. La investigación sobre la propuesta de un diseño de un modelo de seguridad e higiene industrial en la empresa de mariscos Márquez ayudará a generar conocimiento sobre el tema ya que se centrará en el monitoreo de la temperatura del ambiente para que no pueda surgir algún accidente ni ningún daño al producto que sería el marisco.

Incorporar sensores de IoT en los sistemas de higiene y seguridad es un progreso relevante en la automatización del monitoreo ambiental y laboral. Estos aparatos posibilitan la recolección de datos en tiempo real acerca de variables como el movimiento, la iluminación, la concentración de gases, la humedad o la temperatura, lo que ayuda a tomar decisiones fundamentadas en datos. La tecnología IoT ha demostrado ser eficaz en plantas industriales para identificar situaciones de riesgo y poner en marcha protocolos automáticos preventivos, según estudios recientes (Cortés-Rodríguez et al., 2022; López & Méndez, 2023). No obstante, aún existe una brecha en la aplicación de modelos teóricos que incorporan los datos producidos por los sensores con las normas de higiene y seguridad definidas por las leyes mexicanas de forma estructurada; esto es lo que impulsa el diseño del modelo propuesto en este estudio.

Visión Artificial

La visión artificial es otra herramienta tecnológica fundamental en la Industria 4.0, que se utiliza para el reconocimiento visual automatizado a través de cámaras y algoritmos de procesamiento digital. Esta tecnología se utiliza en el campo de la seguridad industrial para comprobar que los materiales se manipulan adecuadamente, detectar el uso de equipo de protección personal y vigilar los movimientos en áreas peligrosas. Estudios como los de Martínez-Pérez et al. (2021) y Romero & Díaz (2022) demuestran su utilidad en la reducción de errores humanos y la mejora de la trazabilidad de procesos. No obstante, la mayoría de los desarrollos se centran en industrias metalmecánicas o automotrices, sin abordar las particularidades de entornos húmedos y fríos, como los presentes en el procesamiento de mariscos. Este vacío abre la oportunidad de diseñar un modelo teórico que vincule la visión artificial con la higiene industrial en zonas industriales de alimentos.

La Inteligencia Artificial

En los años recientes, la Inteligencia Artificial (IA) ha surgido como una de las tecnologías con mayor impacto, facilitando la creación de sistemas que pueden examinar información, aprender del conocimiento humano y decidir con cada vez más independencia. En la industria, la IA se utiliza sobre todo para automatizar, supervisar procesos, controlar la calidad y mejorar la seguridad laboral (El-Helaly et al., 2024).

También, se ha hecho más fuerte la tendencia hacia el uso de Edge AI, donde los datos se procesan en dispositivos locales, reduciendo el retraso y permitiendo una respuesta rápida

ante incidentes (DATEurope, 2024). Esto es importante en sectores donde las condiciones cambian rápido, como en las fábricas de procesamiento de alimentos o mariscos.

Por otro lado, los modelos de visión artificial que se utilizan en la seguridad laboral y que están fundamentados en redes neuronales convolucionales (CNN), han demostrado ser muy eficaces al detectar automáticamente cascos, guantes y otros equipos de protección personal. Según investigaciones recientes, estos sistemas optimizan la vigilancia industrial y disminuyen los errores humanos mediante la automatización de la supervisión visual (Vukicevic, 2024).

Sin embargo, los especialistas resaltan que todavía hay importantes retos: la carencia de datos concretos por sector, las condiciones ambientales desfavorables que impactan a las cámaras (vapor, humedad o reflejos) y la necesidad de modelos más comprensibles para los supervisores y trabajadores. Desde esta perspectiva, el uso de la IA en los procesos industriales marinos es un área con mucho potencial para crecer, porque posibilita que se fortalezcan la seguridad laboral y la inocuidad alimentaria a través del control inteligente de las condiciones de operación (Malaikrisanachalee et al., 2024).

La Inteligencia Artificial es un instrumento muy estratégico para crear sistemas de higiene y seguridad industrial robustos e inteligentes, porque permite identificar riesgos de manera anticipada, optimizar los recursos y generar ambientes laborales más seguros. El hecho de que esté integrado con tecnologías de IoT y visión artificial brinda un fundamento sólido para el desarrollo del modelo sugerido en la compañía Mariscos Marquéz, el cual se ajusta a sus particulares condiciones operativas y medioambientales.

Metodología

Esta investigación, enfocada en el diseño de un modelo de seguridad e higiene industrial con sensores IoT y visión artificial en Mariscos Márquez, se desarrolla bajo un enfoque cualitativo con un diseño no experimental, documental y descriptivo, orientado a la comprensión profunda del contexto de seguridad e higiene industrial en Mariscos Márquez y a la propuesta de un modelo tecnológico basado en sensores IoT y visión artificial. Busca comprender a profundidad las dinámicas y necesidades específicas del entorno laboral. Este enfoque permite explorar las percepciones de los trabajadores y las características del área de producción, utilizando métodos como entrevistas y guías de observación para identificar riesgos y oportunidades de mejora. La metodología se estructura en varios subtemas como la delimitación del universo y muestra, centrada en el personal operativo; el diseño cualitativo que prioriza la interpretación de datos contextuales; y la recolección de información a través de técnicas narrativas y análisis descriptivo.

Además, se incluye un plan para procesar y presentar los resultados de manera que reflejen las experiencias vividas, fomentando una propuesta adaptada a las realidades de la empresa. Este enfoque cualitativo no solo busca diagnosticar las condiciones actuales, sino también proponer un modelo que integre tecnología de forma ética y sostenible, alineándose con las

normativas y las capacidades del personal de Mariscos Márquez. A través de esta metodología, se pretende generar un entendimiento profundo que sirva como base para la implementación efectiva del modelo propuesto.

Determinación del Universo y Obtención de la Muestra

El universo de estudio está compuesto por los 15 empleados que laboran en el área de producción de Mariscos Márquez.

Para esta investigación cualitativa, se empleó un muestreo no probabilístico por conveniencia. Se buscó incluir a la mayor cantidad de personal dispuesto a participar que tuviera experiencia directa con los procesos de producción y los riesgos asociados.

Se logró la participación de 14 de los 15 trabajadores. Este grupo de informantes se consideró suficiente para los propósitos del estudio, ya que permitió alcanzar la saturación teórica, es decir, el punto en que las entrevistas y observaciones comenzaron a arrojar datos recurrentes sin aportar información significativamente nueva. El objetivo no es la representatividad estadística, sino la comprensión profunda de las percepciones y condiciones de seguridad en el contexto específico de la empresa.

La selección incluyó a personal de distintos roles (operarios, supervisores y personal de seguridad) para garantizar que todas las perspectivas relevantes estuvieran incluidas.

Determinación del Tipo y Diseño Metodológico del Estudio

Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), la modalidad de estudio y su diseño metodológico constituyen el marco estratégico que orienta la recolección, el análisis y la interpretación de los datos, garantizando que el estudio responda de forma congruente a las preguntas formuladas en la investigación y a los objetivos establecidos. En esta sección, se escoge y argumenta el método utilizado en la investigación actual, teniendo en cuenta las alternativas sugeridas por los autores: cualitativa, cuantitativa o mixta. Luego, se describe el diseño de la investigación y su alcance, que han sido ajustados a las características del proyecto. Este tiene como objetivo sugerir un modelo conceptual de seguridad e higiene industrial que esté integrado con sensores IoT y visión artificial para la compañía de mariscos Márquez. La investigación es cualitativa, por lo que se pone énfasis en enfoques no experimentales que priorizan la comprensión contextual y la creación de propuestas originales, sin manipulación de variables ni análisis estadísticos.

Elección y fundamentación del enfoque metodológico

Según Hernández et al. (2014), el método cualitativo es el que se escoge para esta investigación; este se enfoca en entender a fondo un fenómeno dentro de su contexto natural, utilizando la recopilación y el análisis de datos no numéricos para investigar percepciones, experiencias y estructuras subyacentes. Este enfoque tiene sentido por múltiples motivos que están en consonancia con los propósitos del estudio:

Características del fenómeno que se estudia: El proyecto trata sobre la incorporación de tecnologías emergentes, como la visión artificial y el Internet de las cosas (IoT), en la gestión de riesgos laborales en un ámbito industrial concreto (el procesamiento de mariscos), en el que es crucial analizar el entorno organizacional, los fallos normativos y las posibilidades de perfeccionamiento. Un enfoque cualitativo posibilita una indagación integral de estos elementos, contestando preguntas como "¿de qué manera las tecnologías inteligentes pueden potenciar el cumplimiento de las NOM-STPS?", sin requerir la cuantificación de variables para generalizaciones estadísticas.

Objetivos exploratorios y propositivos: El objetivo del estudio no es solamente describir las brechas en la higiene y seguridad actuales de la compañía Márquez, sino también sugerir un modelo conceptual que sea factible. Hernández et al. (2014) destacan que el enfoque cualitativo es ideal para formular nuevas preguntas y sugerencias a partir de la inmersión en un fenómeno, lo cual es perfecto para una investigación que combina revisión documental con diseño innovador, sin la rigidez de hipótesis comprobables por medio de datos numéricos.

Restricciones de los métodos alternativos: Aquí, un enfoque cuantitativo que se centra en la recopilación de datos numéricos y el análisis estadístico para verificar hipótesis (Hernández et al., 2014) no sería apropiado porque el estudio no requiere mediciones cuantificables ni generalizaciones a poblaciones grandes; por el contrario, enfatiza la interpretación contextual de un caso particular. El enfoque mixto, que mezcla métodos cualitativos y cuantitativos para obtener una visión más integral, sería innecesariamente complicado y no se ajustaría a los recursos existentes, puesto que no es necesaria un análisis estadístico para corroborar la propuesta tecnológica.

El enfoque cualitativo posibilita entender el problema de manera contextualizada y adaptable, lo que permite realizar iteraciones durante el análisis y elaborar una propuesta pragmática, como la del modelo de monitoreo inteligente, que satisface directamente las exigencias de la empresa de mariscos Márquez.

El diseño metodológico se enfoca en un diseño no experimental, según lo definen Hernández et al. (2014), ya que el estudio tiene una perspectiva cualitativa. En este tipo de diseño, las variables independientes no se manipulan deliberadamente para ver si tienen algún impacto en las dependientes; más bien, el fenómeno se examina dentro de su contexto original y natural. Dado que el objetivo es comprender de manera holística las deficiencias en materia de higiene y seguridad industrial sin interferir en el entorno operacional de la compañía, esta elección está alineada con la naturaleza cualitativa del estudio. En vez de experimentos controlados, se prefiere el análisis interpretativo y la observación teórica para no modificar las condiciones que podrían poner en riesgo la veracidad del entorno industrial.

Se utiliza un diseño documental, que se centra en la recopilación y análisis de fuentes secundarias como informes técnicos, investigaciones científicas, reglamentos (por ejemplo,

NOM-001-STPS-2008, NOM-015-STPS-2001 y NOM-017-STPS-2024) y documentos internos de la compañía Márquez, dentro de los diseños cualitativos descriptivos sugeridos por Hernández et al. (2014). Este diseño es especialmente apropiado, ya que la investigación se fundamenta en el análisis sistemático de la bibliografía acerca de IoT y visión artificial aplicada a la seguridad industrial, al cual se le añade un diagnóstico contextual para presentar un modelo conceptual. No se involucra a los informantes primarios en profundidad, como sí ocurre con el diseño etnográfico o fenomenológico. En su lugar, se da prioridad a la síntesis de datos ya existentes para producir conocimiento propositivo.

Además, se añaden componentes de análisis interpretativo como la inducción analítica (Hernández et al., 2014) para comprobar las proposiciones teóricas a partir de datos cualitativos, lo que posibilita mejorar el modelo sugerido a través de ciclos lógicos. El proceso de diseño es flexible y está adaptado a una investigación no intervencionista, y el análisis del contenido temático para la revisión de documentos y la simulación conceptual del modelo son algunas de las técnicas que se emplean.

Ámbito de la Investigación

La investigación cualitativa que se presenta aquí tiene un alcance exploratorio y descriptivo, de acuerdo con Hernández et al. (2014). El ámbito exploratorio es justificable ya que el asunto de integrar IoT y visión artificial en la seguridad industrial para compañías de mariscos no ha sido tratado ampliamente en la literatura mexicana, especialmente en entornos PYMES como Márquez. Esta cobertura posibilita el reconocimiento de nuevas oportunidades y la formulación de preguntas novedosas, como las que tienen que ver con la viabilidad ética de las tecnologías de monitoreo.

Adicionalmente, el enfoque descriptivo se enfoca en explicar las cualidades principales del fenómeno que se investiga, como los espacios entre la normativa y su cumplimiento, así como las características de un modelo sugerido (por ejemplo: capas para recolectar datos, procesarlos y emitir alertas). Dado que el enfoque cualitativo prefiere la profundidad descriptiva antes que la generalización cuantitativa, no se persiguen correlaciones predictivas ni explicaciones causales completas.

Este diseño y tipo metodológicos aseguran un estudio riguroso y adecuado para el contexto cualitativo, lo que hace posible desarrollar una propuesta novedosa que mejore la higiene y la seguridad en la empresa de mariscos Márquez sin poner en riesgo la integridad del enfoque no experimental.

Selección, Diseño y Prueba del Instrumento de Recolección de la Información.

La selección, diseño y validación de los instrumentos de recolección de información constituyen una fase esencial del proceso metodológico, pues de ellos depende la validez, pertinencia y confiabilidad de los datos obtenidos. De acuerdo con Hernández Sampieri et

al. (2014), la elección del instrumento debe responder al tipo de investigación, los objetivos planteados y las características del fenómeno de estudio.

En el presente trabajo, orientado bajo un enfoque cualitativo y documental, se seleccionaron dos instrumentos principales: una guía de observación y una entrevista semiestructurada aplicada a los trabajadores de la empresa Mariscos Márquez, Ambos instrumentos se elaboraron con base en los objetivos de la investigación y en los criterios de las normas oficiales mexicanas de seguridad e higiene (NOM-017-STPS-2024).

La guía de observación permitió registrar de forma sistemática las condiciones del entorno laboral, el cumplimiento del uso del equipo de protección personal y las prácticas de higiene industrial. Aunque es un instrumento cualitativo, incluye indicadores de cumplimiento en escala ordinal (por ejemplo: “no cumple”, “cumple parcialmente”, “cumple totalmente”), los cuales proporcionan apoyo descriptivo sin modificar el enfoque del estudio.

Por su parte, la entrevista semiestructurada se aplicó con el fin de obtener percepciones, experiencias y opiniones de los trabajadores respecto a la seguridad, el uso del equipo de protección personal y la viabilidad del modelo tecnológico propuesto. Las preguntas abiertas permitieron una comprensión profunda del fenómeno y se complementaron con algunas preguntas cerradas de tipo frecuencial, útiles para organizar y contrastar los testimonios.

El diseño de ambos instrumentos consideró los principios de claridad, relevancia y adecuación al contexto de los participantes, evitando ambigüedades o sesgos. Para asegurar su validez de contenido, se sometieron a la opinión de tres expertos en el área de seguridad industrial y metodología de la investigación, quienes evaluaron la pertinencia y redacción de los ítems. Con base en sus observaciones, se realizaron ajustes para mejorar la coherencia entre las variables, dimensiones e indicadores analizados.

La prueba piloto se efectuó con un pequeño grupo de trabajadores del área de producción, con el fin de verificar la comprensión de las preguntas, la pertinencia de los indicadores y la viabilidad de aplicación. Esta retroalimentación permitió refinar los instrumentos antes de su aplicación definitiva.

En cuanto a la confiabilidad, y aunque en estudios cualitativos no se busca medirla estadísticamente, se garantizó mediante la coherencia interna de los instrumentos, la triangulación de fuentes (observación, entrevista y documentos internos) y la consistencia de los criterios de análisis, asegurando así la credibilidad de los resultados obtenidos.

Plan de procesamiento y análisis de información.

En la parte de codificación se refiere al proceso sistemático de organizar y clasificar los datos cualitativos recolectados a través del análisis documental, el checklist de normas, con el fin de procesar y analizar la información para identificar áreas de mejora en seguridad e

higiene industrial en el área de producción de Mariscos Márquez. Este proceso implica asignar etiquetas o códigos a segmentos de texto o observaciones para estructurar el análisis, facilitando la identificación de patrones y temas relevantes Bernal (2010). La codificación se realizará manualmente, utilizando categorías temáticas predefinidas (e.g., "riesgos ambientales", "cumplimiento de medidas") y emergentes (e.g., eventos específicos como resbalones), derivadas de los datos recolectados. Los resultados se presentarán en matrices temáticas que resalten brechas de cumplimiento (e.g., áreas donde se detectan incumplimientos) y sirvan como base para propuestas conceptuales de integración con sensores IoT y visión artificial, ajustándose iterativamente hasta alcanzar saturación temática.

Dado que esta investigación adopta un enfoque cualitativo, no se emplearán softwares estadísticos como SPSS o R, diseñados para análisis cuantitativo. En su lugar, se utilizará Microsoft Excel como herramienta de apoyo para organizar códigos, crear matrices temáticas y tabular observaciones del checklist, facilitando la visualización de patrones narrativos sin recurrir a cálculos estadísticos. El análisis será exclusivamente cualitativo, enfocado en interpretar los datos para explorar significados y patrones relacionados con el cumplimiento de medidas de seguridad e higiene. Se empleará el análisis temático para identificar temas emergentes, como brechas en el uso de equipo de protección personal o condiciones ambientales críticas, sin recurrir a análisis cuantitativo debido a la ausencia de datos numéricos o hipótesis estadísticas. La triangulación de los datos de los tres instrumentos permitirá enriquecer las interpretaciones, culminando en un informe narrativo que sustente el diseño teórico del modelo (Creswell, 2014, p. 198).

El proceso técnico transforma la información cruda en resultados analizables mediante un enfoque cualitativo estructurado. Inicialmente, se recopilan datos del checklist (e.g., observaciones sobre cumplimiento), la bitácora (descripciones de eventos) y el análisis documental (contenido relevante). Estos se organizan en Excel, asignando códigos temáticos iniciales (e.g., "riesgo crítico" para incumplimientos). Luego, se realiza una codificación axial para conectar temas emergentes (e.g., relacionar observaciones de fatiga con incumplimientos), identificando áreas de mejora. Finalmente, se elabora un informe narrativo con matrices que sintetizan brechas y recomendaciones (e.g., monitoreo con sensores IoT), basado en la saturación de temas Hernández-Sampieri et al. (2014).

Resultados y Discusión

Los resultados del diagnóstico realizado en la empresa Mariscos "Márquez" permitió identificar que, si bien existe una cultura básica de seguridad e higiene y una aplicación general del equipo de protección personal conforme a la normativa, persisten áreas de mejora que limitan el cumplimiento pleno de las disposiciones oficiales. Los trabajadores utilizan adecuadamente la mayoría de los elementos de protección personal, como botas antiderrapantes, guantes y mandiles, y reconocen su importancia para la seguridad y la higiene laboral; no obstante, se detectaron incumplimientos parciales relacionados con el

uso completo del conjunto de EPP, la falta de revisiones sistemáticas antes de iniciar actividades y la ausencia de reportes oportunos sobre deterioro del equipo, lo cual puede comprometer tanto la seguridad del personal.

La discusión sobre el diagnóstico realizado en la empresa Mariscos “Márquez” muestran una gran diferencia entre las prácticas actuales de seguridad e higiene y lo que se requiere hoy en día en tecnología y normatividad. Esto reitera lo que proponen Badri et al. (2018), que afirman que los modelos tradicionales de seguridad industrial, basados en inspecciones manuales y reportes reactivos, son insuficientes para los entornos productivos complejos. La falta de supervisión en tiempo real, la falta de análisis predictivo y la falta de herramientas tecnológicas llevan a la repetición de incidentes y a una capacidad de respuesta deficiente.

Aquí es donde la integración de tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT) y la visión por computadora emerge como una solución viable y necesaria. Los resultados de la investigación concuerdan con lo informado por Zhang et al. (2020), quienes evidenciaron que los sensores IoT pueden identificar condiciones críticas y prevenir accidentes antes de que ocurran. En Mariscos “Márquez” la falta de sensores ambientales impide prevenir riesgos asociados a temperatura y humedad, factores críticos en ambientes pesqueros.

Además, la idea de usar el algoritmo YOLOv8 para detectar el uso adecuado del EPP se basa en investigaciones como las de Redmon y Farhadi (2018) y Choudhary et al. (2020), que demostraron la capacidad de la visión artificial para controlar automáticamente el cumplimiento de las normas de seguridad. La exactitud esperada de más del 85% (Aldaz, 2021) apoya la factibilidad técnica del modelo propuesto, al utilizarse en lugares con altos riesgos de contaminación y accidentes.

Desde el punto de vista normativo, los resultados muestran un apego parcial a lo que estipulan las NOM-017-STPS-2008 (uso de EPP), NOM-030-STPS-2009 (servicios preventivos de seguridad y salud en el trabajo) y NOM-035-STPS-2018 (factores de riesgo psicosocial). Con la aplicación del modelo propuesto se podría mejorar el cumplimiento de estas normas, automatizando el seguimiento y registro de las condiciones laborales y asegurando trazabilidad y evidencia documental ante auditorías internas o externas.

Sin embargo, también se reconocen barreras de adopción tecnológica. Barreras como la resistencia al cambio, la falta de capacitación digital y los costos iniciales de implementación pueden frenar la migración hacia un sistema inteligente de seguridad. Esto se alinea con la advertencia de la OIT (2021) sobre que la digitalización debe ir acompañada de una gestión del cambio organizacional.

Finalmente, los resultados confirman la viabilidad de la aplicación de visión y sensores IoT para reforzar la seguridad e higiene industrial y abren la puerta a futuras líneas de investigación. Entre ellas, medir el impacto real de estos sistemas en la disminución de

incidentes, la opinión de los trabajadores ante la vigilancia automatizada y la incorporación de modelos predictivos de mantenimiento y salud laboral.

Conclusiones

El estudio logró diagnosticar el estado actual de las condiciones de seguridad e higiene industrial en la empresa Mariscos "Márquez", identificando las principales brechas operativas, tecnológicas y de gestión que impiden el cumplimiento de la normativa en seguridad laboral. Los resultados muestran que, si bien la empresa cuenta con buenas prácticas en la elección y uso del equipo de protección personal (EPP) y tiene buenas condiciones generales de seguridad, aún tiene errores en la supervisión continua, la comunicación interna y el uso de herramientas tecnológicas actuales para el control y seguimiento de riesgos.

Las entrevistas al personal operativo y al encargado de seguridad arrojaron que los principales riesgos laborales son resbalones, exposición prolongada al frío y cortes en manos, los cuales son consecuencia de la falta de inspección continua, la humedad del ambiente y el uso incorrecto del EPP. También se descubrió que los protocolos de seguridad actuales se llevan a cabo de manera reactiva y no preventiva, con revisiones solo al comienzo del día y capacitaciones poco frecuentes. "Esta situación evidencia la necesidad de avanzar hacia un sistema más proactivo, soportado en tecnologías inteligentes capaces de monitorear en tiempo real las condiciones ambientales y el uso del EPP".

La evaluación con lista de verificación arrojó un cumplimiento parcial de la normatividad, sobre todo de la NOM-017-STPS y NOM-015-STPS-2001, al verificar el uso de guantes, cofias, mandiles impermeables y botas antiderrapantes en la mayoría de los trabajadores. Sin embargo, se identificaron fallas en el informe oportuno de deterioros del EPP, la revisión sistemática antes de cada turno y la participación en programas de capacitación continua, las cuales no comprometen la seguridad de manera crítica, pero son áreas por fortalecer con estrategias de sensibilización y control digitalizado. En la NOM-001-STPS-2008, las observaciones indicaron instalaciones limpias y seguras, pero con poca supervisión correctiva y mala comunicación interna para solucionar problemas, lo que impide una respuesta inmediata ante situaciones inseguras.

Adicionalmente, los resultados de la lista de verificación realizada a 14 participantes mostraron una predisposición a la adopción de sensores IoT y visión artificial, al ser conscientes de su capacidad para anticipar riesgos, ahorrar tiempo y mejorar la eficiencia. Los trabajadores coincidieron en que estas herramientas podrían disminuir accidentes y controlar el entorno laboral sin tener que estar al pendiente de un humano. Pero surgieron preocupaciones sobre la privacidad en el trabajo y el temor a la sustitución de puestos de trabajo humanos, lo que hace necesario aplicar las innovaciones tecnológicas de manera ética, participativa y gradual. También se identificó una gran brecha formativa, ya que la mayoría de los trabajadores no están formados en tecnologías digitales para la seguridad industrial.

Se determinó que la incorporación de tecnologías inteligentes no solo mejora la seguridad e higiene laboral, sino que también es una oportunidad para mejorar los estándares de inocuidad, eficiencia y sostenibilidad en la industria. Esta investigación demuestra que la prevención de riesgos se puede mejorar con sistemas automatizados de detección y vigilancia, creando un ambiente de trabajo más seguro, productivo y en concordancia con la Industria 4.0. De este modo, Mariscos “Márquez” se podría posicionar como una empresa pionera en la modernización tecnológica del sector pesquero y asegurar la seguridad de sus trabajadores y la calidad del producto final.

Bibliografía

- Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2008). *NOM-001-STPS-2008, Edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo - Condiciones de seguridad*. Diario Oficial de la Federación.
https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5074982&fecha=24/11/2008
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2001). *NOM-015-STPS-2001, Condiciones térmicas elevadas o abatidas - Condiciones de seguridad e higiene*. Diario Oficial de la Federación.
https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=731900&fecha=28/03/2002
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2024). *NOM-017-STPS-2024, Equipos de protección personal - Selección, uso y manejo en los centros de trabajo*. Diario Oficial de la Federación.
https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5719245&fecha=21/03/2024
- Secretaría del Trabajo y Previsión Social. (2018). *NOM-035-STPS-2018, Factores de riesgo psicosocial en el trabajo - Identificación, análisis y prevención*. Diario Oficial de la Federación.
https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5541828&fecha=23/10/2018
- Pucha Aldaz, J. S., & Granizo Tapia, J. E. (2021). Construcción de un sistema prototípico de monitoreo y alerta en tiempo real para el uso de implementos de seguridad industrial en centros de trabajo mediante visión artificial (Trabajo de titulación, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo). Repositorio Digital ESPOCH.
<https://dspace.espoch.edu.ec/items/1f237614-2221-497d-b3dc-f2fb242269cb>
- Vilca Pantigozo, R. J., & Dali Flores Chayanco, H. J. (2025). *Red de sensores IoT basada en la tecnología Wi-Fi y YOLO v8 para el control y monitoreo de cultivos de maíz blanco gigante en el distrito de Pisac, Cusco* [Tesis de grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio Académico UPC.
<http://hdl.handle.net/10757/685715>
- Rodríguez, E., Deco, C., Burzacca, L., Pettinari, M., Costa, S., & Bender, C. (2015, agosto). *Ánalisis y diseño de una red de sensores con tecnología inalámbrica para el*

monitoreo de condiciones de higiene y seguridad del ambiente en entornos industriales [Ponencia]. VIII Congreso Argentino de Ingeniería Industrial (COINI 2015). edUTecNe.

https://www.edutecne.utn.edu.ar/coini_2015/trabajos/A014_COINI2015.pdf

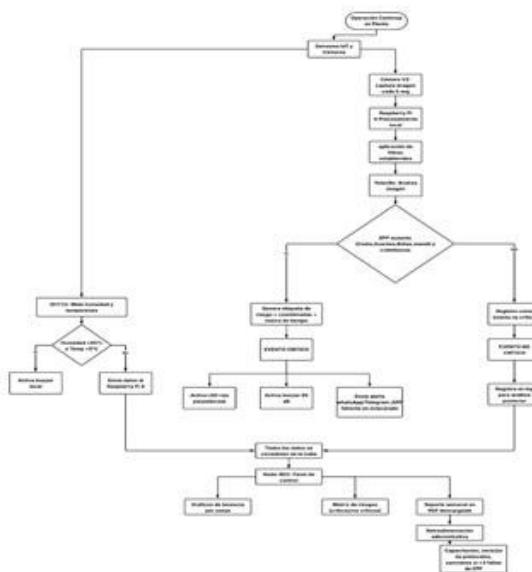
Fernández, M. M. M. (2021). *Visión artificial en la gestión y apoyo a la seguridad de los trabajadores* [Tesis doctoral, Universidad Nacional del Sur]. Repositorio Digital UNS. <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/5753>

Castaño, C. F. M., & Arango Alzate, C. M. (2024). *Aplicaciones de la inteligencia artificial en salud y seguridad en el trabajo: Una revisión sistemática* [Revisión sistemática]. Revista de la Asociación Española de Especialistas en Medicina del Trabajo, 33(4), 483-500.

Chichanda Quijije, W. R. (2024). Estudio de tecnología IoT aplicado a la seguridad y salud laboral en las industrias del sector CIIU 10 (Trabajo de integración curricular, Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad de Guayaquil). Repositorio UG. <https://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/74008>

Figura(s)

Figura 5.1 Diagrama de flujo de paso a paso del modelo de seguridad e higiene industrial



Fuente: Elaboración propia.

**Tecnología para la construcción sostenible con perspectiva de género en la Zona
de Calkiní Campeche.**

Elsy Verónica Martín Calderón¹

Wendy Argentina de Jesús Cetina López²

Mario Ben-Hur Chuc Armendariz³

Emilio Pérez Pacheco⁴

Luis Humberto May Hernández⁵

Tecnológico Nacional de México/ IT Calkiní

evmartin@itescam.edu.mx

wacetina@itescam.edu.mx

mbchuc@itescam.edu.mx

eperez@itescam.edu.mx

lmay@itescam.edu.mx

Resumen.

En este trabajo se presenta un avance de investigación, que plantea una alternativa tecnológica que permite reducir el peso de las mezclas convencionales de concreto, así como la disminución del peso de las piezas empleadas dentro del sistema de construcción, mismo que posee una característica importante: una fuerte masculinización de la actividad debido al peso de las mezclas tradicionales de concreto y al peso de las piezas que se manipulan en obra, lo que limita la participación de las mujeres en actividades directas de construcción. Una de las alternativas que puede darle un giro importante a la industria de la construcción, en la región (Zona de Calkiní Campeche), es el empleo del concreto celular, lo cual, hace que tanto la mezcla como las piezas obtenidas puedan ser más ligeras. Por tal razón, se pudo realizar un enfoque experimental-aplicado con diseño de mezclas (relación agua/cemento, aditivos y agentes espumantes), para evaluar la variable de peso y cuantificar el porcentaje de reducción de dicha variable. De igual manera se evaluó la opción de diseñar un molde para la elaboración de bloques que facilite su manejo por el género femenino, este diseño fue realizado utilizando la herramienta del dibujo asistido por computadora (CAD); donde el criterio de diseño consideró la geometría y el desmoldeo, así como la ergonomía y la posibilidad de manipulación segura por parte de trabajadoras, con el fin de que el proceso constructivo sea replicable por mujeres en campo. Los resultados preliminares indican que la reducción de peso obtenida mediante concreto celular, junto con moldes optimizados, abre la posibilidad de un sistema constructivo más ligero, accesible y socialmente inclusivo en la región.

Palabras clave: construcción sostenible; concreto celular; moldes reutilizables; tecnología ligera; inclusión de mujeres.

Abstrac.

This paper presents a research advance, which proposes a technological alternative that allows reducing the weight of conventional concrete mixes, as well as the weight of the pieces used within the construction system, which has an important characteristic: a strong masculinization of the activity due to the weight of traditional concrete mixes and the weight of the pieces that are handled on site, which limits the participation of women in direct construction activities. One of the alternatives that could significantly transform the construction industry in the Calkiní area of Campeche is the use of cellular concrete, which allows for lighter mixes and finished pieces. Therefore, an experimental-applied approach was implemented, focusing on mix design (water/cement ratio, additives, and foaming agents) to evaluate weight and quantify the percentage reduction. Similarly, the option of designing a mold for block production that facilitates handling by women was evaluated. This design was created using computer-aided design (CAD) software, where the design criteria considered geometry, demolding, ergonomics, and the possibility of safe handling by female workers, with the aim of making the construction process replicable by women in the field. Preliminary results indicate that the weight reduction achieved through cellular concrete, along with optimized molds, opens the possibility of a lighter, more accessible and socially inclusive construction system in the region.

Keywords: sustainable construction; cellular concrete; reusable molds; lightweight technology; inclusion of women.

Introducción

La ciudad de Calkiní tiene 52,890 habitantes distribuidos en 178 localidades (INEGI, 2020); donde la concentración poblacional muestra marcadas disparidades: el 78 % (41,517 personas) reside en solo 5 núcleos urbanos: Calkiní, Becal, Nunkiní, Santa Cruz Pueblo y Dzitbalché, este último recientemente convertido en municipio) mientras el 22 % restante (11,373 habitantes) se dispersa en 198 localidades rurales. Esta distribución genera retos específicos en la provisión de servicios públicos y acceso a tecnologías, particularmente en comunidades menores. En este trabajo se hará referencia a la Zona de Calkiní, al referirse a los 5 núcleos urbanos comprendidos por los 2 municipios (Calkiní y Dzitbalché) y las 3 localidades (Becal, Nunkiní y Santa Cruz Pueblo) las cuales tienen mayor representatividad.

En cifras del INEGI (2021); dentro del tejido social se tiene que el 96.3 % de las 12,726 viviendas particulares cuenta con piso firme, superando la media nacional (INEGI, 2021). No obstante, persisten brechas en:

- Agua entubada: 89.7 % de cobertura vs. 95.4 % estatal.
- Drenaje: 78.2 % de hogares conectados vs. 83.1 % en Campeche.
- Internet: Solo 34.6 % de viviendas con acceso, frente al 47.7 % estatal.

Esta distribución del tejido social pone de manifiesto los retos que enfrenta la industria de la construcción en materia de urbanización y la búsqueda de mejores condiciones en cuanto al tema de vivienda se refiere. Lo cual implica desafíos en términos de sostenibilidad, eficiencia y accesibilidad, para la industria de la construcción, no solo en la Zona de Calkiní, Campeche sino de manera general. La utilización de materiales innovadores, como el concreto celular, se ha posicionado como una alternativa viable para la optimización de procesos constructivos, debido a su bajo peso, buenas propiedades térmicas y menor impacto ambiental en comparación con materiales tradicionales (Galvez Sanabria, 2024).

En la región de Calkiní, Campeche, la necesidad de desarrollar soluciones de construcción que sean sostenibles y accesibles es crucial. Además, existe una oportunidad significativa para la incorporación de mujeres en este sector, promoviendo la equidad de género y la participación en actividades productivas mediante el uso de tecnologías accesibles y eficientes.

Por las características del concreto celular es posible mejorar las condiciones ergonómicas de las actividades propias de la albañilería, lo cual permitiría minimizar el impacto natural, de la actividad; siendo el peso de la mezcla y las piezas, el principal factor que ocasiona lesiones en los trabajadores en este sector (Vivanco Pérez, 2023).

Desde el punto de vista de la ingeniería industrial, el estudio de métodos se centra en determinar cómo se realiza un trabajo, con el fin de hacerlo más simple, eficaz y rápido, considerando que las tareas o actividades pueden ser realizadas por un solo operario o por un grupo, utilizando herramientas, equipo o maquinaria (Baca-Urbina, 2014). La perspectiva de la ingeniería de métodos no solamente considera la secuencia del trabajo, sino también la parte de diseño y los materiales que puedan favorecer el desarrollo de alguna actividad así es posible mejorar el desempeño reduciendo riesgos al personal, al incorporar materiales que apoyen a la búsqueda de ese objetivo.

En este avance de investigación se analizó la composición del concreto celular y se desarrolló moldes innovadores que mejoren su aplicación en procesos constructivos. A través del diseño asistido por computadora (CAD) y la fabricación accesible de moldes reutilizables, se pretende incorporar el uso del concreto celular y fomentar un modelo de construcción más sostenible y equitativo, es decir considerando un enfoque de género, en la región.

Presentación del problema

Dentro de los sistemas de construcción tradicionales basados en mezclas de concreto convencionales y el manejo manual de las piezas implican una exigencia física importante en las actividades de fabricación, acarreo, izaje y colocación de elementos, lo cual ha contribuido históricamente a que en el espacio laboral sea predominantemente masculino (Vijayakumar & Choi, 2022). Esta condición limita la participación de las mujeres en forma directa y también restringe las oportunidades de empleo local, la transmisión de capacidades técnicas a otros grupos sociales y la diversificación productiva de la región.

A la par con la condición descrita anteriormente, el modelo constructivo actual enfrenta presiones ambientales y económicas; que se complementa por el uso de materiales pesados, así como en la huella ambiental de la edificación, especialmente en climas cálidos como en los de la región de estudio, donde el confort térmico es un reto permanente. A lo anterior se le suma la ausencia de soluciones tecnológicas ligeras, sostenibles y eficientes que puedan adaptarse al contexto local (Arbito Contreras, 2016).

Por lo que en esta parte de la investigación se planteó el uso de tecnologías como la que propone el concreto celular (por la disminución del peso); así como el desarrollo de moldes mediante la ocupación del diseño asistido por computadora. Tanto la modificación del material principal y las características de un nuevo diseño de bloques, apoyan a la disminución del esfuerzo físico requerido para las operaciones de producción y colocación de elementos, generando oportunidades para la participación de las mujeres en ciertas etapas del proceso constructivo.

Objetivos de la investigación

Desarrollar una alternativa tecnológica ligera, integrada por formulaciones de concreto celular y la ocupación de las herramientas del diseño asistido por computadora (CAD), para el desarrollo de moldes que permitan fabricar bloques con concreto celular, buscando disminuir el peso de los elementos constructivos hasta niveles manipulables por trabajadoras de la región de Calkiní, Campeche, y que favorezca prácticas de construcción sostenibles y energéticamente eficientes en vivienda local.

Fundamentos teóricos

En este apartado se abordarán 3 temas centrales en el desarrollo de esta investigación los cuales son: El concreto celular como material alternativo en la mejora de los métodos de producción de la industria de la construcción; el diseño asistido por

computadora (CAD) como herramienta de estandarización y ergonomía en obra; así como el tema; perspectiva de género y accesibilidad laboral en la construcción.

El concreto celular como material alternativo en la mejora de los métodos de producción de la industria de la construcción.

Dentro de la ingeniería industrial destaca la ingeniería de métodos que se centra en analizar y rediseñar las tareas del trabajo con el fin de hacerlas más seguras, más eficientes y menos demandantes físicamente para el operario (Groover, 2013).

Los autores Niebel & Freivalds (2009) plantean que la mejora del método no sólo consiste en reducir tiempos o eliminar movimientos innecesarios, sino en replantear los recursos y condiciones bajo las cuales se ejecuta el trabajo, de manera que el proceso sea técnicamente controlable y humanamente sostenible (Niebel & Freivalds, 2009). Desde esta perspectiva, el material empleado y la forma de manipulación son variables críticas del método. En ese sentido el desempeño productivo de un sistema industrial no depende únicamente de la secuencia de las operaciones, sino también de las características físicas de los insumos y de las herramientas de apoyo utilizadas en la transformación (Baca-Urbina, 2014).

Por lo anterior se puede afirmar que el diseño del trabajo garantiza mejorar la productividad y la seguridad del proceso de producción, lo cual implica intervenir el peso de las cargas manipuladas, la facilidad de sujeción, el control dimensional de las piezas y la repetibilidad del proceso de producción, factores que se relacionan directamente con la fatiga y los riesgos ergonómicos potenciales del trabajo.

El diseño asistido por computadora (CAD), la estandarización y la ergonomía en la obra

El diseño asistido por computadora (CAD) se ha convertido en una herramienta estratégica para el prototipado (Erazo-Arteaga, 2022), este mismo autor enfatiza como éstas herramientas ayudan al trabajo de un diseñador, haciendo este trabajo más productivo con un sistema que genera varias vistas de los componentes y ensambles; así como vistas en tres dimensiones las cuales pueden ser ampliadas, rotadas y cortadas por secciones, lo que permite a clientes y profesionales que intervienen en el diseño y manufactura formarse una idea del producto en cuestión, facilitando todas las posibles modificaciones y eliminación de defectos, antes que el producto salga al mercado.

De igual manera el diseño asistido por computadora ha sido una de las herramientas por excelencia empleadas en la industria de la construcción. En esta área revolucionó

completamente el proyecto de edificaciones, ya que es más rápido y preciso en su elaboración de planos bidimensionales y modelos tridimensionales (Bautista, 2020).

El diseño asistido por computadora (CAD) también resulta de gran utilidad para la manipulación de piezas normalizadas, generando así la oportunidad de manipular la parte geométrica (dimensiones), y también la parte operativa, es decir de observar mediante el prototipado la funcionalidad del modelo (Apezteguía Rigueira, 2019). Por ejemplo, en el diseño de un molde se define cómo se vierte el material, la forma en que se asegura, se libera y también cómo se toma con las manos, lo que está relacionado con el “método de trabajo” dejando de residir en la fuerza y experiencia del trabajador más fuerte, y pasa a residir en el diseño de la pieza. En este sentido también las herramientas CAD pueden anticipar riesgos ergonómicos (Chellappa & Luximon, 2025).

Por otro lado, la ergonomía ocupacional en construcción ha documentado que el manejo manual de materiales pesados, las posturas inestables y los ciclos de levantamiento repetitivo son factores asociados a lesiones músculo-esqueléticas, particularmente en espalda baja, hombros y muñecas (Vivanco Pérez, 2023); esta misma autora señala que los principales factores ergonómicos en el sector de la construcción son: El esfuerzo físico intenso por manipulación manual de cargas, movimientos repetitivos, posiciones forzadas, estatismo postural y largas exposiciones; lo que puede generar posibles afectaciones musculoesqueléticas en 83 secciones o áreas más afectadas: cuello, espalda superior e inferior, miembros superiores y miembros inferiores. Lo que puede ocasionar afectaciones como dolor lumbar, daños a estructuras como ligamentos y dolor cervical (Vivanco Pérez, 2023).

Perspectiva de género y accesibilidad laboral en la construcción

Tradicionalmente la construcción ha sido una actividad relacionada con la fortaleza física y por lo tanto, según la educación recibida, con el hombre. Prueba de ello es la alta masculinización que ha presentado el sector (Infante, Román, & Traverso, 2012).

En la industria de la construcción el trabajo femenino está principalmente enfocado a funciones administrativas o de limpieza (Martínez & Moreno, 2025): Esta tendencia se aprecia a nivel mundial; en la Unión Europea, el porcentaje de participación de las mujeres en la construcción oscila entre el 4.5 %; el 14.1 % en Austria; mientras que en los Estados Unidos, las mujeres representan solo el 9 % de la fuerza laboral en la industria más amplia de la arquitectura, la ingeniería, la construcción y las operaciones (AECO).

Entre la literatura se distinguen 12 barreras para la inclusión de género en la industria de la construcción las cuales son: La maternidad (la conciliación y el rol múltiple);

los estereotipos de género, la promoción, las condiciones de trabajo, la cultura machista, la asignación de puestos, el acoso y la falta de respeto; el reclutamiento y la selección; la retribución; las redes sociales; el desempeño y las propias mujeres (Navarro-Astor, Román-Onsalo, & Infante-Perea, 2016). Este último punto refiriéndose a la actitud de menoscabo y arrogancia hacia el feminismo, ejercida por algunas mujeres que han conseguido el éxito, no apoyando e incluso llegando a obstaculizar al resto de mujeres.

Dentro de esta perspectiva, un punto que juega un papel muy importante es la carga física y las condiciones de trabajo que representan una limitante al acceso de las mujeres a este campo laboral (Senaratne, Jayakodi, Pascoe, & Atkins, 2025); por lo anterior, a las mujeres se les asigna actividades consideradas más ligeras (administración, coordinación documental, acabados finos) y no las actividades principales de producción.

Sin embargo, las actividades relacionadas al realizar la propuesta de conferirle menor peso a la mezcla de concreto y las piezas que se ocupan para la construcción (bloques, celosías, bovedillas, adocretos) las actividades podrían diversificarse para que puedan ser colocadas por mujeres.

Metodología

Esta investigación se desarrolla con un enfoque aplicado y experimental, orientado a evaluar la viabilidad técnica y ergonómica de una alternativa tecnológica para la construcción sostenible en la Zona de Calkiní, Campeche (la cual abarca el municipio de Calkiní y Dzitbalché; así como las 3 localidades con mayor población en la región). El avance metodológico presentado se concentra en dos líneas de trabajo: (i) formulación de mezclas de concreto celular para la obtención de piezas constructivas de menor peso, y (ii) diseño asistido por computadora (CAD) de moldes reutilizables destinados a la fabricación estandarizada de dichas piezas.

Esta fase metodológica corresponde al avance experimental de la investigación y se enfoca en dos ejes:

1. El desarrollo de mezclas ligeras tipo concreto celular para producir piezas modulares (bloques y celosías decorativas / de cerramiento), y
2. La fabricación de dichas piezas en moldes rígidos reutilizables de geometría controlada.

1. Materiales y formulación de las mezclas

Para la obtención del concreto celular se utilizaron cinco componentes básicos: Cemento Portland (aglutinante hidráulico principal); polvo de piedra (residuo mineral finamente molido utilizado como fase sólida de relleno); yeso (sulfato de calcio hidratado), incorporado en pequeñas proporciones para favorecer la estabilidad temprana de la mezcla y el comportamiento durante el fraguado inicial; agua, como medio de hidratación y de activación del cemento y agente espumante, para generar burbujas estables en la mezcla fresca.

2. Preparación de la mezcla y generación de espuma

El procedimiento de mezclado contempló: Mezclar en seco de los sólidos finos (polvo de piedra, cemento y yeso) hasta lograr homogeneidad visible; adición gradual de agua; incorporación del agente espumante, previamente batido en agua limpia para generar una fase aireada.

En estudios de hormigón celular espumado se ha documentado que el control de la espuma (tamaño de burbuja, estabilidad después de unos minutos, resistencia al colapso) es determinante para la densidad final y para que el elemento conserve su forma sin hundimientos (Borbor Yagual & Ramos González, 2023).

3. Moldeo

Para fabricar las piezas se utilizaron moldes de polipropileno con medidas de: 200×200×100mm con cavidades geométricas definidas (celosías); así como el empleo de moldes metálicos cilíndricos para probetas con diámetro interior $\text{Ø}50 \pm 0.5$ mm y altura útil 100 ± 1 mm, espesor de pared 5 mm, y placa base 100×100×7mm; los cuales cuentan con paredes lisas y espesores constantes, aristas internas limpias y ángulos definidos, en la pieza final.

4. Secado y Desmolde

Después del vaciado, las piezas se dejaron fraguar en el propio molde el tiempo suficiente para que la mezcla adquiriera rigidez inicial y permitiera el desmoldeo sin deformación. Se verificó visualmente: formación de grietas tempranas, colapso de esquinas o bordes y desprendimiento superficial tipo cascarilla.

Por otra parte, se desarrollaron 2 tipos de moldes por medio del diseño asistido por computadora (CAD), el primero permitirá la realización de pruebas de resistencia, y el segundo representa una propuesta que modificaría el tamaño de los bloques para que estos sean más fáciles de manipular. Se eligió el software de Autodesk Inventor porque permite desarrollar ensambles completos y verificar los ajustes, interferencias y rigidez antes de la fabricación. Los parámetros editables del programa facilitan la generación de variantes de un mismo diseño sin necesidad de reconstruir el modelo

desde cero. Otro aspecto para la selección del software fueron las funciones de interoperabilidad (AnyCAD) para intercambiar modelos con otros sistemas CAD y soportar la preparación directa para manufactura (planos de corte, exportación CNC o impresión 3D), reforzando su utilidad como medio de prototipado y estandarización del proceso de moldeo. Así como la generación de las listas de materiales y caracterización de dichos materiales (Autodesk, 2025b).

Para la realización del diseño de los moldes fue necesario definir los requisitos del diseño, fijar los parámetros globales en el programa (largo, ancho, espesor de pared, ángulo de desmoldeo, radio, holgura de junta, ancho de asa, separación de pernos); la estructura paramétrica (nombres y unidades) para permitir variaciones A/B sin reconstruir el modelo; así como la plantilla con *iProperties* (autor, versión material) y convenciones de nombres. Posterior a la fijación de los parámetros se realizó el modelado de las piezas y ensambles (Autodesk, 2025a). El siguiente paso implicó los detalles para el modelado y manipulación; así como la verificación virtual y la preparación para la fabricación (Planos 2D), listas de materiales, listas de cortes (bastidos/Sheet metal), exportación DXF (lámina) y STEP/IGES (proveedores externos). Se continuó con el prototipado y ajuste; así como la verificación de los criterios de aceptación.

Resultados y discusión

Se realizaron mezclas de concreto celular y piezas con formulaciones a base de cemento Portland, polvo de piedra, yeso, agua y un aditivo espumante de uso doméstico. En las preparaciones realizadas se obtuvo una mezcla que demostró una apariencia física idónea en la fabricación de celosías con menor masa percibida que las que se encuentran de manera convencional; un punto importante es que se utilizaron moldes prefabricados y que se pueden encontrar comercialmente los cuales fueron de polipropileno con medidas de 200×200×100 mm. La mezcla con espuma más estable mostró mejor llenado y menor colapso en aristas.

La reducción de masa observada es coherente con el principio de aligeramiento por fase gaseosa del concreto celular reportado en literatura (p. ej., disminución de densidad aparente y efecto positivo en manipulabilidad) y se alinean con el objetivo de accesibilidad física del proceso constructivo (Perez, Chumacero, & Pretel, 2021). Lo anterior favorece al enfoque de la ingeniería de métodos, al intervenir el peso de la pieza que va a manipularse, se impacta de forma directa en el desempeño biomecánico que requiere el operario que realizará el proceso (Niebel & Freivalds, 2009).

Las formulaciones realizadas mantuvieron su forma al realizar el proceso de desmolde y presentaron acabados funcionales con caras de contacto con el molde. El comportamiento típico del concreto celular espumado: la estabilidad de burbujas y la reología de la pasta condicionan integridad temprana y textura superficial. Resulta importante controlar el tamaño y distribución de los poros como punto clave para transitar de prototipo viable a unidad repetible.

Las proporciones realizadas para la preparación de las 2 mezclas (de celosías y las probetas) se describen en la tabla 1; esta tabla se consideró como parte inicial del experimento, la muestra sin agregado de espuma preformada a la que se le llamó M-Base 0 y la muestra M-Ligera 25; la primera mezcla no contiene agregado de espuma preformada, mientras la segunda contiene un 25 % de espuma preformada sobre el volumen de la mezcla fresca. En la tabla 1, se puede observar los materiales utilizados; la espuma preformada fue generada aparte batiendo el aditivo espumante en agua y mezclándola al final con la pasta base. El porcentaje es respecto al volumen total de la mezcla fresca (pasta + espuma). Ver tabla 1.

Tabla 1. Proporciones de componentes utilizados para la mezcla fresca. Mezcla Base 0 y Mezcla-Ligera 25.

Mezcla	Polvo de piedra	Cemento (C)	Yeso (Y)	Agua (A)	Espuma preformada* (% v/v)
(P)					
M-Base 0	3 partes	3 partes	2 partes	2.5 partes	0
M-Ligera 25	3 partes	3 partes	2 partes	2.5 partes	25

Nota. % v/v = porcentaje en volumen respecto al **volumen total de la mezcla fresca** (pasta + espuma).

Fuente: Elaboración Propia

Al realizar las mezclas se obtuvieron las probetas convencionales y probetas con 25% del volumen de la mezcla fresca.

Las piezas obtenidas con la preparación M-Ligera 25, presentaron un incremento en el volumen de un 20 % y una reducción en el peso de 29 %; es decir fueron más ligeras

y pudieron manipularse con ambas manos sin palancas, ni torsiones de tronco; lo cual reduce el esfuerzo y posturas forzadas, factores que podrían ocasionar trastornos músculo-esqueléticos en el proceso natural de la edificación. Lo que abre posibilidades a la integración de mujeres en dichas obras.

Al observar el comportamiento de los moldes de polipropileno, y al tener la propuesta de modificar las medidas de los bloques convencionales; así como la versatilidad del modelado realizado con el programa Autodesk Inventor, es posible considerar la opción de la impresión 3D del prototipo obtenido; así como la fabricación de los moldes para la elaboración de las probetas que serán sometidas a las pruebas para determinar la resistencia.

Los moldes para las probetas que fueron utilizadas son cilindros metálicos reutilizables de acero al carbón, montados sobre una base cuadrada del mismo material, estos moldes están provistos con abrazaderas y tornillos de presión que aseguran el cierre para contener la mezcla de manera adecuada. Las dimensiones del conjunto del molde son diámetro interior $\varnothing 50 \pm 0.5$ mm y altura útil 100 ± 1 mm, espesor de pared 5 mm, y placa base $100 \times 100 \times 7$ mm. De igual manera incluye esquinas redondeadas y un ranurado superior para liberar presión durante el desmoldeo. Este diseño robusto permitió un colado compactado y desmolde controlado, y su construcción en acero asegura rigidez y repetibilidad entre corridas.

Conclusiones

Durante este avance de investigación se pudo establecer que existe viabilidad técnica de la reducción del peso piezas en la fabricación de celosías, manteniendo su estabilidad tanto en moldes de metal como en molde de polipropileno, con acabados funcionales lo que genera la oportunidad a la implementación de un sistema constructivo más ligero y manejable.

Al utilizar las herramientas del diseño asistido (CAD) utilizando el software Autodesk Inventor fue posible hacer ajustes en la estructura de los moldes que permita un vaciado y desmolde controlado; así como la consideración de realizar los moldes utilizando las herramientas de la industria 4.0, de manera puntual la impresión 3D.

En las pruebas preliminares realizadas se pudo obtener una reducción del volumen de la mezcla fresca de un 20 %; lo cual es equivalente a una reducción del peso de un 29 %, tanto en la mezcla fresca como en las piezas terminadas lo que favorece la ergonomía del proceso; abriendo la posibilidad a la incorporación de las mujeres de forma directa en las actividades de edificación.

Los materiales utilizados fueron obtenidos en tlapalerías locales lo cual garantiza la accesibilidad de los mismos, lo que también genera ahorros en transporte y manejo (lo cual en obra representa un pasivo necesario), enfatizando el potencial de sostenibilidad de este proyecto.

El uso del software Autodesk Inventor también permitió tener varias familias de moldes y documentar la planimetría necesaria para poder replicarlos.

En esta parte de la investigación también se puede notar avances importantes en el ámbito de la ingeniería de métodos al poder modificar el diseño de los moldes; y así mejorar la estructura del trabajo incorporando vertientes ergonómicas, que apuntan a mejorar la manipulación de los materiales, al considerar la reducción del peso de las piezas empleadas en obra.

Incorporar modificaciones estructurales en el material, permitió la reducción del volumen de la mezcla utilizada para cada pieza, la reducción del peso y ofrece una base para la mejora térmica en la vivienda, lo que apoya la construcción sostenible en climas tropicales y subtropicales como los que predominan en la región de estudio; por lo que es necesario la realización de pruebas que respalden la resistencia de las piezas fabricadas; así como la validación para su empleo; lo cual representa la siguiente etapa de esta investigación.

Bibliografía

- Apezteguía Rigueira, A. (2019). Componente para la gestión de datos de piezas normalizadas en aplicación de Diseño Asistido por Computadora.
<https://repositorio.uci.cu/jspui/handle/123456789/123410145>.
- Arbito Contreras, G. V. (2016). Concreto celular para uso estructural.
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/123425669>.
- Autodesk, I. (2025a). Autodesk Inventor 2025: Análisis de interferencias en ensambles. *Autodesk Help*,
<https://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2025/ESP/?guid=GUID-2033B2024E2343-2012DF-2048F2020-2028E2000-A2072DDFDBA2778>.
- Autodesk, I. (2025b). Ayuda de Autodesk Inventor 2025. *Autodesk Help*,
<https://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2025/ESP/?guid=GUID-97068BF97069-97083A97062-94708-B97935-B96842E70932C>.
- Baca-Urbina, G. (2014). *Introducción a la Ingeniería Industrial* (et al. Ed.). México: Editorial Patria.

Bautista, J. D. M. (2020). Evolución de los softwares de simulación para el Diseño y Construcción en la Industria. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 5(8), 1332-1343
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7554321>.

Borbor Yagual, J. J., & Ramos González, E. T. (2023). *Estudio comparativo de 3 tipos de espumantes para la fabricación de un hormigón celular de densidad de 400 kg/m³ (D400)*. La Libertad, Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2023. Retrieved from
<https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/10572>

Chellappa, V., & Luximon, Y. (2025). Computer-aided technologies for posture-based ergonomic risk assessment in construction: a systematic review. *International Journal of Construction Management*, 1-16. doi:10.1080/15623599.2025.2520880

Erazo-Arteaga, V. A. (2022). El diseño, la manufactura y análisis asistido por computadora (CAD/CAM/CAE) y otras técnicas de fabricación digital en el desarrollo de productos en América Latina. *Información tecnológica*, 33, 297-308. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642022000200297>

Galvez Sanabria, P. A. (2024). Estudio de factibilidad del concreto celular espumoso como unidad de albañilería en la ciudad de Huancayo. <https://hdl.handle.net/20.500.12848/17256>.

Groover, M. P. (2013). *Work Systems: The Methods, Measurement & Management of Work*: Pearson New International Edition: Pearson Education.

INEGI. (2021). *Principales resultados del Censo de Población y Vivienda 2020 : Campeche*. Retrieved from Instituto Nacional de Estadística y Geografía México:
https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvineg_i/productos/nueva_estruc/702825198107.pdf

Infante, M., Román, M., & Traverso, J. (2012). El sector español de la construcción bajo la perspectiva de género: Análisis de las condiciones laborales. *Revista de la Construcción*, 11(1), 32-43. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-915X2012000100004>

Martínez, A. T., & Moreno, A. A. (2025). La importancia de perspectiva de género en el sector de la construcción. https://www.aeemt.org/Revista_AEEMT/VOL_34_N02_2025_JUN/2242-2246%2020Carta_al_Director.pdf.

Navarro-Astor, E., Román-Onsalo, M., & Infante-Perea, M. (2016). Revisión internacional de estudios de barreras de carrera bajo la perspectiva de género en la industria de la construcción. *Innovar*, 26, 103-117. doi:<https://doi.org/10.15446/innovar.v26n61.57169>

Niebel, B. W., & Freivalds, A. (2009). *Ingeniería industrial: métodos, estándares y diseño del trabajo*. [Lugar de publicación no especificado]: McGraw-Hill.

Pérez, S. P. M., Chumacero, W. R. G., & Pretel, T. M. S. (2021). Uso de residuos sólidos en la elaboración de concreto celular: una revisión. *Aporte Santiaguino*, 14(1), 104-119. doi: <https://doi.org/10.32911/as.2021.v14.n1.714>

Senaratne, S., Jayakodi, S., Pascoe, R. D., & Atkins, A. (2025). Challenges and Strategies for the Retention of Female Construction Professionals: An Empirical Study in Australia. *Buildings*, 15(13), 2187.

Vijayakumar, R., & Choi, J.-h. (2022). Emerging Trends of Ergonomic Risk Assessment in Construction Safety Management: A Scientometric Visualization Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(23), 16120 <https://www.mdpi.com/11660-1460/16119/16123/16120>. doi:doi:10.3390/ijerph192316120

Vivanco Pérez, V. L. (2023). Factores de riesgos ergonómicos vinculados al personal que labora en el área de la construcción en Latinoamérica durante el período 2010-2022: Una revisión sistemática exploratoria. <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/123454982>.

**Análisis de la aplicación del modelo de criticidad en el mantenimiento de equipos
en la Hielera San Bartolo.**

María Guadalupe Ramírez González¹

María José Fuentes Antonio²

Didier Gaspar Dzib Avilez³

Javier Chacha Coto⁴

Abelardo Jesús Zavala Kú⁵

Tecnológico Nacional de México / IT Campeche

22470110@campeche.tecnm.mx

22470121@campeche.tecnm.mx

22470126@campeche.tecnm.mx

javier.cc@campeche.tecnm.mx

abelardo.zk@campeche.tecnm.mx

Resumen

La presente investigación tuvo como propósito aplicar un modelo de criticidad para priorizar el mantenimiento de los equipos productivos en la empresa Hielera San Bartolo, con el fin de optimizar los recursos disponibles y reducir los riesgos operativos asociados a fallas no planificadas. Se desarrolló un estudio con enfoque mixto y diseño no experimental, integrando datos técnicos, entrevistas y cuestionarios aplicados al personal técnico y jefes de área. A través de un mapeo de procesos se identificó una muestra de 55 equipos, considerados esenciales para la continuidad productiva. Posteriormente, se aplicó la matriz de criticidad basada en criterios de seguridad, impacto en la producción, calidad, costo y frecuencia de fallas. Los resultados evidenciaron que los equipos frigo rígenos, compresores, motores, bombas y condensadores presentan el mayor nivel de criticidad debido a su incidencia directa en la eficiencia energética y la calidad del hielo. El modelo permitió jerarquizar los activos, establecer prioridades de mantenimiento y formular un plan preventivo más estructurado. De la misma manera, se identificaron áreas de mejora relacionadas con la falta de registros históricos, la ausencia de herramientas digitales de gestión y la necesidad de fortalecer la cultura de mantenimiento. La investigación demostró que la aplicación del modelo de criticidad constituye una herramienta eficaz para la toma de decisiones, la asignación eficiente de recursos y el fortalecimiento de la gestión del mantenimiento, contribuyendo así a la sostenibilidad operativa y competitiva de la empresa.

Palabras clave: Mantenimiento industrial Matriz de criticidad, Priorización de equipos, Confiabilidad operativa, Optimización de recursos.

Abstract.

The purpose of this research was to apply a criticality model to prioritize the maintenance of production equipment at the Hielera San Bartolo company, in order to optimize available

resources and reduce operational risks associated with unplanned failures. A study was developed with a mixed approach and non-experimental design, integrating technical data, interviews, and questionnaires administered to technical staff and area managers. Through process mapping, a sample of 55 pieces of equipment considered essential for production continuity was identified. Subsequently, the criticality matrix was applied based on criteria of safety, impact on production, quality, cost, and frequency of failures. The results showed that refrigeration equipment, compressors, motors, pumps, and condensers have the highest level of criticality due to their direct impact on energy efficiency and ice quality. The model made it possible to prioritize assets, establish maintenance priorities, and formulate a more structured preventive plan. Similarly, areas for improvement were identified related to the lack of historical records, the absence of digital management tools, and the need to strengthen the maintenance culture. The research demonstrated that the application of the criticality model is an effective tool for decision-making, efficient resource allocation, and strengthening maintenance management, thus contributing to the operational and competitive sustainability of the company.

Keywords: Industrial maintenance, Criticality matrix, Equipment prioritization, Operational reliability, Resource optimization.

Introducción

Empresa productora de hielo San Bartolo, ubicada en San Francisco de Campeche. Esta empresa tiene serios problemas para controlar el mantenimiento de los equipos productivos por falta de estrategias establecidas y registros documentados que le permitan planificar y controlar el mantenimiento. Esta misma falta ha llevado a que el mantenimiento se ejecute de manera reactiva, es decir, que se solucione cuando falle algo, lo que genera paros de producción, aumento de costos y desgaste prematuro de los equipos. Esta es una dificultad que en las PYMES dificulta la identificación de los activos críticos y no permite planificar acciones preventivas que garanticen la continuidad y eficiencia de los procesos productivos, por lo cual se evidencia la necesidad de un modelo técnico para jerarquizar los equipos y definir prioridades de mantenimiento y garantizar la sostenibilidad.

En esta investigación se justifica la importancia del mantenimiento programado como un factor para mejorar la productividad y confiabilidad en las operaciones industriales. Estudios anteriores (Viveros et al., 2013; Useche, Monroy e Izquierdo, 2013) evidencian que un programa de mantenimiento organizado reduce costos, extiende la vida útil de los equipos y mejora los indicadores de gestión. Es por eso que el uso del análisis de criticidad, jerarquizando los equipos en función de su efecto en la producción, seguridad y costos, orientando los recursos a las partes más críticas del proceso. Desde el punto de vista social, el mantenimiento preventivo y correctivo garantizan la seguridad laboral al identificar riesgos tempranos, fortaleciendo la confianza del personal operativo, en tanto que el ambiental y ético fomentan el uso racional de los recursos, minimizan los residuos y cumplen con los estándares de calidad

El objetivo es implementar un modelo de criticidad en la empresa hielera San Bartolo para priorizar el mantenimiento de los equipos productivos y mejorar la asignación de recursos. La investigación se desarrolló durante el año 2025, tomando como unidad de análisis los principales activos del proceso productivo, especialmente aquellos que inciden directamente en la continuidad operativa. Los objetivos específicos comprenden la identificación de equipos críticos, la definición de criterios de evaluación, el establecimiento de escalas de ponderación y la aplicación de la matriz de criticidad para jerarquizar prioridades. Con ellos se busca comprobar la hipótesis de que el modelo mejora la planificación del mantenimiento, aumenta la confiabilidad y extiende la vida útil de los equipos. Así que este estudio fortalece la gestión del mantenimiento industrial y sugiere el modelo de criticad como una herramienta aplicable y replicable en empresas con restricciones tecnológicas y económicas, mejorando la eficiencia de la seguridad y sostenibilidad del proceso productivo.

Presentación del problema

La empresa productora de hielo “San Bartolo” actualmente no cuenta con estrategias formales para el mantenimiento de sus equipos de producción por lo que no existen registros documentados ni un sistema que permita llevar un control de las actividades de mantenimiento, lo que representa un problema importante para su operación. Los equipos principales, como los compresores, bombas, motores y cuartos fríos no reciben un seguimiento sistemático ni tienen una planificación previa. Esta es la causa por la que el mantenimiento únicamente se realiza cuando los equipos fallan, lo que también significa que se atienden las averías en el momento en que se presentan, generando paros prolongados en la producción.

La ausencia de registros, argumenta que la empresa carece de historial como una bitácora o base de datos donde se lleven las anotaciones de las fallas, reparaciones o intervenciones realizadas. En consecuencia, de ello es imposible analizar patrones prever problemas futuros y organizar mejor las actividades de mantenimiento. Del mismo modo, al no contar con un plan definido. Las acciones correctivas se aplican de manera improvisada y sin anticipación ni criterios claros.

De igual manera, la empresa carece de una herramienta que permita clasificar y priorizar los equipos de acuerdo con su impacto en la operación. La ausencia de una matriz de criticidad dificulta identificar cuáles activos requieren mayor atención para prevenir fallas que puedan detener la producción, lo que ocasiona que todos los equipos reciban el mismo tipo de atención reactiva sin distinguir su nivel de importancia.

Se reconoce que esta situación afecta directamente la producción, ya que provoca paros, no planificados que reducen la productividad y generan el aumento de costos, especialmente en energía y agua. De igual manera al no existir un esquema de mantenimiento organizado, la maquinaria y equipo se desgastan con mayor rapidez, lo que afecta en los gastos de reparaciones y reemplazos impactando de manera directa en la rentabilidad de la empresa.

El problema central radica en la ausencia de registros, planificación y criterios de priorización en el mantenimiento de los equipos de la empresa productora de hielo y esta carencia por lo tanto genera fallas imprevistas, paros prolongados, mayores costos operativos y una reducción en la eficiencia productiva, comprometiendo la continuidad y la rentabilidad de la operación, es por ello que la aplicación del modelo de criticidad se ve como una mejora para poder establecer sistemas funcionales y adecuados para la empresa con la intención de generar una mejora continua en la gestión del mantenimiento.

Objetivos de la investigación

Objetivo general

Implementar un modelo de criticad para priorizar el mantenimiento de los equipos productivos de la hielera San Bartolo, y así optimizar los recursos disponibles, mejorar la confiabilidad, operativa y disminuir los riesgos de falla que impactan en la seguridad, calidad del hielo, continuidad de la producción y costos operativos

Objetivos específicos

- Determinar los equipos críticos del proceso productivo de la hielera, San Bartolo(tanques, salmuera, cuartos fríos, bombas, entre otros) a través de un levantamiento de información, técnica, histórica y operativa
- Establecer los criterios de evaluación de criticad adecuados para la empresa, en términos de seguridad, calidad del producto, impacto en la producción, costos de reparación y frecuencias de fallas
- Definir escalas de ponderación y calificación para cada criterio elegido, ajustadas a las condiciones operativas y riesgos propios de la hielera San Bartolo
- Usar la matriz de criticad para calcular la importancia relativa de los equipos y establecer prioridades de mantenimiento
- Interpretar los resultados de la matriz de criticad para sugerir un plan de mantenimiento más eficiente, priorizando los equipos de mayor impacto
- Proponer estrategias de mejora continua para el mantenimiento de los equipos críticos, apoyadas en los hallazgos y necesidades identificadas de la evaluación

Fundamentos teóricos

Aspectos generales del mantenimiento

El mantenimiento industrial se ha ido transformando en estas últimas décadas en una administración de activos, en donde se busca maximizar el valor que se puede obtener de los equipos productivos en todo su ciclo de vida. La norma ISO 55000 establece los principios, la terminología y las directrices para la gestión de activos físicos y la vinculación del

mantenimiento con la confiabilidad, la optimización de recursos y la continuidad del negocio (ISO, 2024). En ese sentido, el diseño de planes estructurados permite a las empresas alinear sus prácticas operacionales con los objetivos estratégicos y asegurar que la gestión de equipos críticos respalde la sostenibilidad productiva

Entre las estrategias de mantenimiento, la literatura coincide en que las dos más comunes en pequeñas y medianas industrias son el preventivo y el correctivo. El primero son acciones planificadas y repetitivas para reducir la probabilidad de falla; el segundo, acciones en respuesta a fallas (Muchiri et al., 2011). La efectividad de ambas estrategias se mide a través de indicadores de confiabilidad como el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF) y el Tiempo Medio de Reparación (MTTR), que definen la disponibilidad de los equipos y la eficiencia de la gestión 2007, pp. 70-78. En ese sentido, la literatura señala que para desarrollar un plan de mantenimiento se debe de tomar como referencia la información de fallas y reparaciones para generar acciones más efectivas y orientadas a resultados.

Uno de los grandes avances en la gestión de mantenimiento es la matriz de criticidad para priorizar activos. Algunos autores definen que la criticidad clasifica los equipos en orden de importancia según dos parámetros: probabilidad de falla y consecuencias de falla sobre la producción, seguridad, medio ambiente o costos (Villalba, 2021; Carbajal, 2022).

Modelos como el ABC de criticidad o el modelo CTR (consecuencia, tasa de falla, reemplazo) priorizan equipos y enfocan los esfuerzos de mantenimiento a los equipos cuya falla causa mayores pérdidas o riesgos (Cervantes et al., 2019). En la industria alimentaria y de refrigeración, esta clasificación se ha utilizado para estructurar planes de inspección y garantizar la continuidad en sistemas críticos.

Además, metodologías como el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) y el Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA) ofrecen un marco que integra modos de falla, consecuencias y tareas de mantenimiento. Si bien estas metodologías involucran más clases de mantenimiento que el preventivo y correctivo, son la base teórica para usar la criticidad como criterio de priorización (Moubray, s.f.; Bevilacqua & Braglia, 2000). De este modo, la matriz de criticidad viene a ser una herramienta simplificada, pero esencial, dentro del marco RCM.

Los indicadores clave de mantenimiento (KPI) son ampliamente discutidos en la literatura. Entre los más importantes están el MTBF, que es la confiabilidad de un equipo, y el MTTR, que es su mantenibilidad. En conjunto, estos indicadores pueden estimar la disponibilidad operacional, un indicador vital en sistemas de producción continua tales como los de refrigeración (Alsyouf, 2007). Varios autores señalan que el uso de estos indicadores no solo permite medir la efectividad del plan, sino que también permite hacer ajustes en frecuencias, recursos y prioridades de mantenimiento.

Así, para casos concretos del sector de refrigeración industrial y fabricación de hielo, la evidencia existente abarca manuales técnicos y tesis aplicadas que enfatizan las rutinas

preventivas como inspección eléctrica y mecánica, limpieza de condensadores y evaporadores, y detección de fugas en sistemas de amoníaco o freón (d'Huicque, 2025). Además, casos de estudio en plantas de alimentos y lácteos indican que al usar la criticidad se puede priorizar la atención a compresores, evaporadores y tanques de almacenamiento, equipos que concentran la mayor parte de fallas y paros no programados (Rodríguez, 2014). Estos antecedentes justifican ajustar la matriz de criticidad a una planta productora de hielo, en donde la confiabilidad de compresores, tanques de salmuera y cuartos fríos es fundamental para satisfacer la demanda estacional y asegurar la continuidad.

El estudio del mantenimiento industrial nos refleja una evolución histórica: desde un mantenimiento reactivo que solo actuaba tras fallos, con altos costes y paros inesperados, pasando por el preventivo y, más recientemente, al predictivo, basado en el monitoreo constante y el análisis de datos. Este cambio ha sido registrado en la literatura técnica y docente de mantenimiento y organización de planta. (Gobierno de México, 2021).

La documentación y los registros (bitácoras, listas de verificación, historiales de intervención) se mencionan en la literatura como requisitos para una gestión eficaz del mantenimiento: sin datos organizados es imposible reconocer patrones de falla, mejorar los intervalos de mantenimiento o medir el efecto de las intervenciones. Pero, además, las normas de gestión de la calidad requieren control de la "información documentada", lo que justifica en papel la necesidad de formatos estandarizados para registrar las acciones de mantenimiento y las evidencias (fotos, bitácoras, registros de consumo, etc.). Ejemplos reales en la industria del hielo demuestran que la falta de registros es un común denominador de ineficiencia. (Integrated Standards, 2024).

Muchas memorias de caso y tesis de aplicación en industrias alimentarias y de refrigeración demuestran mejoras operativas tras la implementación de planes preventivos y registros: incrementos en la disponibilidad de equipos, disminución de paros imprevistos y control de consumo energético. Pero la mayor parte de la evidencia emana de casos de estudio o proyectos de tesis (contextos locales y aplicados), demostrando su eficacia práctica, pero también la necesidad de contribuir con evaluaciones más sistemáticas y replicables, particularmente en pequeñas y medianas empresas (PyMEs) con restricciones tecnológicas o de personal. (Urquiza León, 2023)

A pesar de los beneficios documentados, persisten brechas relevantes que justifican la presente investigación: en muchas PyMEs productoras de hielo predomina aún el mantenimiento reactivo, existen formatos de registro insuficientes o inexistentes, y hay subutilización de herramientas digitales para el análisis de fallas y la planificación. Finalmente, la literatura contemporánea señala una tendencia hacia enfoques predictivos y de Industria 4.0 (monitoreo por vibración, análisis de condiciones y mantenimiento predictivo), pero esta opción puede ser costosa o poco viable en empresas con recursos limitados (Vázquez et al., 2021).

Evolución histórica del mantenimiento industrial

El mantenimiento industrial ha evolucionado de enfoques reactivos a modelos proactivos y estratégicos. En sus inicios, el mantenimiento correctivo era la única forma de reaccionar ante las fallas; no se llevaba un registro ni una planificación. Con la evolución tecnológica se desarrolló el mantenimiento preventivo, programando inspecciones y cambios de piezas. Luego, el predictivo incorporó métodos de diagnóstico en vivo, como la termografía o el análisis de vibraciones (Mobley, 2002).

En resumen, con la evolución de la ingeniería de confiabilidad, surgieron enfoques más holísticos como el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), el cual integra el análisis técnico con la gestión estratégica (Moubray, 1997). Esta evolución representa pasar de un mantenimiento reactivo a uno preventivo, predictivo y hoy en día basado en la gestión del conocimiento (Gobierno de México, 2021).

Tipos de modelos de mantenimiento

El mantenimiento industrial se gradúa según su naturaleza y objetivo. El correctivo se realiza tras una falla y el preventivo se aplica de forma programada para prevenir fallas futuras (Duffaa et al., 2000).

Por otro lado, el mantenimiento predictivo se basa en el monitoreo de variables como temperatura, presión o vibración para predecir fallas y así optimizar los recursos (Muchiri et al., 2011). Finalmente, el mantenimiento productivo total (TPM) involucra al personal operativo para lograr “cero fallas” y “cero defectos” en una mejora continua (Wireman, 2004).

Estos modelos no son excluyentes, sino complementarios, y su integración permite ajustar las estrategias de mantenimiento a las condiciones reales de funcionamiento y al nivel tecnológico de la empresa.

Ejemplos de indicadores de desempeño en mantenimiento

El control moderno del mantenimiento se basa en los KPI (Key Performance Indicators) o indicadores clave de desempeño, que miden de manera objetiva la confiabilidad y eficiencia de los equipos. Entre los más significativos están el Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF), que indica la fiabilidad de un sistema; el Tiempo Medio de Reparación (MTTR), que mide la velocidad de respuesta a fallas; y la disponibilidad, que integra ambos para definir el porcentaje de tiempo que un equipo está en funcionamiento (Alsyouf, 2007).

Estos indicadores son instrumentos para diagnosticar, planificar y mejorar los procesos de mantenimiento, identificando tendencias, comparando períodos y justificando la inversión en mantenimiento predictivo o preventivo (IBM, 2025).

Metodologías complementarias al análisis de criticidad

La matriz de criticidad puede complementarse con otras metodologías de análisis que refuerzan la toma de decisiones técnicas. El Análisis de Modos y Efectos de Falla (FMEA)

es una herramienta para reconocer las posibles causas de fallas, sus efectos y el riesgo que implican, dándole un número de prioridad a cada evento (Bevilacqua & Braglia, 2000).

Por otro lado, el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), planteado por Moubray (1997), pretende preservar la función de los equipos a través de estrategias que integren mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo en función de las consecuencias de la falla.

Así mismo, el ciclo PHVA (Planear-Hacer-Verificar-Actuar) propuesto por Deming (1986) es la base para la mejora continua, ajustando las estrategias de mantenimiento en función de resultados medibles. Estas metodologías fortalecen el uso del modelo de criticidad al dar criterios objetivos de evaluación y priorización.

Teorías de mantenimiento

Esta investigación se basa en algunas teorías esenciales. La teoría de la confiabilidad define la habilidad de un sistema de funcionar sin fallas por un período específico, guiando el desarrollo de estrategias para maximizar la disponibilidad de los equipos (SAE International, 2009).

Por otro lado, la mantenibilidad es la facilidad y rapidez con la que un equipo puede ser reparado y restaurado a su funcionamiento, afectando los costos y la productividad (Infraspeak, 2024). La Teoría General de Sistemas de Bertalanffy (1950) ofrece la perspectiva de la empresa como un todo integrado por partes interdependientes, en donde las fallas o mejoras de una impactan en el resto.

Para concluir, la teoría administrativa establece que la planificación, organización y control de los recursos humanos y técnicos son determinantes para lograr la eficiencia (Robbins & Coulter, 2020).

Gestión documental y sistemas de información de mantenimiento.

El registro organizado de las actividades de mantenimiento es fundamental para la trazabilidad y la mejora continua. Las bitácoras, las listas de verificación (checklists) y los historiales de intervención ayudan a reconocer patrones de falla y a medir la efectividad de las medidas correctivas (Triola, 2018; Gawande, 2010).

Hoy en día los GMAO han transformado la forma en que se planifican y controlan las actividades, automatizando la programación de órdenes de trabajo, el seguimiento de repuestos y la generación de indicadores (EasyMaint, 2025).

Según la norma ISO 9001:2015, la información documentada es una obligación para la gestión de la calidad; por otro lado, la ISO 14224 normaliza la recopilación y el análisis de datos de fallas, lo que asegura la comparabilidad entre empresas (Organización Internacional de Normalización [ISO], 2022).

Modelos de programación del mantenimiento.

La programación correcta del mantenimiento preventivo evita paros y asegura la disponibilidad de los equipos. El diagrama de Gantt es un tipo de gráfico que se utiliza para mostrar la línea de tiempo de las actividades, lo que permite planificar y controlar las tareas (Concepto.de, 2023).

Además, la programación fundamentada en indicadores como el MTBF o el MTTR define la frecuencia ideal de inspecciones y reemplazos, ajustando el plan de mantenimiento a las condiciones reales de funcionamiento (Mobley, 2002).

Estos modelos combinan los recursos humanos, técnicos y materiales en una estructura de tiempo que garantiza la continuidad y la mejora continua de la gestión del mantenimiento.

Metodología

Bosquejo del método

El método utilizado en la presente investigación se basa en un enfoque mixto, el cual combina técnicas cuantitativas y cualitativas para comprender el comportamiento operativo y de mantenimiento de los equipos en la planta productora de hielo San Bartolo. Esta metodología permite estudiar de forma objetiva los datos técnicos y a la vez integrar la visión y experiencia del personal operativo, obteniendo así una visión integral del fenómeno estudiado.

En un primer momento, se determinó el universo y la muestra, definiendo el conjunto de equipos que integran la planta y luego identificando aquellos críticos a través de un mapeo de procesos. Este proceso hizo posible que la investigación se centrara en aquellos equipos que más impactan en la continuidad y eficiencia productiva, asegurando la relevancia del análisis.

Luego, se determinó el tipo y diseño metodológico, siendo no experimental, descriptivo-correlacional y de enfoque mixto, ya que no se manipularon variables, sino que se observaron las condiciones naturales del proceso productivo. Esta etapa definió la estructura analítica y el tipo de estudio, combinando datos cuantitativos medibles con datos cualitativos observacionales del mundo real.

En la tercera etapa, de selección, diseño y prueba de los instrumentos de recolección, se diseñaron tres instrumentos: una entrevista semiestructurada para el personal técnico, un cuestionario tipo Likert para los jefes de área y una lista de cotejo documental. Dichos instrumentos fueron validados por expertos en mantenimiento industrial y luego sometidos a una prueba piloto, garantizando su confiabilidad, claridad y aplicabilidad para la investigación.

La siguiente fase, el plan de recolección, procesamiento y análisis de información, implicó recolectar información técnica, operativa y perceptual, a través de visitas de campo, entrevistas, cuestionarios y revisión documental. Con estos datos se elaboró la matriz de

criterios y ponderaciones, con la cual se construyó la matriz de criticidad, principal herramienta del estudio que permitió priorizar los equipos en función de su importancia operativa y efecto en la producción.

Al final, se realizó la presentación y discusión de resultados, donde se interpretaron de forma visual y comparativa los datos recolectados. Esta etapa identificó los equipos más críticos y propuso una mejora técnica del plan de mantenimiento preventivo para optimizar los recursos, disminuir fallas y mejorar la continuidad de la planta. Los resultados fueron validados en una reunión técnica con personal de la empresa, asegurando la aplicabilidad práctica de las conclusiones.

Determinación del universo y obtención de la muestra

El universo de estudio lo conforman todos los equipos que integran la planta productiva de hielo San Bartolo y que participan de manera directa o indirecta en la producción. Este universo abarca 208 equipos inventariados en las distintas áreas operativas de la planta. Pero para fines de estudio se definió una muestra representativa a través de un mapeo de procesos, donde se identificaron los equipos que más intervienen en la producción de bloques de hielo.

Como resultado de este proceso, se obtuvo una muestra de 55 equipos que por su funcionalidad son críticos para la continuidad del proceso productivo. Dichos equipos fueron catalogados como críticos por impactar directamente en la eficiencia operativa, el mantenimiento y la calidad del producto final. La muestra se eligió de forma intencionada, priorizando aquellos equipos más significativos en la cadena productiva, según su frecuencia de uso, criticidad del proceso y riesgo de falla.

Como criterios de inclusión se tomaron en cuenta los equipos operativos que participan directamente en la elaboración, conservación y manipulación del producto final, tales como tanques de salmuera, cuartos fríos, bombas, compresores, condensadores y sistemas auxiliares de soporte. Como criterios de exclusión, se excluyeron los equipos de soporte administrativo o que no participan directamente en la producción, tales como sistemas de iluminación, mobiliario u otras instalaciones menores. Por último, se definió un criterio de exclusión para aquellos equipos que, en el transcurso de la investigación, fueron reemplazados o dados de baja, con el objetivo de mantener la actualidad en el análisis.

Determinación del tipo y diseño metodológico del estudio

La investigación tiene un enfoque mixto, ya que implica la recopilación y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos para comprender el fenómeno. Donde se involucra la experiencia, sensibilidad y conocimiento del personal técnico y operativo de la empresa, quienes proporcionan información para la ponderación de los criterios de evaluación. Esta metodología permite combinar la objetividad de los datos cuantificables con la interpretación contextual y práctica del mundo productivo, reforzando la validez de los resultados (Hernández Sampieri et al., 2014).

El diseño metodológico es no experimental, porque no se manipulan las variables independientes, sino que se observa y analiza la situación tal como ocurre en el proceso productivo de la planta. La investigación se realiza en el ambiente real de la empresa productora de hielo “San Bartolo”, analizando los equipos seleccionados a través de un mapeo de procesos que determinó los de mayor intervención y criticidad operativa. Después de esta elección se usó la matriz de criticidad con la participación de técnicos y expertos de la planta, quienes calificaron los criterios establecidos por medio de entrevistas y cuestionarios apoyados de observaciones directas y correcciones en el lugar.

Por su alcance, la investigación es descriptiva-correlacional. Es descriptiva porque busca caracterizar el estado actual de los equipos y su asociación con las prácticas de mantenimiento en la planta, y es correlacional porque intenta encontrar asociaciones entre la criticidad de los equipos, la frecuencia de fallas y el impacto operativo. Los resultados serán la base para proponer un plan de mantenimiento más estructurado, eficiente y en concordancia con la realidad de la empresa, optimizando los recursos y mejorando la continuidad de la producción. El presente estudio adopta un enfoque mixto, ya que combina la recolección y el análisis de datos tanto cuantitativos como cualitativos con el propósito de obtener una comprensión integral del fenómeno.

Selección, diseño y prueba del instrumento de recolección de la información.

En la presente investigación, donde se buscó aplicar un modelo de criticidad a los equipos del proceso productivo de la Hielera San Bartolo, se utilizaron tres herramientas complementarias: una entrevista semiestructurada, un cuestionario tipo Likert y una lista de cotejo.

La entrevista semiestructurada se aplicó al personal técnico del área de mantenimiento, siendo dos técnicos especialistas (**Anexo 1**). El propósito de este instrumento fue recolectar información cualitativa y técnica sobre la forma en que operan los equipos, sus mantenimientos, registros de fallas y la percepción de criticidad de los principales activos del proceso productivo. Esta herramienta dio la oportunidad de conocer la forma en que se realiza el mantenimiento preventivo y la importancia que tienen ciertos equipos para la continuidad de la operación.

El segundo instrumento fue un cuestionario tipo Likert (**Anexo 2**), el cual fue aplicado a los seis jefes de área de la empresa (gerencia general, administración, producción, mantenimiento, ventas y logística). Dicho cuestionario buscó obtener información cuantitativa para medir la opinión de los jefes de área sobre la importancia, frecuencia de fallas, costos de reparación, efecto sobre la producción y criticidad de los equipos. Además, añadió preguntas abiertas en las que enumeraron los 5 equipos más críticos para la planta en su opinión. También se pidió ponderar los factores seguridad, efecto en la producción, calidad del producto, costo de reparación, frecuencia de falla y tiempo de reparación. De este modo, el instrumento dio la posibilidad de conseguir una evaluación integral que ayudó a establecer los criterios y pesos del modelo de criticidad.

El tercero fue una lista de cotejo, la cual verificó la existencia, organización y actualización de la documentación técnica y registros operativos en que se basa el análisis de criticidad (**Anexo 3**). Entre los documentos analizados se encontraron fichas técnicas de los equipos, informes de mantenimiento, registros de inspección y bitácoras de fallas. Esta herramienta se implementó con el jefe de operaciones y los dos técnicos de mantenimiento, verificando así la información documental.

Para la validación de los instrumentos, los mismos fueron revisados por tres expertos en mantenimiento industrial y gestión de activos, quienes determinaron su relevancia, claridad y coherencia con los objetivos de la investigación. Después de la revisión, los expertos dieron su constancia de validación firmada, dando fe de la validez de contenido de los instrumentos.

Luego, se realizó una prueba piloto en una empresa vecina productora de hielo en cubos embolsado. Esta prueba determinó la usabilidad, claridad y comprensión de los instrumentos utilizados, el tiempo de aplicación y la adecuación de las preguntas. Tras la prueba piloto, se hicieron pequeños cambios en la formulación de algunos ítems para afinar la muestra de respuestas esperadas.

En conjunto, la aplicación de estos tres instrumentos permitió obtener información precisa en cuanto a cuestiones técnica, operativa y perceptual suficiente para desarrollar el análisis de criticidad, con base a datos válidos, confiables y contextualizados a la realidad operativa de la Hielera San Bartolo.

Planificación y procesamiento de la información

Esta fase corresponde a la recolección de información y análisis de la empresa, etapa en la que es crucial para comprender el funcionamiento operativo de la Hielera San Bartolo y obtener los datos necesarios para aplicar el modelo de criticidad.

En esta etapa se hace un recorrido de diagnóstico inicial para identificar las áreas funcionales, el proceso productivo y los equipos. Luego se realiza el levantamiento de información técnica, recopilando información de los principales equipos que intervienen en el proceso productivo, tales como tanques de salmuera, cuartos fríos, bombas, compresores, moldes, etc., para algunos fichas técnicas y observación directa.

Se realiza una entrevista semiestructurada al personal técnico para indagar sobre las rutinas de mantenimiento, la frecuencia de fallos y las condiciones de funcionamiento de los equipos. Adicionalmente, se realiza un cuestionario tipo Likert a los jefes de área para que califiquen la criticidad de los equipos según criterios de seguridad, impacto en la producción, calidad, costos y tiempos de reparación.

De igual manera, se utilizó una lista de cotejo documental para verificar la existencia, organización y actualización de reportes técnicos, bitácoras y registros operativos, el cual se integran y validan los datos obtenidos para garantizar su confiabilidad y pertinencia,

estableciendo las bases para la aplicación de la matriz de criticidad y la formulación de un plan de mantenimiento más eficiente.

En esta fase se plantean las actividades programadas, el objetivo principal de esta etapa es detectar los equipos y maquinarias que resultan indispensables por su impacto en la disponibilidad operativa y la continuidad de la producción. Con base en esta identificación, se procede a construir la matriz de criterios y ponderaciones, herramienta que permitirá establecer los factores de evaluación necesarios para determinar el nivel de criticidad de cada equipo para que posteriormente se desarrolle la matriz de criticidad, la cual servirá como base para el análisis detallado en la siguiente fase, orientada a priorizar los equipos más relevantes y definir estrategias de mantenimiento y control más efectivas.

En esta etapa se presentaron y discutieron los resultados obtenidos luego de aplicar la matriz de criticidad a los equipos previamente seleccionados. Esta, buscó interpretar los datos arrojados y de manera gráfica caracterizando su importancia que permitieron conocer el grado de criticidad de cada equipo y su incidencia en el proceso productivo. De este análisis se desarrolló una propuesta técnica más específica, realista y ajustada a la forma en que trabaja la empresa, para mejorar el plan de mantenimiento preventivo.

Asimismo, se crearon formatos de control y seguimiento que mejoraron la manera en que se gestionaban y registraban las actividades de mantenimiento, fortaleciendo la planeación y la toma de decisiones. Finalmente, se llevó a cabo una reunión en la planta con los jefes de área, técnicos y demás personal involucrado para mostrar los resultados, explicar la propuesta del modelo utilizado y recibir retroalimentación de las partes. Este diálogo confirmó la idoneidad del modelo y abrió la puerta a futuras mejoras en la estrategia de mantenimiento de la empresa.

Resultados y discusión

El análisis de la información recolectada permitió jerarquizar los equipos productivos de la empresa Hielera San Bartolo, según su criticidad, siguiendo la metodología planteada en la matriz de priorización. Los resultados muestran las partes más débiles del proceso y los activos a los que hay que dar prioridad en el plan de mantenimiento **Figura 1: Layout de la empresa con la ubicación de los equipos.**

En la etapa inicial de diagnóstico se clasificaron los activos de la empresa según la taxonomía de la norma ISO 14224 en cinco sistemas principales:

- Sistema de producción directa.
- Sistema de servicios auxiliares.
- Sistema de almacenamiento.
- Sistema de conducción.

- Sistema estructural.

Cada sistema se analizó en función de los equipos que lo componen y su papel en el proceso de generación de hielo. En la **Tabla 1** Inventario general de equipos se muestra la clasificación general de los equipos productivos del estudio, con su descripción técnica y función.

Como inicio, se realizó un inventario general de 55 equipos frigoríficos que conforman los sistemas principales de la planta, tales como tanques de salmuera, bombas, compresores, motores eléctricos, condensadores y cuartos fríos. Estos equipos participan directamente en la producción y almacenamiento del hielo en bloques de 75 kg y son vitales para la continuidad del proceso; estos activos productivos, escogidos por su importancia funcional y por ser los que más fallan, fueron calificados en criticidad operacional, económica y de seguridad.

Debido a la ausencia de registros históricos de mantenimiento, la recopilación de datos se apoyó en la observación directa, la revisión de la escasa documentación técnica existente y la experiencia del personal operativo, que sirvió como fuente principal para estimar tiempos de reparación, frecuencia de fallas y efectos de inactividad.

En la **Tabla 2** se presenta la lista de los 55 Equipos frigoríficos clasificados por sistema y función dentro del proceso productivo.

Cada uno de los 55 equipos fue evaluado conforme a los criterios definidos en la matriz de criticidad: frecuencia de fallas, impacto en la seguridad y ambiente, flexibilidad operacional, costo de mantenimiento e impacto operacional. A cada criterio se le asignó una ponderación, con base en la metodología adaptada de la norma ISO 14224 (**Tabla 3**), para obtener un Índice de Criticidad por equipo, donde la aplicación de las fórmulas para calcular la Criticidad Total (CT) de cada equipo de la planta. Este cálculo se fundamenta en dos expresiones matemáticas clave que integran tanto la probabilidad de falla como las consecuencias asociadas. Inicialmente, se determinó el valor de las Consecuencias (CC) de una posible falla (Ecuación 2), sumando el impacto de las variables operacionales, de mantenimiento, y de seguridad y ambiente. Finalmente, este valor de Consecuencias fue multiplicado por la Frecuencia de Fallas (FF) para obtener el índice final de Criticidad Total (Ecuación 1), lo que permitió jerarquizar los equipos en función de su riesgo operativo.

Los resultados de esta evaluación permitieron cuantificar de manera objetiva el nivel de importancia relativa de cada activo dentro del sistema productivo.

$$\text{Criticidad Total (CT)} = \text{FF} \times \text{Consecuencia (CC)} \quad (1)$$

Donde:

$$\text{Consecuencias (CC)} = (\text{IO} \times \text{FO}) + \text{CM} + \text{ISAH} \quad (2)$$

En la **Tabla 4** aplicación del modelo de criticidad se muestran los valores de ponderación asignados para cada equipo así como su respectivo valor por cada criterio los cuales se realizaron de subjetiva con ayuda de los jefes de área de la Hielera San Bartolo, tomando en cuenta la perspectiva de todos los involucrados. En la **Figura 2** se ilustra la distribución numérica de los equipos según su nivel de criticidad asignando los rangos y sus niveles, de manera visual la matriz nos permite identificar la posición de cada equipo evaluado.

Según el análisis de criticidad, se desarrolló un programa de mantenimiento (**Tabla 5**) enfocado en mejorar la gestión operativa de los equipos de la planta. Elaborar dicho programa se basó en la jerarquización previa de los activos, para así programar de forma organizada las intervenciones de mantenimiento que aseguren la continuidad, confiabilidad y eficiencia de los procesos productivos, en concordancia con los objetivos de la investigación.

A cada equipo se le asignó la criticidad según su rol en el sistema productivo y se establecieron las tareas concretas, su periodicidad y los responsables de su ejecución. Esta información hizo posible desarrollar un plan técnico priorizando los equipos con mayor impacto en la operación, disminuyendo fallas no programadas, tiempos muertos y costos.

Se elaboró un formato de registro y control de mantenimiento (**Tabla 6**) para documentar de manera organizada las actividades planificadas y ejecutadas, asegurando la trazabilidad y el cumplimiento del plan anual. Esta herramienta captura la programación, ejecución, tipo de servicio y notas técnicas, permitiendo identificar desviaciones y tomar medidas correctivas. En conjunto, la forma y el programa de mantenimiento son la base de un sistema preventivo en mejora continua y ajustado a las necesidades de los equipos críticos de la planta Hielera San Bartolo.

Después de haber creado el programa de mantenimiento, se crearon formatos de control y seguimiento para registrar y verificar todo lo que se le realizaba a los equipos, llevando un control organizado y rastreable. Entre ellas se encuentra la ficha de control de equipos (**Tabla 7**), para reunir la información técnica y operativa de cada activo: ubicación, especificaciones, código de identificación y responsable de uso. Este formato permite actualizar el inventario técnico, planificar intervenciones e identificar equipos prioritarios, convirtiéndose en una herramienta para la gestión de mantenimiento más precisa, organizada y en mejora continua.

Se elaboró una hoja de orden de trabajo para registrar cualquier intervención de mantenimiento (Tabla 8), tanto preventivo como correctivo. En ella se anota la tarea, los recursos, el personal y el estado final del equipo. Este formulario permite llevar el control y seguimiento de todas las órdenes generadas, garantizando la trazabilidad de los servicios, la organización del trabajo y el cumplimiento del programa de mantenimiento.

Para constatar el estado físico y de funcionamiento de los equipos, se utilizó la ficha de control para inspección (**Tabla 9**), la cual busca documentar los hallazgos encontrados en las revisiones periódicas. Este documento anticipa cualquier problema, desgaste o falla que pueda comprometer el rendimiento del equipo. En él se registran las notas del personal

técnico y las medidas preventivas o correctivas sugeridas. Con esta ficha se fomenta la realización de inspecciones sistemáticas y programadas, previniendo paros inesperados y mejorando la confiabilidad de la planta.

Se diseñó una ficha de control para órdenes de trabajo (**Tabla 10**) para llevar un registro y seguimiento de las solicitudes de mantenimiento. Este formulario incorpora datos como fecha, descripción de la tarea, prioridad, responsable y cierre, que permiten dar seguimiento al flujo de trabajo, evitar duplicidades y mejorar la coordinación entre el personal técnico y administrativo para una gestión de mantenimiento más organizada y eficiente.

Se diseñó una ficha de control semanal para anotar los trabajos realizados (Tabla 11), especificando el tipo de mantenimiento, equipos intervenidos, fechas y personal a cargo. Este formato hace posible verificar el cumplimiento del plan semanal, identificar retrasos y llevar un registro cronológico de las actividades, asegurando la ejecución del programa de mantenimiento preventivo.

Se generó una ficha historial de equipo para llevar un registro de cada activo (**Tabla 12**), en donde se registraron mantenimientos, fallas, reparaciones, piezas sustituidas. Este tipo de informe permite conocer la frecuencia de fallos, los costes y la vida útil de los equipos, lo que ayuda a decidir entre repararlos o sustituirlos y a valorar la eficacia del mantenimiento preventivo.

La combinación de todos estos formatos sería una gran herramienta para reforzar la gestión del mantenimiento en la planta, al tener un control de todas las actividades, una mejor planificación y seguimiento de las actividades ejecutadas. Su implementación ayudaría a estructurar la información de cada equipo, a mantenerla actualizada y disponible para la toma de decisiones técnicas o administrativas. Además, permitiría la identificación temprana de fallas, el cumplimiento de los programas preventivos y la mejora continua de los procesos de mantenimiento. Con estos formatos, la planta San Bartolo podría volverla más eficiente, disminuir tiempos muertos y garantizar la confiabilidad de sus equipos en la producción.

El estudio de los resultados del modelo de criticidad aplicado en la Hielera San Bartolo hace pensar en la necesidad de aplicar herramientas sistemáticas que guíen la administración del mantenimiento hacia la prevención y optimización de recursos. Los resultados indican que los equipos frigoríficos compresores, motores y condensadores son los más críticos en el proceso productivo, ya que cualquier falla genera paros extensos, costos adicionales y riesgos en la calidad del producto. Esta identificación coincide con lo que Tractiano (2025) menciona, que la incorporación de la matriz de criticidad en los planes de mantenimiento permite priorizar recursos y extender la vida útil de los equipos.

La evaluación por medio de la matriz muestra que la falta de historial y planificación ha llevado a que en la empresa prevalezca un mantenimiento reactivo, lo cual concuerda con lo que advirtieron Razzetto y Martin (2021) sobre que la falta de control documental y seguimiento genera tiempos muertos y costos de reparación más altos. Por el contrario, su

aplicación en la Hielera San Bartolo posibilitó jerarquizar las intervenciones disminuyendo la probabilidad de fallas no programadas y optimizando la asignación de recursos, en concordancia con las mejoras encontradas por García y López (2019) en compresores de refrigeración, donde la planificación estructurada y el uso de indicadores como MTBF y MTTR aumentaron la disponibilidad de los equipos hasta en un 93%.

Metodológicamente, el abordaje mixto fue apropiado para entender los aspectos técnicos y organizacionales del mantenimiento. La mezcla de datos cuantitativos como fallas y costos de reparación con la información cualitativa del personal operativo permitió contextualizar los resultados y plantear soluciones aplicables a la realidad de la empresa. Esta forma de aproximación se asemeja a lo que plantea Moubray (1997) en el método de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), donde plantea que las decisiones se deben basar en la confiabilidad de los equipos y la experiencia del personal que los opera.

A su vez, los resultados indican que el uso de la matriz de criticidad impacta positivamente en el ámbito técnico, económico y organizacional. La priorización de los equipos dio paso a un plan de mantenimiento preventivo y correctivo orientado en los activos de mayor riesgo, lo que puede reducir fallas, disminuir costos y mejorar la eficiencia. Estas consideraciones concuerdan con lo que plantean Viveros, Crespo y cols. (2013), en que la gestión del mantenimiento se debe ajustar a los objetivos estratégicos de la empresa, asegurando la continuidad de la producción y la optimización de los recursos.

Por otro lado, los resultados también muestran algunas limitaciones. La principal es la falta de historial y la ausencia de herramientas tecnológicas (sistemas GMAO) que permitan mejorar la trazabilidad y el seguimiento de las actividades. Esta limitación coincide con los hallazgos de Urquiza León (2023), quien señala que muchas pequeñas y medianas empresas aún enfrentan dificultades para digitalizar la gestión del mantenimiento debido a limitaciones presupuestarias y técnicas. Pero, pese a estas restricciones, la investigación demuestra que incluso mediante métodos manuales y formatos estructurados es posible obtener mejoras significativas en la organización y priorización del mantenimiento.

Concluyendo, los resultados de este estudio validan la hipótesis planteada: el uso del modelo de criticidad permite priorizar las intervenciones, optimizar los recursos y mejorar la continuidad operativa. Además, abre la puerta a futuras líneas de investigación para el diseño de sistemas digitales de registro y control de mantenimiento y seguimiento predictivo en base a indicadores de confiabilidad. En conjunto, los resultados reafirman que una gestión del mantenimiento planificada, registrada y priorizada es un pilar para la eficiencia, productividad y sostenibilidad en las empresas productoras de hielo.

Conclusiones

La elaboración de la presente investigación permitió demostrar que el modelo de criticidad es una herramienta que fortalece la gestión del mantenimiento en la empresa hielera “San Bartolo”. La implementación permitió priorizar equipos, optimizar recursos y reducir fallas

no planificadas, mejorando la eficiencia operativa. Los resultados indicaron que los equipos frigoríficos (compresores, motores, bombas y condensadores) son los más críticos en el proceso productivo, ya que su funcionamiento continuo asegura la calidad del producto, la estabilidad del proceso y la eficiencia energética de la planta.

La investigación satisfizo el objetivo general, al ser aplicado con éxito el modelo de criticidad para priorizar los equipos en función de su impacto en la producción, seguridad y costos de mantenimiento. A su vez, se alcanzaron los objetivos específicos, identificando los activos críticos, estableciendo los criterios de priorización, utilizando la matriz de criticidad y analizando los resultados. Esto posibilitó la elaboración de un plan de mantenimiento más eficaz, en una línea de mejora continua y con criterios técnicos verificables. En cuanto a los resultados que se obtuvieron confirmaron la hipótesis planteada, ya que al utilizar el modelo de criticidad se optimizan los recursos técnicos y humanos, se mejora la planificación preventiva y se refuerza la continuidad operativa de la empresa.

En el transcurso de la investigación se encontraron ciertas limitaciones, principalmente por la falta de datos históricos, la falta de herramientas tecnológicas de gestión como un sistema GMAO (Gestión de Mantenimiento Asistida por Ordenador) y la escasez de datos cuantitativos sobre el historial de fallas. Sin embargo, estas restricciones no fueron impedimento para alcanzar los objetivos, pero dejaron en evidencia oportunidades para fortalecer la gestión del mantenimiento en la organización.

En función de los resultados obtenidos y las limitaciones identificadas durante el desarrollo de la investigación, se establecen las siguientes recomendaciones, las cuales la Hielera San Bartolo debe implementar de manera inmediata y prioritaria para garantizar la continuidad operativa y la optimización de recursos comprometiéndose en la mejora continua.:

- La empresa debe integrar el modelo de criticidad desarrollado como un componente permanente de su Sistema de Gestión de Mantenimiento.
- Se exige la actualización y verificación periódica de la matriz de puntajes conforme a las condiciones reales de operación y la evolución de los equipos, para mantener la validez del análisis de riesgo.
- Es imperativo implementar de inmediato un sistema digital (GMAO o similar) para el registro sistemático de todas las actividades, fallas, reparaciones, y el tiempo medio entre fallas (MTBF).
- Esta medida es necesaria para generar trazabilidad y obtener indicadores de desempeño cuantitativos y verificables, superando la limitación actual de datos históricos.
- Este programa debe enfocarse en el uso, interpretación y análisis de la matriz de criticidad, migrando la cultura organizacional hacia la toma de decisiones sustentadas en datos técnicos.

Bibliografía

- Alsyouf, I. (2007). Measuring maintenance performance using a balanced scorecard approach. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 13(1), 70–78.
- Bevilacqua, M., & Braglia, M. (2000). The analytic hierarchy process applied to maintenance strategy selection. *Reliability Engineering & System Safety*, 70(1), 71–83.
- Bertalanffy, L. von. (1950). An Outline of General System Theory. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 1(2).
- Concepto.de. (2023). Diagrama de Gantt: qué es, cómo hacer uno y ejemplos. <https://concepto.de/diagrama-de-gantt/>
- Deming, W. E. (1986). *Out of the Crisis*. MIT Press.
- Duffuaa, S. O., Raouf, A., & Campbell, J. D. (2000). *Planning and Control of Maintenance Systems: Modeling and Analysis*. John Wiley & Sons.
- EasyMaint. (2025). Software de mantenimiento preventivo y correctivo. <https://www.easymaint.com>
- Gawande, A. (2010). *The Checklist Manifesto: How to Get Things Right*. Metropolitan Books.
- Gobierno de México. (2021). *Manual de Mantenimiento Industrial*. Secretaría de Economía.
- IBM. (2025). Maintenance performance indicators and availability management. IBM Knowledge Center.
- Infraspeak. (2024). Qué es la mantenibilidad y cómo se mide. <https://infraspeak.com/es>
- Ing. Alejandro d'Huicque. (2025, February 4). Mantenimiento Preventivo para Sistemas de Refrigeración: Una Guía Completa. DH Refrigeración. <https://dhrefrigeracion.com/blog/mantenimiento-preventivo-para-sistemas-de-refrigeracion-industrial-una-guia-completa>
- ISO. (2022). *ISO 55000: Asset management – Overview, principles and terminology*. International Organization for Standardization.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6^a ed.). McGraw-Hill Education.
- International Organization for Standardization. (2016). *ISO 14224: Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment* (3^a ed.). ISO.

- López Bendezu, R., & García Chahua, R. F. (2024). Propuesta de mejora para aumentar la disponibilidad de equipos en un almacén frigorífico del sector industrial basado en el RCM (Trabajo de suficiencia profesional). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. <http://hdl.handle.net/10757/682705>
- Muchiri, P., Pintelon, L., Martin, H., & De Meyer, A. (2011). Empirical analysis of maintenance performance measurement in Belgian industries. *International Journal of Production Research*, 49(20), 5997–6018.
- Mobley, R. K. (2002). *An Introduction to Predictive Maintenance* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.
- Moubray, J. (1997). *RCM II: Reliability-Centered Maintenance*. Butterworth-Heinemann.
- Moubray, J. (s.f.). Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) (C. M. Pérez J., Trad. y Adapt.). Recuperado de
- Organización Internacional del Trabajo (OIT). (2006). Convenio 155 sobre Seguridad y Salud de los Trabajadores.
- Organization Internacional de Normalización. (2014). Gestión de activos— Aspectos generales, principios y terminología (ISO 55000:2014).
- Pérez, J. (2020). Mantenimiento preventivo y correctivo en una planta de fabricación de herramientas [Tesis de grado, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio UNAM. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/mantenimiento-preventivo-y-correctivo-en-una-planta-de-fabricacion-de-herramientas-3545491>
- Razzetto Canales, E. M. Gestión de mantenimiento correctivo en el servicio que presta una empresa de servicios electromecánicos, Lima 2021.
- Robbins, S. P., & Coulter, M. (2020). *Administración* (14.^a ed.). Pearson Educación.
- Rodríguez Montoya, N. (2014). Diseño de un modelo de plan de mantenimiento industrial basado en confiabilidad, para las mipymes del sector lácteo ubicadas en la localidad de Engativá de la ciudad de Bogotá DC.
- SAE International. (2009). Reliability-Centered Maintenance Standard (SAE JA1011).
- Tractiano. (2025, mayo 7). Todo sobre la matriz de criticidad. <https://tractian.com/es/blog/todo-sobre-la-matriz-de-criticidad>
- Triola, M. F. (2018). *Estadística* (12.^a ed.). Pearson Educación.
- Urquiza León, A. (2023). Análisis del proceso de mantenimiento y su incidencia en la gestión de operaciones en la empresa Metalúrgica Perú Pacifico S.A.C., 2023 [Tesis de licenciatura, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Continental.

Useche, A. O., Monroy, C. R., & Izquierdo, H. (2013). Gestión de mantenimiento en pymes industriales. *Revista venezolana de gerencia*, 18(61), 86-104.

Vázquez, L. A., Ramírez, M. G., & Aguilar, J. R. (2021). Desarrollo de un plan de mantenimiento para el equipo crítico del área de refrigeración de una empresa cervecera. *Tecnológico Nacional de México. Repositorio Institucional del TecNM*. <https://rinacional.tecnm.mx/handle/TecNM/6753>

Viveros, P., Stegmaier, R., Kristjanpoller, F., Barbera, L. y Crespo, A. (2013). Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 21 (1), 125-138.

Wireman, T. (2004). *Total Productive Maintenance*. Industrial Press.

Apéndice(s)

Anexo 1. Instrumento 1: Entrevista semiestructurada

ENTREVISTA SEMIESTRUCTURADA PARA TÉCNICOS

Objetivo específico: Obtener información cualitativa y técnica sobre el funcionamiento, mantenimiento, historial de fallas y criticidad operativa de los equipos principales del proceso productivo.

Tipo de valoración: Cualitativa e Interpretativa

DATOS DEL ENTRVISTADO

Nombre:
Cargo/Área:
Empresa:
Fecha:
Tiempo de experiencia en el puesto:

Instrucciones: Responda de forma clara y detallada. Sus respuestas se utilizarán únicamente con fines académicos y se mantendrán confidenciales.

No.	Dimensión/Indicador	Respuestas
-----	---------------------	------------

Planificación del mantenimiento

Existencia y aplicación de un plan de mantenimiento preventivo

¿Existe un plan formal de mantenimiento preventivo en la planta? Si es así, ¿cómo se estructura y quién lo supervisa?

1

Programación y frecuencia de actividades

2 ¿Con qué frecuencia se realizan las inspecciones, limpiezas y revisiones en los equipos principales?

Control de registros.

3 ¿Se lleva algún tipo de registro o historial de mantenimiento? ¿Qué información se documenta con mayor frecuencia?

Ejecución de actividades preventivas

Procedimientos y tareas realizadas.

- 4 ¿Cuáles son las principales actividades preventivas que se ejecutan para asegurar la operación continua de los equipos críticos?

Recursos técnicos y humanos.

- 5 ¿Considera que los recursos (materiales, herramientas, personal) disponibles son suficientes para realizar adecuadamente el mantenimiento preventivo?

Cumplimiento y eficacia.

- 6 ¿Qué factores limitan o dificultan la correcta ejecución del mantenimiento preventivo?

Evaluación del mantenimiento preventivo

Resultados y desempeño de las acciones preventivas.

- 7 ¿Qué resultados han observado al aplicar el mantenimiento preventivo en términos de reducción de fallas o paros no programados?

Retroalimentación técnica.

- 8 ¿Con qué frecuencia se evalúan los resultados del mantenimiento preventivo o se actualizan las rutinas de trabajo?

Modelo de criticidad

Identificación de equipos críticos

Conocimiento de los equipos clave.

- 9 ¿Cuáles considera que son los equipos más críticos del proceso productivo y por qué?

Impacto operativo.

- 10 ¿Qué consecuencias genera una falla en estos equipos sobre la producción o la calidad del hielo?

Evaluación de criticidad

Criterios técnicos de priorización.

- 11 ¿Qué criterios considera más importantes para evaluar la criticidad de un equipo (seguridad, costos, frecuencia de fallas, impacto en la producción, etc.)?

Factores de riesgo asociados.

- 12 ¿Existen equipos cuya falla represente un riesgo para el personal o para la integridad del sistema productivo?

Relación entre mantenimiento preventivo y criticidad

Vinculación entre ambos modelos.

- 13 ¿Cree que las rutinas de mantenimiento preventivo actuales están alineadas con el nivel de criticidad de los equipos?

Priorización de acciones.

- 14 ¿Cómo se decide qué equipos deben recibir atención prioritaria en el mantenimiento preventivo?

Mejora continua.

- 15 ¿Qué beneficios considera que traería la aplicación formal de una matriz de criticidad en el mantenimiento de la planta?

FORMATO DE VALIDACIÓN DE JUICIO DE EXPERTOS ENTREVISTA SEMIESTRUCTURADA

Nombre del proyecto	Aplicación del modelo de criticidad en el mantenimiento de equipos en la hielera San Bartolo.
---------------------	---

Objetivo	Obtener información cualitativa y técnica sobre el funcionamiento, mantenimiento, historial de fallas y criticidad operativa de los equipos principales del proceso productivo.
Variable(s)	Variable independiente: Mantenimiento preventivo Variable dependiente: Modelo de criticidad
Población/muestra	Técnicos

INSTRUCCIONES: Para validar el instrumento debe colocar en el casillero de los criterios: suficiencia, claridad, coherencia y relevancia, el número que según su evaluación corresponda de acuerdo con la rúbrica anexa en la parte inferior de este instrumento.

No.	Dimensión/Indicador	CRITERIOS				Observaciones
		Suficiencia	Claridad	Coherencia	Relevancia	

Planificación del mantenimiento

Existencia y aplicación de un plan de mantenimiento preventivo

- 1 ¿Existe un plan formal de mantenimiento preventivo en la planta? Si es así, ¿cómo se estructura y quién lo supervisa?

Programación y frecuencia de actividades

- 2 ¿Con qué frecuencia se realizan las inspecciones, limpiezas y revisiones en los equipos principales?

Control de registros.

- 3 ¿Se lleva algún tipo de registro o historial de mantenimiento? ¿Qué información se documenta con mayor frecuencia?

Ejecución de actividades preventivas

Procedimientos y tareas realizadas.

- 4 ¿Cuáles son las principales actividades preventivas que se ejecutan para asegurar la operación continua de los equipos críticos?

Recursos técnicos y humanos.

- 5 ¿Considera que los recursos (materiales, herramientas, personal) disponibles son suficientes para realizar adecuadamente el mantenimiento preventivo?

Cumplimiento y eficacia.

- 6 ¿Qué factores limitan o dificultan la correcta ejecución del mantenimiento preventivo?

Evaluación del mantenimiento preventivo

Resultados y desempeño de las acciones preventivas.

- 7 ¿Qué resultados han observado al aplicar el mantenimiento preventivo en términos de reducción de fallas o paros no programados?

Retroalimentación técnica.

- 8 ¿Con qué frecuencia se evalúan los resultados del mantenimiento preventivo o se actualizan las rutinas de trabajo?

Modelo de criticidad

Identificación de equipos críticos

Conocimiento de los equipos clave.

- 9 ¿Cuáles considera que son los equipos más críticos del proceso productivo y por qué?

Impacto operativo.

- 10 ¿Qué consecuencias genera una falla en estos equipos sobre la producción o la calidad del hielo?

Evaluación de criticidad

Criterios técnicos de priorización.

- 11 ¿Qué criterios considera más importantes para evaluar la criticidad de un equipo (seguridad, costos, frecuencia de fallas, impacto en la producción, etc.)?

Factores de riesgo asociados.

- 12 ¿Existen equipos cuya falla represente un riesgo para el personal o para la integridad del sistema productivo?

Relación entre mantenimiento preventivo y criticidad

Vinculación entre ambos modelos.

- 13 ¿Cree que las rutinas de mantenimiento preventivo actuales están alineadas con el nivel de criticidad de los equipos?

Priorización de acciones.

- 14 ¿Cómo se decide qué equipos deben recibir atención prioritaria en el mantenimiento preventivo?

Mejora continua.

- 15 ¿Qué beneficios considera que traería la aplicación formal de una matriz de criticidad en el mantenimiento de la planta?

Criterios	RÚBRICA PARA LA VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO			
	Escala de valoración			
	1	2	3	4
1.- SUFICIENCIA Los ítems que pertenecen a una misma dimensión o indicador son suficientes para obtener la medición de ésta.	Los ítems no son suficientes para medir la dimensión o indicador	Los ítems miden algún aspecto de la dimensión o indicador, pero no corresponden a la dimensión total	Se debe incrementar los ítems para poder evaluar la dimensión o indicador completamente	Los ítems son suficientes
Valoración del experto				
2.- CLARIDAD El ítem se comprende fácilmente, es decir si la sintáctica y semántica son adecuadas	El ítem no es claro	El ítem requiere varias modificaciones o una modificación muy grande en el uso de las palabras de acuerdo con su significado o por la ordenación de estas	Se requiere una modificación muy específica de algunos de los términos del ítem	El ítem es claro, tiene semántica y sintaxis adecuada
Valoración del experto				
3.- COHERENCIA El ítem tiene relación lógica con la dimensión o indicador que está midiendo	El ítem no tiene relación lógica con la dimensión o indicador	El ítem tiene una relación tangencial con la dimensión o indicador	El ítem tiene una relación regular con la dimensión o indicador que se está midiendo	El ítem se encuentra completamente relacionado con la dimensión o indicador que está midiendo
Valoración del experto				
4.- RELEVANCIA El ítem es esencial o importante, es decir, debe ser incluido	El ítem puede ser eliminado sin que se vea afectada la medición de la dimensión o indicador	El ítem tiene alguna relevancia, pero otro ítem puede estar incluyendo los que este mide	El ítem es esencial o importante, es decir, debe ser incluido	El ítem es muy relevante y debe ser incluido
Valoración del experto				

Anexo 2. Instrumento 2: Cuestionario estructurado

CUESTIONARIO DIRIGIDO A JEFES DE ÁREA

Objetivo específico: Recolectar datos cuantitativos que permitan evaluar la percepción de los jefes de área respecto a la importancia, frecuencia de fallas, costos, impacto en la producción y criticidad de los equipos. Además, permite medir el grado de acuerdo sobre la necesidad de mejorar el mantenimiento preventivo y la aplicación del modelo de criticidad.

Tipo de valoración: Cuantitativo, escala de Likert

Datos generales

Puesto: _____

Área de trabajo: _____

Años de experiencia en la empresa: _____

1	2	3	4	5
Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	De acuerdo	Totalmente de acuerdo

INSTRUCCIONES: Marcar con una "X" la casilla de acuerdo con cada nivel.

No.	Sección A. Identificación y contexto	1	2	3	4	5
1	Conozco con precisión cuáles son los equipos que integran el proceso productivo					
2	Existen fichas técnicas o documentación técnica disponible para la mayoría de los equipos críticos.					
3	Los registros históricos de fallas y mantenimientos están accesibles y son consultados por la gerencia.					
Sección B. Criterios de evaluación de criticidad					1	2
4	La seguridad del personal debería tener un peso prioritario al evaluar la criticidad de un equipo.					
5	El impacto en la producción (paros, capacidad perdida) debe ser el criterio principal para clasificar criticidad.					
6	La calidad del producto (efecto sobre la calidad del hielo) es un criterio indispensable en la matriz de criticidad.					
7	Los costos de reparación o sustitución deben ponderarse al definir la criticidad.					
8	La frecuencia de fallas es un indicador válido para elevar la prioridad de un equipo.					
9	El tiempo de reparación (MTTR) debería considerarse al asignar prioridad en la matriz.					
Sección C. Datos para establecer escalas y puntuaciones					1	2
10	La empresa dispone de datos cuantitativos suficientes (tiempos de paro, costos, frecuencia) para establecer escalas de ponderación.					
11	Se mantiene un historial anual o multianual que permite estimar tendencias de falla.					
12	Considero viable definir escalas numéricas (por ejemplo: 1-5) para cada criterio de la matriz en la empresa.					
Sección D. Mantenimiento preventivo y su vinculación con criticidad					1	2
13	Existe una programación formal de mantenimiento preventivo para los equipos críticos.					
14	Las actividades de mantenimiento preventivo se cumplen en los plazos planificados.					
15	El mantenimiento preventivo ha reducido la frecuencia de fallas en equipos clave (según su percepción).					
16	Los recursos (personal técnico, repuestos, herramientas) son suficientes para ejecutar el mantenimiento preventivo planificado.					
17	Los criterios de criticidad deberían orientar la frecuencia y alcance de las rutinas preventivas.					
Sección E. Aplicación de la matriz y utilidad para la planificación					1	2
18	Una matriz de criticidad facilitaría la priorización de intervenciones de mantenimiento.					

19	Los resultados de una matriz de criticidad servirían para orientar la asignación presupuestal en mantenimiento.				
20	La jerarquización resultante de la matriz permitiría reducir paros no programados.				
21	Se requiere capacitar al personal para interpretar y aplicar correctamente la matriz de criticidad.				
	Sección F. Mejora continua y sostenibilidad	1	2	3	4
22	La matriz de criticidad debería revisarse periódicamente (ej.: anualmente o semestralmente).				
23	Se debería integrar la matriz con un sistema de registro (digital o GMAO) para seguimiento continuo.				
24	La implementación del modelo contribuiría a prolongar la vida útil de los equipos críticos.				

PREGUNTAS ABIERTAS**Top 5 equipos críticos: Enumere los cinco equipos que, en su criterio, son más críticos para la planta (1 = más crítico).**

1	
2	
3	
4	
5	

Asignación de pesos entre criterios: Distribuya 100 puntos entre los criterios que considere más importantes al evaluar criticidad (la suma debe dar 100). Esto será de gran ayuda para definir las escalas de ponderación.

Seguridad: _____ puntos

Impacto en producción: _____ puntos

Calidad del producto: _____ puntos

Costos de reparación: _____ puntos

Frecuencia de falla: _____ puntos

Tiempo de reparación (MTTR): _____ puntos

Otros (especifique): _____ — _____ puntos

Disponibilidad de información (valoración breve): Indique si existen datos históricos (fechas de fallas, duración de paros, costes asociados) para los equipos que usted considera críticos:

 Sí Parcialmente No.

Si no o parcialmente, indique cuáles faltan: _____

Sugerencias concretas: Mencione hasta tres acciones concretas que debería incluir el plan de mantenimiento priorizado por la matriz de criticidad.

1	
2	
3	

¡Gracias por tu aportación!

FORMATO DE VALIDACIÓN DE JUICIO DE EXPERTOS
CUESTIONARIO DIRIGIDO A JEFES DE ÁREA

Nombre del proyecto	Aplicación del modelo de criticidad en el mantenimiento de equipos en la hielera San Bartolo.
Objetivo	Recolectar datos cuantitativos que permitan evaluar la percepción de los jefes de área respecto a la importancia, frecuencia de fallas, costos, impacto en la producción y criticidad de los equipos. Además, permite medir el grado de acuerdo sobre la necesidad de mejorar el mantenimiento preventivo y la aplicación del modelo de criticidad.
Variable(s)	Variable independiente: Mantenimiento preventivo Variable dependiente: Modelo de criticidad
Población/muestra	JEFES DE ÁREA

INSTRUCCIONES: Para validar el instrumento debe colocar en el casillero de los criterios: suficiencia, claridad, coherencia y relevancia, el número que según su evaluación corresponda de acuerdo con la rúbrica anexa en la parte inferior de este instrumento.

No.	Sección A. Identificación y contexto	Criterios				Observaciones
		Suficiencia	Claridad	Coherencia	Relevancia	
1	Conozco con precisión cuáles son los equipos que integran el proceso productivo					
2	Existen fichas técnicas o documentación técnica disponible para la mayoría de los equipos críticos.					
3	Los registros históricos de fallas y mantenimientos están accesibles y son consultados por la gerencia.					
	Sección B. Criterios de evaluación de criticidad					
4	La seguridad del personal debería tener un peso prioritario al evaluar la criticidad de un equipo.					
5	El impacto en la producción (paros, capacidad perdida) debe ser el criterio principal para clasificar criticidad.					
6	La calidad del producto (efecto sobre la calidad del hielo) es un criterio indispensable en la matriz de criticidad.					
7	Los costos de reparación o sustitución deben ponderarse al definir la criticidad.					
8	La frecuencia de fallas es un indicador válido para elevar la prioridad de un equipo.					
9	El tiempo de reparación (MTTR) debería considerarse al asignar prioridad en la matriz.					
	Sección C. Datos para establecer escalas y puntuaciones					
10	La empresa dispone de datos cuantitativos suficientes (tiempos de paro, costos, frecuencia) para establecer escalas de ponderación.					
11	Se mantiene un historial anual o multianual que permite estimar tendencias de falla.					
12	Considero viable definir escalas numéricas (por ejemplo: 1-5) para cada criterio de la matriz en la empresa.					
	Sección D. Mantenimiento preventivo y su vinculación con criticidad					
13	Existe una programación formal de mantenimiento preventivo para los equipos críticos.					
14	Las actividades de mantenimiento preventivo se cumplen en los plazos planificados.					

15	El mantenimiento preventivo ha reducido la frecuencia de fallas en equipos clave (según su percepción).					
16	Los recursos (personal técnico, repuestos, herramientas) son suficientes para ejecutar el mantenimiento preventivo planificado.					
17	Los criterios de criticidad deberían orientar la frecuencia y alcance de las rutinas preventivas.					
	Sección E. Aplicación de la matriz y utilidad para la planificación					
18	Una matriz de criticidad facilitaría la priorización de intervenciones de mantenimiento.					
19	Los resultados de una matriz de criticidad servirían para orientar la asignación presupuestal en mantenimiento.					
20	La jerarquización resultante de la matriz permitiría reducir paros no programados.					
21	Se requiere capacitar al personal para interpretar y aplicar correctamente la matriz de criticidad.					
	Sección F. Mejora continua y sostenibilidad					
22	La matriz de criticidad debería revisarse periódicamente (ej.: anualmente o semestralmente).					
23	Se debería integrar la matriz con un sistema de registro (digital o GMAO) para seguimiento continuo.					
24	La implementación del modelo contribuiría a prolongar la vida útil de los equipos críticos.					
PREGUNTAS ABIERTAS						
Top 5 equipos críticos: Enumere los cinco equipos que, en su criterio, son más críticos para la planta (1 = más crítico).						
1						
2						
3						
4						
5						
Asignación de pesos entre criterios: Distribuya 100 puntos entre los criterios que considere más importantes al evaluar criticidad (la suma debe dar 100). Esto será de gran ayuda para definir las escalas de ponderación.						
Seguridad: _____ puntos						
Impacto en producción: _____ puntos						
Calidad del producto: _____ puntos						
Costos de reparación: _____ puntos						
Frecuencia de falla: _____ puntos						
Tiempo de reparación (MTTR): _____ puntos						
Otros (especifique): _____ — _____ puntos						
Disponibilidad de información (valoración breve): Indique si existen datos históricos (fechas de fallas, duración de paros, costes asociados) para los equipos que usted considera críticos:						
<input type="checkbox"/> Sí						

Parcialmente

No.

Si no o parcialmente, indique cuáles faltan: _____

Sugerencias concretas: Mencione hasta tres acciones concretas que debería incluir el plan de mantenimiento priorizado por la matriz de criticidad.

1

2

3

¡Gracias por tu aportación!

Criterios	RÚBRICA PARA LA VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO			
	Escala de valoración			
	1	2	3	4
1.- SUFICIENCIA Los ítems que pertenecen a una misma dimensión o indicador son suficientes para obtener la medición de ésta.	Los ítems no son suficientes para medir la dimensión o indicador	Los ítems miden algún aspecto de la dimensión o indicador, pero no corresponden a la dimensión total	Se debe incrementar los ítems para poder evaluar la dimensión o indicador completamente	Los ítems son suficientes
Valoración del experto				
2.- CLARIDAD El ítem se comprende fácilmente, es decir si la sintáctica y semántica son adecuadas	El ítem no es claro	El ítem requiere varias modificaciones o una modificación muy grande en el uso de las palabras de acuerdo con su significado o por la ordenación de estas	Se requiere una modificación muy específica de algunos de los términos del ítem	El ítem es claro, tiene semántica y sintaxis adecuada
Valoración del experto				
3.- COHERENCIA El ítem tiene relación lógica con la dimensión o indicador que está midiendo	El ítem no tiene relación lógica con la dimensión o indicador	El ítem tiene una relación tangencial con la dimensión o indicador	El ítem tiene una relación regular con la dimensión o indicador que se está midiendo	El ítem se encuentra completamente relacionado con la dimensión o indicador que está midiendo
Valoración del experto				
4.- RELEVANCIA El ítem es esencial o importante, es decir, debe ser incluido	El ítem puede ser eliminado sin que se vea afectada la medición de la dimensión o indicador	El ítem tiene alguna relevancia, pero otro ítem puede estar incluyendo los que este mide	El ítem es esencial o importante, es decir, debe ser incluido	El ítem es muy relevante y debe ser incluido
Valoración del experto				

Anexo 3. Instrumento 3: Lista de cotejo

LISTA DE COTEJO PARA PERSONAL ADMINISTRATIVO Y TÉCNICO

Nombre del proyecto	Aplicación del modelo de criticidad en el mantenimiento de equipos en la hielera San Bartolo.
Objetivo	Comprobar la existencia, organización y actualización de documentos técnicos y registros operativos que sustenten el análisis de criticidad
Variable(s)	Variable independiente: Mantenimiento preventivo Variable dependiente: Modelo de criticidad
Población/muestra	PERSONAL ADMINISTRATIVO Y TÉCNICO

Objetivo: Comprobar la existencia, organización y actualización de documentos técnicos y registros operativos que sustenten el análisis de criticidad

Categoría	Documento	Descripción/Uso de la investigación	Si	No	observaciones
Información técnica de equipos	Fichas técnicas de los equipos	Especificaciones, capacidad, fabricante, modelo, potencia, voltaje, etc.			
	Planos del proceso o layout de la planta	Permite ubicar los equipos en el proceso productivo.			
	Diagramas eléctricos e hidráulicos	Identificación de conexiones y dependencias entre equipos.			
	Manuales de operación y mantenimiento	Instrucciones del fabricante sobre mantenimiento y condiciones críticas.			
	Registro de inventario general de equipos	Lista total para verificar la muestra seleccionada.			
	Registro de producción diaria/ mensual	Permite correlacionar fallas con volúmenes de producción.			
Información operativa	Bitácoras de operación (turnos)	Incidencias, ajustes, paros, observaciones de operadores.			
	Tiempos de ciclo de producción	Identificar impacto de fallas en la continuidad del proceso.			
	Reportes de consumo energético	Relación entre equipos críticos y consumo eléctrico.			
	Bitácoras de mantenimiento (correctivo y preventivo)	Frecuencia y tipo de fallas, fechas, personal responsable.			
Información de mantenimiento	Historial de averías	Fechas, causas, equipos involucrados, tiempo de paro.			
	Ordenes de trabajo de mantenimiento	Actividades ejecutadas, materiales usados, tiempos invertidos.			
	Plan anual de mantenimiento preventivo	Calendario de revisiones y rutinas programadas.			
	Costos de reparación/reposición	Información clave para el criterio “costos” en la matriz.			
	Requisito de tiempo medio de reparación (MTTR)	Duración promedio de reparaciones; afecta la criticidad.			

Información administrativa y de recursos	Registro de tiempo medio entre fallas (MTBF)	Frecuencia de fallas; base para la variable dependiente.
	Estructura organizacional del área de mantenimiento	Identificación de responsables y jerarquías de decisión.
	Presupuesto asignado a mantenimiento	Relación con la priorización de equipos críticos.
	Política o manual interno de mantenimiento	Define procedimientos, criterios de prioridad y frecuencia.
	Contratos o registros de mantenimiento externo	Si existen servicios subcontratados para ciertos equipos
Información de seguridad y calidad	Reportes de incidentes o accidentes laborales	Vinculados a fallas o mal funcionamiento de equipos.
	Registros de control de calidad del hielo	Impacto de fallas sobre la calidad del producto final.
	Auditorías internas o externas de mantenimiento / calidad	Permite validar el cumplimiento de procedimientos.
	Normas internas o reglamentos aplicables	Referencias normativas sobre mantenimiento industrial.

FORMATO DE VALIDACIÓN DE JUICIO DE EXPERTOS
LISTA DE COTEJO PARA PERSONAL ADMINISTRATIVO Y TÉCNICO

INSTRUCCIONES: Para validar el instrumento debe colocar en el casillero de los criterios: suficiencia, claridad, coherencia y relevancia, el número que según su evaluación corresponda de acuerdo con la rúbrica anexa en la parte inferior de este instrumento.

Objetivo: Comprobar la existencia, organización y actualización de documentos técnicos y registros operativos que sustenten el análisis de criticidad

Categoría	Documento	Descripción/Uso de la investigación	CRITERIOS			Observaciones
			Suficiencia	Claridad	Coherencia	
Información técnica de equipos	Fichas técnicas de los equipos	Especificaciones, capacidad, fabricante, modelo, potencia, voltaje, etc.				
	Planos del proceso o layout de la planta	Permite ubicar los equipos en el proceso productivo.				
	Diagramas eléctricos e hidráulicos	Identificación de conexiones y dependencias entre equipos.				
	Manuales de operación y mantenimiento	Instrucciones del fabricante sobre mantenimiento y condiciones críticas.				
	Registro de inventario general de equipos	Lista total para verificar la muestra seleccionada.				

Información operativa	Registro de producción diaria/ mensual	Permite correlacionar fallas con volúmenes de producción.
	Bitácoras de operación (turnos)	Incidencias, ajustes, paros, observaciones de operadores.
	Tiempos de ciclo de producción	Identificar impacto de fallas en la continuidad del proceso.
	Reportes de consumo energético	Relación entre equipos críticos y consumo eléctrico.
	Bitácoras de mantenimiento (correctivo y preventivo)	Frecuencia y tipo de fallas, fechas, personal responsable.
	Historial de averías	Fechas, causas, equipos involucrados, tiempo de paro.
	Ordenes de trabajo de mantenimiento	Actividades ejecutadas, materiales usados, tiempos invertidos.
Información de mantenimiento	Plan anual de mantenimiento preventivo	Calendario de revisiones y rutinas programadas.
	Costos de reparación/reposición	Información clave para el criterio "costos" en la matriz.
	Requisito de tiempo medio de reparación (MTTR)	Duración promedio de reparaciones; afecta la criticidad.
Información administrativa y de recursos	Registro de tiempo medio entre fallas (MTBF)	Frecuencia de fallas; base para la variable dependiente.
	Estructura organizacional del área de mantenimiento	Identificación de responsables y jerarquías de decisión.
	Presupuesto asignado a mantenimiento	Relación con la priorización de equipos críticos.
	Política o manual interno de mantenimiento	Define procedimientos, criterios de prioridad y frecuencia.
	Contratos o registros de mantenimiento externo	Si existen servicios subcontratados para ciertos equipos
Información de seguridad y calidad	Reportes de incidentes o accidentes laborales	Vinculados a fallas o mal funcionamiento de equipos.
	Registros de control de calidad del hielo	Impacto de fallas sobre la calidad del producto final.
	Auditorías internas o externas de mantenimiento / calidad	Permite validar el cumplimiento de procedimientos.
	Normas internas o reglamentos aplicables	Referencias normativas sobre mantenimiento industrial.

RÚBRICA PARA LA VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO

Criterios	Escala de valoración			
	1	2	3	4

1.- SUFICIENCIA Los ítems que pertenecen a una misma dimensión o indicador son suficientes para obtener la medición de ésta.	Los ítems no son suficientes para medir la dimensión o indicador	Los ítems miden algún aspecto de la dimensión o indicador, pero no corresponden a la dimensión total	Se debe incrementar los ítems para poder evaluar la dimensión o indicador completamente	Los ítems son suficientes
Valoración del experto				
2.- CLARIDAD El ítem se comprende fácilmente, es decir si sintáctica y semántica son adecuadas	El ítem no es claro	El ítem requiere varias modificaciones o una modificación muy grande en el uso de las palabras de acuerdo con su significado o por la ordenación de estas	Se requiere una modificación muy específica de algunos de los términos del ítem	El ítem es claro, tiene semántica y sintaxis adecuada
Valoración del experto				
3.- COHERENCIA El ítem tiene relación lógica con la dimensión o indicador que está midiendo	El ítem no tiene relación lógica con la dimensión o indicador	El ítem tiene una relación tangencial con la dimensión o indicador	El ítem tiene una relación regular con la dimensión o indicador que se está midiendo	El ítem se encuentra completamente relacionado con la dimensión o indicador que está midiendo
Valoración del experto				
4.- RELEVANCIA El ítem es esencial o importante, es decir, debe ser incluido	El ítem puede ser eliminado sin que se vea afectada la medición de la dimensión o indicador	El ítem tiene alguna relevancia, pero otro ítem puede estar incluyendo los que este mide	El ítem es esencial o importante, es decir, debe ser incluido	El ítem es muy relevante y debe ser incluido

Valoración del experto

Tabla(s)**Tabla 1***Lista de equipos, maquinaria y complementos que pertenecen a la Hielera de San Bartolo.*

Inventario según Tipos de Equipos de San Bartolo			
Categoría	Cantidad	Equipo	Repuestos
A. Equipos de producción directa	8	Compresores	1
	2	Condensadores	-
	2	Tinas de salmuera	-
	1	Moldes para bloques	-
	4	Bombas de agua	-
	2	Bombas de circulación de salmuera	-
	42	Motores eléctricos	-
	1	Tina de desmolde	-
	1	Grúas/Polipasto	-
	2	Trituradora	-
B. Equipos de servicios y Auxiliares	4	filtros	-
	4	suavizadores	-
	4	osmosis inversa	-
	1	Generador eléctrico de emergencia	
	6	Bombas de agua de alimentación	-
	1	Torres de enfriamiento	-
	2	Bombas de agua de condensación	-
	2	Tableros	-
	3	Transformadores eléctricos	-
	15	Contactos	-
	12	Sistemas de ventilación para máquinas	-
	2	sistema de drenaje	-
	35	Luminarias	-
C. Equipos de Almacenamiento	2	Cuartos de frío(evaporadores)	-
	1	Balancín (transportador)	-
	3	Rampa de carga y descarga	-
	10	Tanques de almacenamiento de agua purificada	-
	6	depósitos de agua (cisternas)	-

D. Sistemas de Tuberías, Ductos y Conductores	2	Tenazas de agarre para el hielo	10
	indefinido	Tuberías de agua potable	-
	indefinido	Tuberías de agua purificada	-
	indefinido	Tuberías de refrigerante (Amoniaco)	-
	2	válvulas de control	-
	2	válvulas de llenado	-
	2	válvulas de paso	-
	indefinido	Ductos de ventilación	-
E. Estructura, Aislamiento y Cerramientos de la Planta	indefinido	Ductos eléctricos	-
	indefinido	Muros de concreto	-
	3	techo aislado	-
	3	Muros aislantes (Cuarto frío)	-
	3	Puertas térmicas para cuartos fríos	-
	9	Pisos de concreto reforzado	-
	2	Ventanas	-
	2	Canaletas de desagüe	-

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 2

Resultado de la identificación del análisis de los equipos críticos de producción directa.

Equipos del Circuito Eléctrico-Frigoríficos para Producción de Hielo					
Num	Equipo /Sistema	Función	Cantidad	Especificaciones técnicas	Marca
1	Sistema de refrigeración principal	Comprimir el refrigerante	1	Compresor de 30 tons	MAYEKAWA
2	Sistema de refrigeración principal	Mover el compresor	1	Motor de 100 HP	US MOTORS
3	Sistema de refrigeración principal	Comprimir el refrigerante	1	Compresor de 20 tons	MAYEKAWA
4	Sistema de refrigeración principal	Mover el compresor	1	Motor de 75 HP	WEG
5	Tanques de salmuera	Agitador de salmuera	1	Motor de 5 HP 30 tons	WEG
6	Tanques de salmuera	Agitador de salmuera	1	Motor de 5 HP 20 tons	WEG
7	Sistema de preenfriamiento	Enfriamiento previo del agua	2	Compresores de 10 tons	BOHN
8	Sistema de refrigeración principal	Disipación de calor	4	Motor de 1 HP	AQUAPACK
9	Sistema de refrigeración principal	Disipación de calor	1	Motor de 5 HP	AQUAPACK
10	Sistema de refrigeración principal	Disipación de calor	1	Motor de 3 HP	AQUAPACK
11	Sistema de refrigeración principal	Disipación de calor	1	Condensador 30 tons	WEG
12	Sistema de refrigeración principal	Disipación de calor	1	Motor de 3 HP 30	WEG

13	Sistema de refrigeración principal	Disipación de calor	1	Motor de 10 HP	WEG
14	Sistema de refrigeración principal	Disipación de calor	1	Condensador 20 tons	WEG
15	Sistema de refrigeración principal	Disipación de calor	1	Motor de 7 HP	WEG
16	Sistema de refrigeración principal	Disipación de calor	1	Motor de 2 HP	WEG
17	Servicios auxiliares	Extracción de calor para subestación	2	Motor de 3/4 HP	BOHN
18	Sistema de enfriamiento de compresores	Mantener temperatura operativa	6	Motor 1/4 HP	BOHN
19	Sistema de enfriamiento de compresores	Mantener temperatura operativa	1	Bomba de 2 HP	WEG
20	Sistema de enfriamiento de compresores	Mantener temperatura operativa	1	Motor de 2 HP	SIEMENS
21	Sistema de preenfriamiento	Reducir la temperatura	2	Motor de 3/4 HP	WEG
22	Sistema de ósmosis inversa	Purificación de agua	2	Bomba de 2 HP	AQUAPACK
23	Sistema de ósmosis inversa	Purificación de agua	2	Bomba de 1/2 HP	AQUAPACK
24	Cuartos fríos de conservación	Almacenamiento de hielo	1	Compresor de 8 tons	BOHN
25	Cuartos fríos de conservación	Almacenamiento de hielo	1	Compresor de 8 tons	BOHN
26	Cuartos fríos de conservación	Almacenamiento de hielo	16	Motor de 1/4 HP	BOHN
27	Grúa viajera (polipasto)	Movimiento de moldes	1	Motor 1/2 tons	EATON
			TOTAL DE EQUIPOS	55	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3

Variables aplicadas en el estudio de criticidad, criterios y ponderaciones.

Frecuencia de fallas	Ptos	Costo de mantenimiento	Ptos
Mas de 4 fallas al año	4	Más de 180,000	3
de 2 a 3 fallas al año	3	Entre 700 y 180,000	2
de 1 a 2 fallas al año	2	Menos de 700	1
Menos o igual a una falla al año	1	Impacto en Seguridad y Ambiente	Ptos
Impacto operacional	Ptos	Daños y Lesiones Humanos	8
Parada total	10	Daños al medio Ambiente	6
Afecta más del 50%	7	Daños a Instalaciones	4
Afecta menos del 50%	4	Daños menores	2
No afecta	1	Afecta al Medio Ambiente sin daños	1
Flexibilidad Operacional	Ptos	No causa daños	0
No dispone de otro equipo	4		
El proceso sigue en funcionamiento	2		
Se dispone de otro equipo	1		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4

Inventario de equipos de producción directa y aplicación del modelo de criticidad.

Equipos del Circuito Eléctrico-Frigo rígenos para Producción de Hielo													
N U M	Can tida d	Descripción de Equipo	CONSECUENCIA							PROBABILIDAD		va lo r	CRIT ICID AD
			Impacto Op.	Pu nta je	Flexibili dad	Pu nta je	Costos	Pu nta je	Segurid ad	Pu nta je	F.F (mensual)		
1	1	Compresor de 30 tons	Parada total	10	No dispone de otro equipo	4	Más de 180,000	3	Daños y Lesiones Humanos	8	Menos o igual a una falla al año	1	51
2	1	Motor de 100 HP	Parada total	10	No dispone de otro equipo	4	Entre 700 y 180,000	2	Daños a Instalaciones	4	Menos o igual a una falla al año	1	46
3	1	Compresor de 20 tons	Parada total	10	No dispone de otro equipo	4	Más de 180,000	3	Daños y Lesiones Humanos	8	Menos o igual a una falla al año	1	51
4	1	Motor de 75 HP	Parada total	10	No dispone de otro equipo	4	Entre 700 y 180,000	2	Daños a Instalaciones	4	Menos o igual a una falla al año	1	46
5	1	Motor de 5 HP 30 tons	Parada total	10	No dispone de otro equipo	4	Entre 700 y 180,000	2	Daños a Instalaciones	4	Menos o igual a una falla al año	1	46
6	1	Motor de 5 HP 20 tons	Parada total	10	No dispone de otro equipo	4	Entre 700 y 180,000	2	Daños a Instalaciones	4	Menos o igual a una falla al año	1	46
7	2	Compresores de 10 tons	Afecta menos del 50%	4	No dispone de otro equipo	4	Entre 700 y 180,000	2	Daños a Instalaciones	4	Menos o igual a una falla al año	1	22
8	4	Motor de 1 HP	Parada total	10	No dispone de otro equipo	4	Entre 700 y 180,000	2	Daños a Instalaciones	4	de 1 a 2 fallas al año	2	92
9	1	Motor de 5 HP	Parada total	10	No dispone de otro equipo	4	Entre 700 y 180,000	2	Daños a Instalaciones	4	de 1 a 2 fallas al año	2	92
10	1	Motor de 3 HP	Parada total	10	No dispone de otro equipo	4	Entre 700 y 180,000	2	Daños a Instalaciones	4	de 1 a 2 fallas al año	2	92
11	1	Condensador 30 tons	Parada total	10	No dispone de otro equipo	4	Más de 180,000	3	Daños a Instalaciones	4	Menos o igual a una falla al año	1	47
12	1	Motor de 3 HP 30	Parada total	10	No dispone de otro equipo	4	Entre 700 y 180,000	2	Daños a Instalaciones	4	Menos o igual a una falla al año	1	46
13	1	Motor de 10 HP	Parada total	10	No dispone de otro equipo	4	Entre 700 y 180,000	2	Daños a Instalaciones	4	Menos o igual a una falla al año	1	46
14	1	Condensador 20 tons	Parada total	10	No dispone de otro equipo	4	Más de 180,000	3	Daños a Instalaciones	4	Menos o igual a una falla al año	1	47

15	1	Motor de 7 HP	Parada total	10	No dispone de otro equipo	4	Entre 700 y 180,000	2	Daños y Lesiones Humanos	8	de 1 a 2 fallas al año	2	10 0	100
16	1	Motor de 2 HP	Parada total	10	No dispone de otro equipo	4	Entre 700 y 180,000	2	Daños y Lesiones Humanos	8	de 1 a 2 fallas al año	2	10 0	100
17	2	Motor de 3/4 HP	Afecta menos del 50%	4	No dispone de otro equipo	4	Entre 700 y 180,000	2	Daños a Instalaciones	4	Menos o igual a una falla al año	1	22	22
18	6	Motor 1/4 HP	Afecta más del 50%	7	No dispone de otro equipo	4	Entre 700 y 180,000	2	Daños a Instalaciones	4	de 1 a 2 fallas al año	2	68	68
19	1	Bomba de 2 HP	Afecta más del 50%	7	No dispone de otro equipo	4	Entre 700 y 180,000	2	Daños a Instalaciones	4	de 1 a 2 fallas al año	2	68	68
20	1	Motor de 2 HP	Afecta más del 50%	7	No dispone de otro equipo	4	Entre 700 y 180,000	2	Daños a Instalaciones	4	de 1 a 2 fallas al año	2	68	68
21	2	Motor de 3/4 HP	Afecta menos del 50%	4	No dispone de otro equipo	4	Entre 700 y 180,000	2	Daños a Instalaciones	4	Menos o igual a una falla al año	1	22	22
22	2	Bomba de 2 HP	Parada total	10	No dispone de otro equipo	4	Entre 700 y 180,000	2	Daños a Instalaciones	4	de 1 a 2 fallas al año	2	92	92
23	2	Bomba de 1/2 HP	Parada total	10	No dispone de otro equipo	4	Entre 700 y 180,000	2	Daños a Instalaciones	4	de 1 a 2 fallas al año	2	92	92
24	1	Compresor de 8 tons	Parada total	10	No dispone de otro equipo	4	Más de 180,000	3	Daños a Instalaciones	4	Menos o igual a una falla al año	1	47	47
25	1	Compresor de 8 tons	Parada total	10	No dispone de otro equipo	4	Más de 180,000	3	Daños a Instalaciones	4	Menos o igual a una falla al año	1	47	47
26	16	Motor de 1/4 HP	Parada total	10	No dispone de otro equipo	4	Entre 700 y 180,000	2	Daños a Instalaciones	4	Menos o igual a una falla al año	1	46	46
27	1	Motor 1/2 tons	Parada total	10	No dispone de otro equipo	4	Entre 700 y 180,000	2	Daños y Lesiones Humanos	8	Mas de 4 fallas al año	4	20 0	200

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5

Programa de mantenimiento

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO					
LOCALIZACIÓN	EQUIPO	FUNCIÓN	ACTIVIDAD DE MTTO	FRECUENCIA	RESPONSABLE
Sistema de refrigeración principal	Compresor de 30 tons	Comprimir el refrigerante	Revisar presión de succión y descarga, nivel de aceite, fugas de gas y limpieza de filtros.	Semanal	Técnico de mantenimiento
	Motor de 100 HP	Mover el compresor	Verificar consumo eléctrico, rodamientos, vibración y limpieza del motor.	Mensual	Técnico de eléctrico
	Compresor de 20 tons	Comprimir el refrigerante	Revisar válvulas, conexiones, fugas y nivel de aceite.	Semanal	Técnico de mantenimiento
	Motor de 75 HP	Mover el compresor	Comprobar vibraciones, temperatura y limpieza de ventilador.	Mensual	Técnico de eléctrico
Tanques de Salmuera	Motor de 5 HP (30 tons)	Agitador de salmuera	Revisar ejes, hélices, nivel y limpieza del tanque.	Quincenal	Técnico de mantenimiento

	Motor de 5 HP (20 tons)	Agitador de salmuera	Revisar hélices, sellos y lubricación de rodamientos.	Quincenal	Técnico de mantenimiento
Sistema de preenfriamiento	Compresores de 10 tons	Enfriamiento previo del agua	Revisar nivel de aceite, presión de gas, válvulas y serpentines.	Mensual	Técnico de mantenimiento
Sistema de refrigeración principal	Motor de 1 HP	Disipación de calor	Limpiar ventiladores, revisar conexiones y vibraciones.	Mensual	Técnico de eléctrico
	Motor de 5 HP	Disipación de calor	Revisar rodamientos, alineación y temperatura del motor.	Mensual	Técnico de eléctrico
	Motor de 3 HP	Disipación de calor	Revisar ventilación, limpiar filtros y comprobar amperaje.	Mensual	Técnico de eléctrico
	Condensador 30 tons	Disipación de calor	Limpiar serpentines, revisar flujo de aire y ventiladores.	Mensual	Técnico de mantenimiento
	Motor de 3 HP (30 tons)	Disipación de calor	Revisar conexión, rodamientos y limpieza de aspas.	Mensual	Técnico de eléctrico
	Motor de 10 HP	Disipación de calor	Limpiar carcasa, revisar alineación y ruido.	Mensual	Técnico de eléctrico
	Condensador 20 tons	Disipación de calor	Limpiar serpentines y verificar presión del gas.	Mensual	Técnico de mantenimiento
	Motor de 7 HP	Disipación de calor	Revisar alineación, limpieza de ventilador y conexiones.	Mensual	Técnico de eléctrico
	Motor de 2 HP	Disipación de calor	Verificar consumo eléctrico, temperatura y lubricación.	Mensual	Técnico de eléctrico
Servicios auxiliares	Motor de 3/4 HP	Extracción de calor para subestación	Revisar funcionamiento, limpieza y flujo de aire.	Mensual	Técnico de eléctrico
Sistema de enfriamiento de compresores	Motor 1/4 HP	Mantener temperatura operativa	Revisar rodamientos, limpieza de rejillas y conexiones.	Mensual	Técnico de eléctrico
	Bomba de 2 HP	Mantener temperatura operativa	Revisar fugas, presión de salida y alineación.	Quincenal	Técnico de mantenimiento
	Motor de 2 HP	Mantener temperatura operativa	Revisar conexiones eléctricas, vibración y ventilación.	Mensual	Técnico de eléctrico
Sistema de preenfriamiento	Motor de 3/4 HP	Reducir la temperatura	Revisar balance del eje, rodamientos y limpieza.	Mensual	Técnico de mantenimiento
Sistema de ósmosis inversa	Bomba de 2 HP	Purificación de agua	Revisar presión de alimentación, fugas y limpieza de filtros.	Semanal	Técnico de mantenimiento
	Bomba de 1/2 HP	Purificación de agua	Verificar presión, fugas y limpiar conexiones.	Semanal	Técnico de mantenimiento
Cuartos fríos de conservación	Compresor de 8 tons	Almacenamiento de hielo	Revisar nivel de aceite, refrigerante y limpieza de serpentines.	Mensual	Técnico de mantenimiento
	Compresor de 8 tons	Almacenamiento de hielo	Revisar fugas, válvulas y presión del sistema.	Mensual	Técnico de mantenimiento
	Motor de 1/4 HP	Almacenamiento de hielo	Revisar ventiladores, rodamientos y cableado.	Quincenal	Técnico de eléctrico
Grúa viajera (polipasto)	Motor 1/2 tons	Movimiento de moldes	Revisar frenos, ganchos, cables y lubricación.	Mensual	Técnico de mantenimiento

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6

Formato de programa de mantenimiento

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO																
NO. (1)	SERVICIO (2)	TIPO (3)		E (4)	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
				P												
				R												
				O												
				P												
				R												
				O												
				P												
				R												
				O												
				P												
				R												
				O												
				P												
				R												
				O												
				P												
				R												
				O												
				P												
				R												
				O												

FECHA DE ELABORACIÓN: (5)

ELABORÓ: (6)

FECHA DE APROBACIÓN: (7)	APROBÓ: (8)
--------------------------	-------------

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7

Ficha de control para un equipo

FICHA DE CONTROL PARA EQUIPOS	
HIELERA SAN BARTOLO	HOJA DE CONTROL PARA UN EQUIPO
NÚMERO DE REGISTRO: (1) _____	
NOMBRE DEL EQUIPO: (2)	
LOCALIZACIÓN: (3)	
ÁREA O DEPARTAMENTO: (4)	
MARCA: (5)	
MODELO: (6)	
SERIE: (7)	
MOTOR ASOCIADO: (8)	
FUNCIÓN DE EQUIPO: (9)	
CAPACIDAD / POTENCIA: (10)	
VOLTAJE: (11)	
CORRIENTE NOMINAL (A): (12)	
RPM: (13)	
TIPO DE CONEXIÓN: (14)	
LUBRICANTE Y CANTIDAD: (15)	
CANTIDAD DE LUBRICANTE: (16)	
TIPO DE TRANSMISIÓN: (17)	
CONDICIONES DE OPERACIÓN: (18)	
FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO: (19)	
RESPONSABLE DE MANTENIMIENTO: (20)	
FECHA DE INSTALACIÓN: (21)	
ULTIMO MANTENIMIENTO REALIZADO: (22)	
PRÓXIMO MANTENIMIENTO PROGRAMADO: (23)	
HISTORIAL DE FALLAS O REPARACIONES: (24)	
MEDIDAS DE SEGURIDAD APLICABLES: (25)	
OBSERVACIONES GENERALES: (26)	

--

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8

Hoja orden de trabajo

HIELERA SAN BARTOLO	HOJA DE ORDEN DE TRABAJO	NO. DE ORDEN: (1)
Fecha: (2)	Prioridad de requerimiento: (3)	Urgente
Nombre del solicitante: (4)	Tipo de trabajo solicitado: (5)	Mtto. Correctivo
Técnico responsable: (6)	Tipo de mantenimiento: (7)	Interno
Área o departamento: (8)		
Descripción del trabajo solicitado: (9)		
Hora de inicio: (10)		Fecha: (11)
Tiempo asignado: (12)		Tiempo utilizado: (13)
Descripción de la actividad realizada: (14)		
Materiales y/o repuestos utilizados		
Cantidad (15)	Descripción: (16)	
Trabajo realizado por: (17) Ayudante: (18)		
Hubo paro del equipo: (19)	No	

Observaciones: (20)

Observaciones: (20)	
Verificado y liberado por: (21)	Fecha y firma: (22)
Aprobado por: (23)	Fecha y firma: (24)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9

Ficha de control para una inspección

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10

Ficha de control para órdenes de trabajo

OBSERVACIONES: (11)								

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11

Hoja de reporte de actividades semanales

FICHA DE CONTROL DE ACTIVIDADES SEMANALES						
HIELERA SAN BARTOLO		HOJA DE REPORTE DE ACTIVIDADES SEMANALES			DEPARTAMENTO DE MTTO	
Semana del _____ de _____ al _____ de _____ de (1)						
Nombre del trabajador: (2)						Puesto: (3)
FECHA (4)	NUM. DE ORDEN / FOLIO (5)	TRABAJO REALIZADO (6)	TIPO DE MANTENIMIENTO (7)	TIEMPO ASIGNADO (HR) (8)	TIEMPO REAL (HR) (9)	OBSERVACIONES (10)
PERMISOS: (11) F:Faltó	Observaciones: (12)					

P:Personal
I:ISSSTE O IMSS
E:Enfermedad
S:Sindical

Firma del técnico: (13) _____

Firma del responsable de mantenimiento: (14) _____

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12

Ficha de control para un historial de equipo

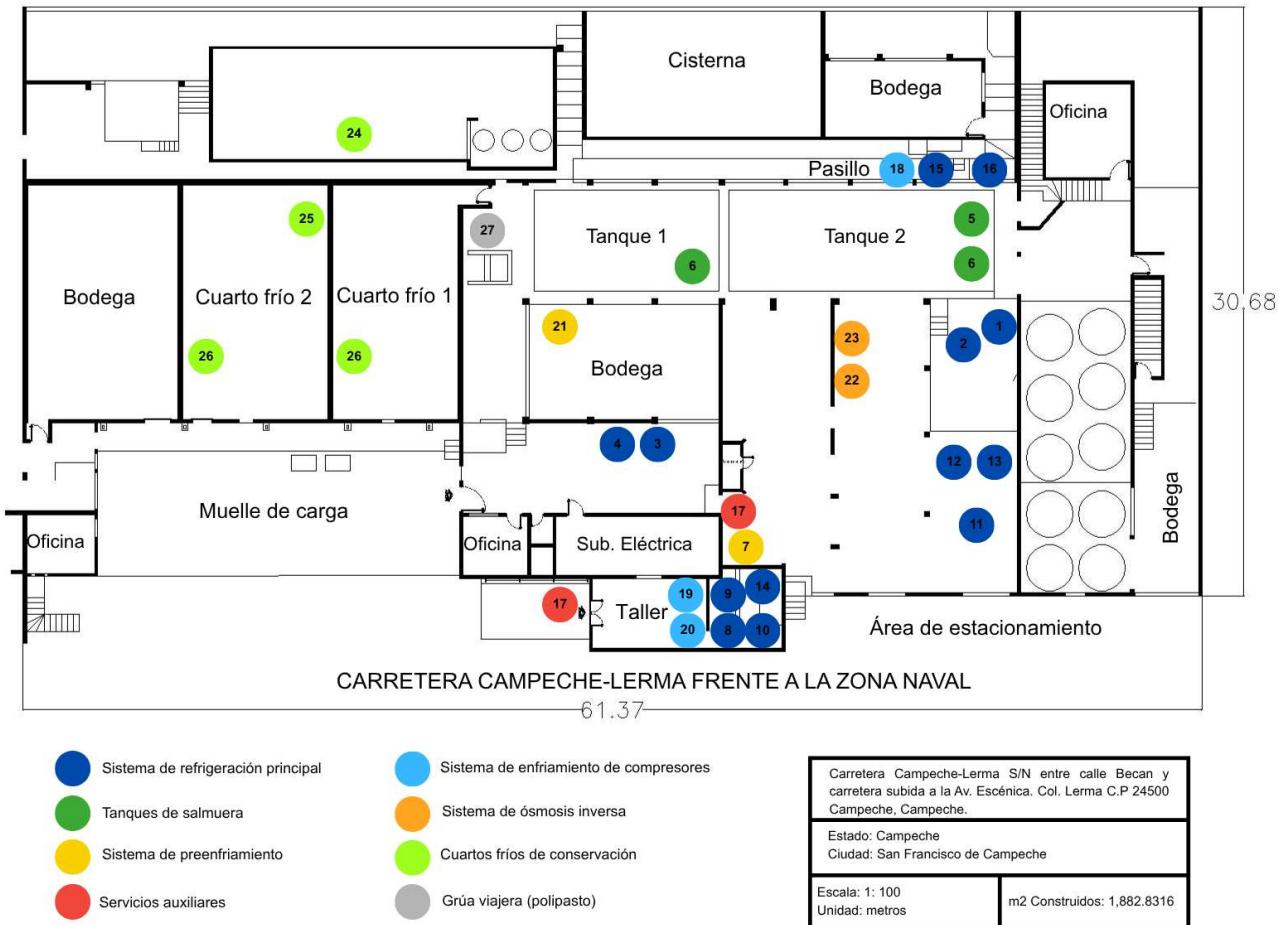
Fuente: Elaboración propia.

Figura(s)

Figura 1

Layout de la empresa con la ubicación de los equipos.

FALDA DE CERRO



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2

Matriz de Criticidad de Equipos (Frecuencia vs. Consecuencia)

		CONSECUENCIA					FRECUENCIA	
		10	20	30	40	50		
FRECUENCIA	1	10	20	30	40	50	Valor más bajo	1
	2	20	40	60	80	100	Valor más alto	4
	3	30	60	90	120	150	CONSECUENCIA	
	4	40	80	120	160	200	Valor más bajo	2
NIVEL DE CRITICIDAD								
Alto		x < 100						
Medio		40 > x ≤ 100						
Bajo		x ≤ 40						

Fuente: Elaboración propia.

Procedimientos estandarizados para la prevención de fallas comunes en instalaciones técnicas de un hotel de cinco estrellas de Playa del Carmen en Cancún, Quintana Roo.

Edgar Alberto Salazar Chi¹

Jesús Ramón Cob Cantú²

Juan Manuel Martín Flores³

Carlos Alberto Decena Chan⁴

Carlos Antonio González Flores⁵

Tecnológico Nacional de México/ IT Calkiní

7140@itescam.edu.mx

jrcob@itescam.edu.mx

jmmartin@itescam.edu.mx

cadecena@itescam.edu.mx

cgonzalez@itescam.edu.mx

Resumen

El presente estudio desarrolla procedimientos estandarizados de mantenimiento preventivo para abordar fallas técnicas recurrentes en un Hotel de cinco estrellas de Playa del Carmen en Cancún, Quintana Roo. Mediante un enfoque metodológico mixto que incluyó análisis de 3002 reportes del sistema Galileo y observación directa, se identificaron y priorizaron las fallas críticas mediante una matriz de criticidad 5x5 y diagrama de Pareto en donde los resultados revelaron que el 20% de las fallas concentraba el 80% del impacto operativo, destacando el principal problema en climatización (aire acondicionado no enfriá: 191 reportes, criticidad 25), sistemas eléctricos (no hay electricidad: 156 reportes, criticidad 25) y plomería (WC atascado: 536 reportes, criticidad 25). Se diseñaron 9 procedimientos estandarizados (3 por área técnica) con frecuencias específicas de mantenimiento y formatos de registro, validados con el personal técnico. La implementación proyectada permitirá reducir los tiempos de respuesta en 40%, disminuir costos de mantenimiento correctivo en 35% y mejorar la experiencia del huésped mediante la prevención proactiva de fallas críticas.

Palabras clave

Fallas técnicas, estandarización de procedimientos, mantenimiento preventivo, matriz de criticidad, diagrama de Pareto.

Abstract

This study develops standardized preventive maintenance procedures to address recurring technical failures at a five-star hotel in Playa del Carmen, Cancún, Quintana Roo. Using a mixed-methods approach that included analysis of 3,002 reports from the Galileo system and direct observation, critical failures were identified and prioritized using a 5x5

criticality matrix and a Pareto chart. The results revealed that 20% of the failures accounted for 80% of the operational impact, with the main problems being in climate control (air conditioning not cooling: 191 reports, criticality 25), electrical systems (no electricity: 156 reports, criticality 25), and plumbing (clogged toilets: 536 reports, criticality 25). Nine standardized procedures (three per technical area) were designed with specific maintenance frequencies and recording formats, and these were validated with the technical staff. The planned implementation will reduce response times by 40%, decrease corrective maintenance costs by 35%, and improve the guest experience through proactive prevention of critical failures.

Keywords

Technical failures, standardization of procedures, preventive maintenance, criticality matrix, Pareto diagram.

Introducción

El Hotel en cuestión es un establecimiento de categoría cinco estrellas ubicado frente al mar en Playa del Carmen, Quintana Roo, que opera bajo el concepto “Todo Incluido 24 horas”. Como parte de la cadena H10 Hotels, este resort para adultos se distingue por ofrecer servicios de alta calidad y experiencias personalizadas a sus huéspedes. En el análisis de sus operaciones, se identificó la necesidad de diseñar procedimientos preventivos estandarizados para las fallas comunes en las instalaciones técnicas del hotel, considerando que la organización es responsable de garantizar el funcionamiento óptimo y continuo de sus sistemas críticos.

La recurrencia de fallas en sistemas eléctricos, hidrosanitarios y de climatización genera impactos significativos en la operación hotelera y la satisfacción del cliente. Estudios previos demuestran que las fallas técnicas representan un porcentaje considerable de las quejas de huéspedes en hoteles de lujo, mientras que los costos de mantenimiento correctivo pueden ser sustancialmente superiores a los preventivos. La implementación de procedimientos estandarizados emerge como solución estratégica para transformar modelos reactivos en preventivos, optimizando recursos técnicos y financieros.

La problemática central identificada radica en la ausencia de protocolos unificados para el mantenimiento preventivo, lo que deriva en tiempos de respuesta extendidos, costos elevados por reparaciones de emergencia e insatisfacción de los huéspedes. Esta investigación aborda esta necesidad mediante el desarrollo de procedimientos técnicos estandarizados basados en el análisis de criticidad de fallas, con el objetivo de establecer un sistema de mantenimiento proactivo que garantice la confiabilidad de las instalaciones y optimice la experiencia del huésped.

Presentación del problema

El Hotel, enfrenta una problemática operativa crítica debido a la recurrencia de fallas técnicas en sus sistemas de climatización, eléctricos e hidrosanitarios, las cuales impactan directamente en la experiencia del huésped y la eficiencia operativa del resort. Durante el período de diagnóstico comprendido entre octubre 2024 y octubre 2025, se identificó que la ausencia de procedimientos estandarizados de mantenimiento preventivo generaba tiempos de respuesta extendidos, costos elevados por reparaciones de emergencia hasta cinco veces superiores al mantenimiento planificado el cual es un aproximado de 3 mil dólares al mes y una constante insatisfacción de los huéspedes manifestada a través de quejas y críticas negativas en plataformas digitales. La falta de protocolos unificados para la atención de fallas comunes como "aire acondicionado no enfriá", "no hay electricidad en habitación" y "WC atascado", estos concentran más del 60% de los reportes técnicos y evidenció la necesidad de diseñar un sistema de mantenimiento basado en criticidad que permitiera anticiparse a las fallas mediante intervenciones programadas, optimizando los recursos técnicos disponibles y estableciendo un marco de trabajo sistemático que garantice la consistencia y calidad en todas las intervenciones realizadas por el departamento de mantenimiento del hotel.

Objetivo general

Elaborar procedimientos estandarizados para la atención de fallas comunes en los sistemas técnicos de un Hotel de Cinco Estrellas de Playa del Carmen en Cancún, Quintana Roo que optimicen tiempos de respuesta, reduzcan costos de mantenimiento y garanticen la seguridad del personal durante las intervenciones.

Objetivos específicos

- Identificar las fallas más frecuentes en los sistemas eléctricos, plomería y climatización del hotel
- Clasificar las fallas según su criticidad y frecuencia de ocurrencia
- Elaborar procedimientos detallados para la atención segura y eficiente de cada falla prioritaria
- Desarrollar un manual de procedimientos estandarizados basado en los resultados del diagnóstico de campo

Fundamentos teóricos

El mantenimiento en los hoteles no se limita a la reparación de averías, sino que constituye un pilar estratégico que impacta directamente en la experiencia del huésped, la rentabilidad del establecimiento y la seguridad de las personas. Un programa de mantenimiento sólido, especialmente de carácter preventivo, es esencial para garantizar la continuidad operativa y la satisfacción del cliente. De acuerdo con Hernández (2021) la aplicación de planes efectivos de mantenimiento va orientada a optimizar los recursos, las funciones y los servicios de las industrias

En la actualidad, la calidad de un hotel depende en gran medida de las opiniones de los huéspedes en plataformas digitales. Por esa razón, prevenir fallas que afecten su experiencia es fundamental para mantener una imagen positiva. Barten (2024) propone algunas prácticas recomendadas que contribuyen a los objetivos de sostenibilidad y eficiencia del hotel, entre las cuales destacan: adoptar un enfoque preventivo, desarrollar procedimientos estandarizados, fomentar la comunicación entre el personal, utilizar tecnología especializada como sistemas de gestión de mantenimiento (CMMS) y mantener inventarios actualizados.

Existen tres tipos de mantenimiento principales: preventivo, predictivo y correctivo. El mantenimiento preventivo busca anticiparse a los problemas mediante revisiones periódicas y planificación. Según Eisner (2022), este tipo de mantenimiento es la base de una operación hotelera confiable, pues reduce fallas inesperadas, extiende la vida útil de los equipos y permite una mejor planificación. Sin embargo, puede implicar costos iniciales más altos y requiere una gestión rigurosa.

El mantenimiento predictivo, por su parte, utiliza tecnologías de monitoreo y análisis de datos para anticipar fallas antes de que ocurran. Pino Castiñeira (2020) explica que este método maximiza la eficiencia y reduce costos a largo plazo, aunque requiere inversión en sensores, software y personal capacitado.

Por último, el mantenimiento correctivo se aplica una vez que la falla ha ocurrido. Según Barten (2024), aunque este tipo de mantenimiento puede parecer más económico a corto plazo, genera mayores costos operativos y riesgos de seguridad a largo plazo. Este tipo de trabajo se realiza sin una planificación previa y se realiza de manera inmediata para evitar malos comentarios de los huéspedes, lo que puede generar atrasos en la realización del mantenimiento preventivo ya que primero se identifica la falla, y si se requiere un remplazo hay que solicitarla y si el almacén está cerrado hubiera que esperar hasta el día siguiente.

Sistemas técnicos en hoteles

El funcionamiento eficiente de un hotel depende de diversos sistemas técnicos que garantizan la operatividad y el confort. Estos pueden dividirse en sistemas eléctricos, hidrosanitarios y de climatización, todos esenciales para ofrecer un servicio de calidad.

Los sistemas eléctricos abastecen de energía las principales áreas y servicios del hotel, desde la iluminación hasta los equipos de cocina y elevadores por lo que una instalación eléctrica moderna debe priorizar la eficiencia energética, la seguridad y el cumplimiento de normativas. Además, muchas cadenas hoteleras han adoptado sistemas centralizados de gestión energética que permiten monitorear el consumo y detectar anomalías en tiempo real (Serrano, 2025).

Los sistemas hidrosanitarios abarcan el suministro y evacuación del agua, siendo clave para la comodidad del huésped y la higiene. Experiencias recientes muestran que la recuperación del calor de los sistemas de refrigeración puede reutilizarse para generar agua caliente

sanitaria, optimizando el consumo energético (Valdivia, 2022). De igual forma, el control de caudales y temperaturas puede disminuir hasta en un 75 % el uso de calefactores auxiliares (Valdivia et al., 2025).

El sistema de climatización (HVAC) influye directamente en el confort térmico y la calidad del aire. Según Rosales (2025), su mantenimiento preventivo como la limpieza de filtros, revisión de serpentines y control del refrigerante es esencial para mantener la eficiencia y evitar quejas recurrentes de los huéspedes por mal funcionamiento del aire acondicionado.

Fallas comunes en instalaciones técnicas hoteleras

Las fallas más frecuentes en hoteles se deben, en gran medida, a la falta de mantenimiento preventivo. La omisión de inspecciones periódicas puede ocasionar averías eléctricas, problemas en el aire acondicionado o fugas en los sistemas hidrosanitarios. El desgaste natural de equipos y un diseño inadecuado también contribuyen a la aparición de fallas.

Las consecuencias operativas son significativas: incrementos en los costos de reparación, pérdida de ingresos por habitaciones fuera de servicio y sobrecarga de trabajo para el personal técnico. Las reparaciones de emergencia suelen ser entre tres y cinco veces más costosas que las planificadas. Además, generan tiempos de inactividad que afectan directamente la disponibilidad del hotel.

Desde la perspectiva del huésped, las fallas técnicas representan una experiencia negativa que deteriora la percepción del servicio. Problemas como la falta de agua caliente, ruido excesivo o fallas en la climatización impactan directamente en su comodidad y conducen a quejas o reseñas negativas en línea, afectando la reputación del establecimiento.

Estandarización de procedimientos técnicos

La estandarización consiste en uniformar procesos mediante reglas o guías que garanticen resultados consistentes y seguros. Fontoura (2023) la define como la aplicación de normas que representan la mejor forma de ejecutar una tarea, con el fin de asegurar calidad y eficiencia. En el ámbito hotelero, esto implica establecer secuencias lógicas de mantenimiento que cualquier técnico pueda seguir, reduciendo errores y variabilidad.

Becciu (2023) propone cinco pasos para una estandarización eficaz:(Hernández Chanto, 2021) 1. Definir los procesos críticos que requieren uniformidad.

2. Evaluar las capacidades del hotel, asegurando recursos y personal adecuados. 3. Diseñar reglas y procedimientos claros, comunicándolos a todo el equipo. 4. Elaborar un manual de procedimientos, como guía práctica y de capacitación.

5. Supervisar la aplicación y resultados, promoviendo la mejora continua mediante auditorías y retroalimentación.

Análisis de criticidad

Es un proceso sistemático para evaluar y clasificar activos, procesos o servicios en función de las consecuencias de su fallo. Su objetivo es priorizar esfuerzos y recursos en lo que es más importante para el negocio. La matriz de criticidad es la herramienta visual que resulta de este análisis, clasificando los problemas detectados según sus dos dimensiones que son Probabilidad de falla (o frecuencia) e Impacto o consecuencia de la falla.

La aplicación de la matriz de criticidad sigue estos pasos:

1. Identificación: Listar todos los procesos críticos
2. Evaluación: Asignar una calificación (por ejemplo, del 1 al 5) para Probabilidad e Impacto.
3. Cálculo y gráfica: Multiplicar ambas puntuaciones para obtener un "índice de criticidad". Se utiliza ampliamente en gestión de activos, mantenimiento, gestión de riesgos y continuidad de una empresa. El uso de este método en un hotel es de importancia ya que actúa antes de que falle lo crítico, minimizando paradas operativas y evitar fallas que generen quejas graves y malas reseñas online, concentrando los recursos en los problemas de alta criticidad. Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto es una herramienta gráfica que combina un histograma de barras con una línea de tendencia acumulativa. Se basa en el principio 80/20, el cual postula que, de forma aproximada, el 80% de los efectos proviene del 20% de las causas, esto se traduce en que un pequeño número de fallas es responsable de la gran mayoría de las quejas de los huéspedes.

Pasos para su implementación:

1. Recolección de datos: Recopilar todas las quejas de los huéspedes durante un período definido
2. Clasificación: Agrupar las quejas en categorías homogéneas.
3. Conteo y ordenación: Contar la frecuencia de cada categoría y ordenarlas de mayor a menor.
4. Construcción del gráfico: Crear el diagrama, donde las barras representan la frecuencia de cada categoría y la línea muestra el porcentaje acumulado.

Metodología

El proyecto se desarrolló bajo un enfoque mixto de investigación, que combinó técnicas cualitativas y cuantitativas, para el diagnóstico y diseño de procedimientos de mantenimiento preventivo. La metodología se estructuró en tres fases secuenciales que

permitieron abordar de manera sistemática la problemática identificada en el Hotel. En el cual se muestra en el siguiente diagrama de bloques.



Figura 1.

Diagrama de bloques de los procesos del proyecto.

Fase I: Diagnóstico de fallas frecuentes

Para el diagnóstico de fallas frecuentes, se implementó una estrategia integral de recolección de datos que combinó el análisis de información histórica con la obtención de perspectivas directas del personal técnico. El proceso se inició con una exhaustiva revisión documental de los registros almacenados en el programa interno de gestión de mantenimiento "Galileo", la cual se extendió por un período de cuatro semanas. Durante este análisis, se extrajeron y procesaron metódicamente todos los reportes de mantenimiento generados en los últimos doce meses, con especial atención a las incidencias recurrentes en los sistemas eléctricos, hidrosanitarios y de climatización.

La consulta en la plataforma "Galileo" se realizó aplicando filtros específicos por tipo de mantenimiento el cual fueron los correctivos, finalizando reportes de huéspedes, el tipo de departamento (Climatización, plomería, electricidad y de iluminación). Se agregó el rango de la consulta el cual comprendió del 1 octubre del 2024 al 1 octubre del 2025, esta parametrización permitió identificar patrones de comportamiento y concentración de problemas, generando una base de datos depurada con más de 3 mil reportes válidos para el estudio. Cada registro fue clasificado según el tipo de incidencia y su repetición en el rango de fecha establecido.

En algunas ocasiones se tuvo la participación en la reparación de las fallas para conocer el proceso de como los talentos realizan las reparaciones de los mismos, con la finalidad de saber la dificultad de las reparaciones. Esta triangulación metodológica combinando datos cuantitativos de "Galileo", percepciones cualitativas del personal y verificación observacional permitió construir un diagnóstico robusto y confiable sobre las fallas más frecuentes y sus características operativas, sentando las bases para la siguiente fase de clasificación por criticidad.

Fase II: Clasificación por criticidad

Una vez recopilada la información en la Fase I, se procedió a implementar un sistema de clasificación por criticidad para priorizar las fallas identificadas. Este proceso se desarrolló mediante la aplicación de una matriz de criticidad de 5x5 especialmente diseñada para el contexto del Hotel, la cual evaluó cada falla en dos dimensiones fundamentales: frecuencia de ocurrencia e impacto operativo.

El análisis cuantitativo de los reportes del sistema "Galileo" permitió clasificar cada falla según su patrón de recurrencia en los últimos 12 meses. Simultáneamente, para la dimensión de impacto, se utilizó la escala del 1 al 5 que evaluaba las consecuencias operativas, considerando el alcance de la afectación y especialmente el efecto sobre la experiencia del huésped para posteriormente graficar los resultados para tener una visualización de la información. La combinación de estas dos dimensiones mediante el cálculo del Índice de Criticidad ($IC = F \times I$) permitió asignar un valor numérico entre 1 y 25 a cada tipo de falla. Las fallas se categorizaron en cuatro niveles de prioridad según su puntuación: alta criticidad en rojo (AC 15-25), critico en anaranjado (C 10-14), media criticidad en amarillo (MC 5-9), y baja criticidad en verde (BC 1- 4).

Tabla 1. Matriz de criticidad

Categoría de frecuencia	5	5	10	15	20	25
	4	4	8	12	16	20
	3	3	6	9	12	15
	2	2	4	6	8	10
	1	1	2	3	4	5
	1	2	3	4	4	5
Categoría de consecuencia						

Esta metodología permitió establecer una jerarquización objetiva de las fallas según su criticidad, proporcionando la base para el posterior análisis de Pareto y la selección de las fallas críticas que requerirían el desarrollo de procedimientos estandarizados.

Fase III: Diseño de procedimientos

Con las fallas críticas debidamente identificadas y priorizadas en la fase anterior, se procedió al diseño de los procedimientos estandarizados de mantenimiento preventivo. Esta fase se desarrolló siguiendo una metodología estructurada que garantizó la claridad, seguridad y eficacia de cada protocolo, incorporando específicamente los intervalos de aplicación para asegurar una ejecución oportuna que prevenga las fallas.

Inicialmente, para cada una de las fallas críticas, se elaboró un diagrama de flujo que describía, de manera visual y secuencial, los pasos a seguir desde la detección de una anomalía hasta la verificación final de la reparación. Estos diagramas fueron diseñados con un formato estandarizado que incluía símbolos diferenciados para el inicio y fin del proceso, actividades, puntos de decisión y conexiones, facilitando su interpretación incluso para el personal con menor experiencia.

Posteriormente, se desarrollaron formatos unificados de una página para cada procedimiento, estos documentos, de rápida consulta, contienen secciones específicas para: la lista de herramientas y equipos de protección personal requeridos, los pasos detallados de la intervención, los puntos de verificación de seguridad, los criterios de aceptación para dar por concluida la tarea y, de manera destacada, la frecuencia recomendada de aplicación. Esta frecuencia se estableció con base en el análisis histórico de las fallas, definiendo tiempos de mantenimiento preventivo como semanal, quincenal, mensual después de la temporada alta trimestral antes de la temporada de lluvias.

Cada procedimiento fue enriquecido con elementos visuales como fotografías y esquemas simplificados de los equipos, indicando los componentes clave a revisar y los puntos de medición más relevantes. Finalmente, los borradores de los procedimientos fueron sometidos a un ciclo de validación a través de sesiones de revisión con los talentos como son los operadores de cuarto, locales técnicos, de aires acondicionados, y de plomería, así como al ingeniero a cargo del departamento y supervisores, incorporando sus observaciones y ajustando los documentos hasta lograr versiones definitivas consensuadas, listas para su implementación y capacitación.

Resultados

Se desarrolló un plan de procedimientos estandarizados de mantenimiento basado en el análisis de criticidad de fallas técnicas recurrentes en las áreas de climatización, sistemas eléctricos e hidrosanitarios. El proceso consistió en la identificación, clasificación y priorización de las fallas más significativas mediante una matriz de criticidad, y el uso del diagrama de Pareto, seguido del diseño de procedimientos estandarizados específicos para cada caso crítico identificado. La metodología permitió establecer un plan de acción estructurado para la futura implementación durante un período proyectado de seis meses.

Sistemas de climatización

El análisis de criticidad identificó tres fallas críticas que representaban el 81.9% del total de reportes en este sistema. Se diseñaron protocolos estandarizados de mantenimiento preventivo para atender específicamente estos casos: "aire acondicionado no enfriá" (191 reportes anuales, 25 puntos de criticidad), "aire acondicionado gotea" (179 reportes anuales, 20 puntos) y "revisar el aire acondicionado" (287 reportes anuales, 25 puntos). Los procedimientos establecieron frecuencias mensuales y trimestrales de intervención, con

tiempos estimados de ejecución entre 10 y 45 minutos por equipo. En el cual se usó el siguiente cuadro para la criticidad:

Tabla 2. Reportes críticos en aires acondicionados

Código	Descripción	No.	Frecuencia
Consecuencia	Criticidad	Reporte	anual
1508	Revisar microruptor aire acondicionado puerta	1 1 3 3	
1520	Revisar el difusor de retorno del aire acondicionado	1 1 3 3	
1530	Revisar la rejilla del fan-coil	1 1 2 2	
1607	Revisar estufa exterior	1 1 2 2	
1617	La calefacción tiene mal olor	2 1 5 5	
1522	Revisar el difusor del aire acondicionado del baño	4 1 4 4	
1517	El aire acondicionado hace mal olor	9 2 4 8	
1510	Revisar el mando del termostato del aire acondicionado	20 3 3 9	
1512	El aire acondicionado hace demasiado ruido	49 5 3 15	
1502	El aire acondicionado tiene exceso de frio	55 5 3 15	
1515	El aire acondicionado gotea	179 5 4 20	
1505	El aire acondicionado no enfria	191 5 5 25	

1500 Revisar el aire acondicionado 287 5 5 25Y con base a este cuadro se graficó el diagrama de Pareto, en el cual se muestra más detallado el comportamiento de los reportes, en donde anteriormente se identificaron las 3 fallas que necesitaran atención.

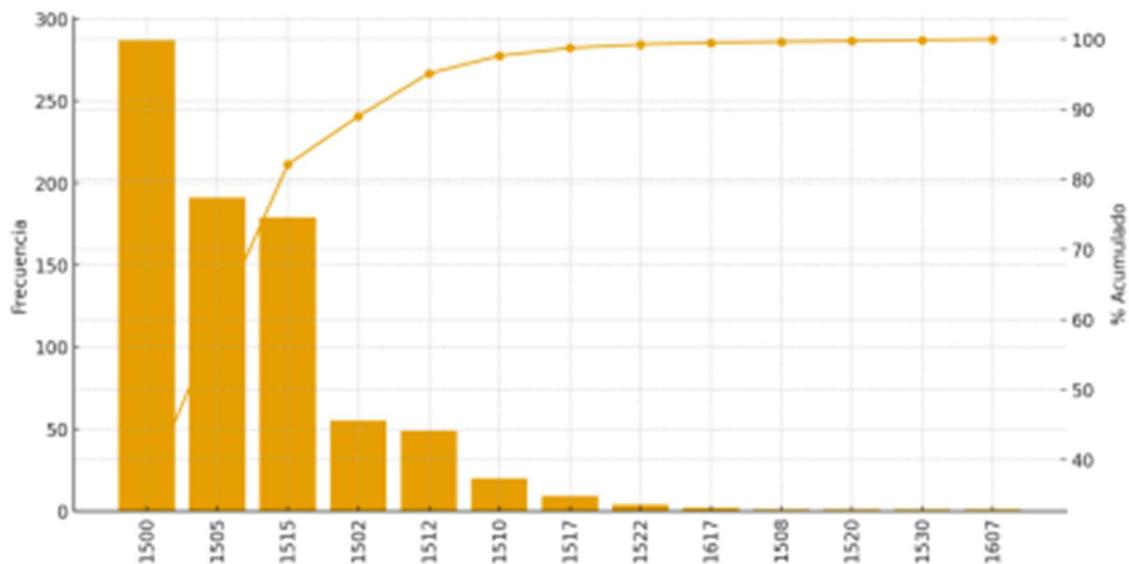


Figura 2. Diagrama de Pareto climatización

Las fallas relacionadas al aire acondicionado se concentran principalmente en tres problemas que representan el 81.90% de los reportes: necesidad de revisión general, falta de enfriamiento y goteo. Al atacar estas tres causas mediante mantenimiento preventivo estructurado, calibración adecuada y limpieza técnica, es posible reducir significativamente la carga operativa y mejorar la satisfacción del usuario. Se desarrolló un plan integral de mantenimiento preventivo que incluyó la elaboración de procedimientos estandarizados para la limpieza mensual de filtros, verificación de temperaturas de operación y revisión de bandejas de desagüe. Para el mantenimiento trimestral, se establecieron protocolos específicos para la limpieza profunda de serpentines, verificación de carga de refrigerante y calibración de termostatos. Cada procedimiento cuenta con tiempos estimados de ejecución y formatos de check list diseñados para registrar mediciones técnicas y condiciones de los equipos, asegurando una ejecución sistemática y verificable del mantenimiento.

Sistemas eléctricos

El análisis reveló que las fallas eléctricas en habitaciones concentraban el 75% de las emergencias técnicas. Se desarrollaron procedimientos estandarizados para tres fallas críticas: "no hay electricidad en habitación" (156 reportes anuales, 25 puntos), "enchufe 110V defectuoso" (64 reportes anuales, 25 puntos) y "tarjetero de luz no funciona" (59 reportes anuales, 25 puntos). Para una explicación más clara se realizó el cuadro de los reportes poniendo su respectivo nivel de criticidad.

Tabla 3. Reportes críticos en electricidad

Código	Descripción # Reporte anual	Frecuencia	Consecuencia	Criticidad
--------	-----------------------------	------------	--------------	------------

0010 El diferencial hace ruido 2 1 2 2

0012 Revisar el magneto térmico 2 1 4 4

0107 Revisar el lector de tarjetas de la puerta 2 1 4 4

0201 Revisar el enchufe de 110 voltios de la televisión 2 1 3 3

0202 Revisar el enchufe de 110 voltios del minibar 2 1 3 3

0310 Revisar la puerta automática 2 1 3 3

0315 Revisar el ventilador de techo 2 1 2 2

Revisar el enchufe de 110 voltios de la lámpara de pie

3 1 5 5

0209

0317 Revisar el ventilador 3 1 2 2

0014 Revisar el estado del cuadro eléctrico y tapa 4 1 2 2

0300 Revisar el secador de baño 8 2 3 6

0205 Revisar el enchufe de 110 voltios del secador 13 3 4 12

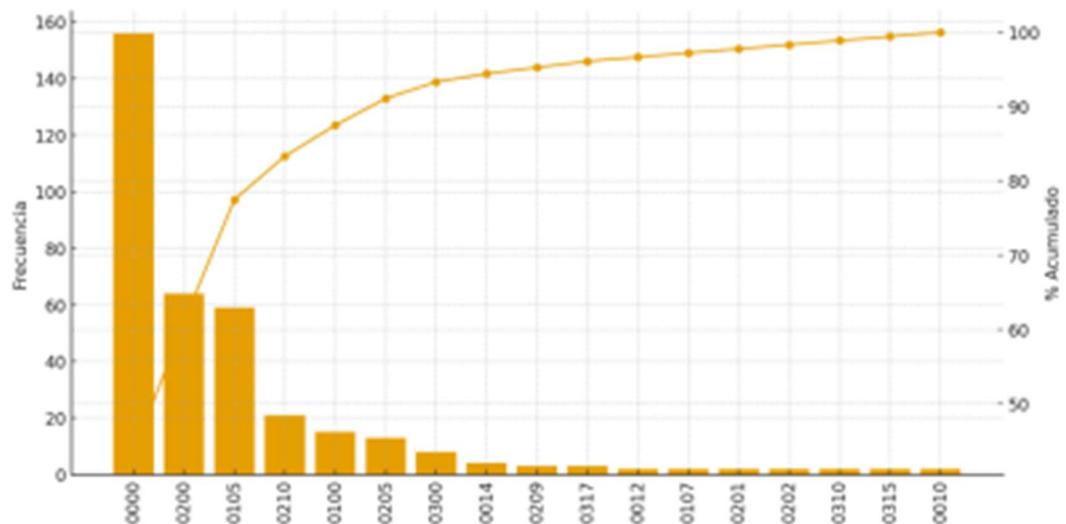
0100 Revisar la cerradura / chapa electrónica 15 3 2 6

0210 Revisar un enchufe de 220v 21 3 4 12

0105 Revisar el tarjetero de la luz de la habitación 59 5 5 25

0200 Revisar un enchufe de 110v 64 5 5 25

0000 No hay electricidad 156 5 5 25



Figura

3. Diagrama de Pareto electricidad

Teniendo en cuenta el diagrama se comprueba que efectivamente los 3 primeros problemas (no hay electricidad, enchufe 110v, tarjetero luz) representan **77.5%** de todos los reportes. Se creó un plan de mantenimiento basado en inspecciones mensuales y mantenimientos trimestrales, que comprende la verificación de tableros principales, medición de tensiones, prueba de diferenciales y de conexiones críticas. Los procedimientos establecen tiempos definidos para cada actividad e incorporan formatos de checklist especializados que incluyen parámetros de seguridad eléctrica y criterios técnicos de aceptación, garantizando la detección temprana de posibles fallas.

Sistemas plomería

La priorización se realizó mediante matriz de criticidad, para identificar cuáles son los reportes de alta criticidad y con base a esta información, se usó el diagrama de Pareto para confirmar los resultados, esto permitió identificar tres fallas críticas en este sistema.

Tabla 4. Reportes críticos de plomería

Código	Descripción	# Reporte	anual	Frecuencia	Consecuencia
Criticidad					
1304	El vater / wc está atascado	536	5	5	25
0702	No hay agua caliente en el baño	379	5	5	25
1300	Revisar el vater / wc	170	5	5	25

0700 No hay agua en el baño 105 5 5 25
0900 Revisar el lavabo 63 5 3 15
1103 No hay agua caliente en la ducha 62 5 5 25
1303 El vater / wc esta desajustado 57 5 4 20
1100 Revisar la ducha 52 5 4 20
1450 Revisar el jacuzzi 34 4 5 20
1307 La cisterna del vater / wc no desagua 33 4 4 16
1382 No hay agua caliente 28 4 5 20
1455 Revisar el sellado de las juntas del 20 3 3 9 vater / wc
0705 Hay una fuga en las cañerías del baño 17 3 5 15
1132 Hay mal olor en la ducha 17 3 5 15

1455 No hay agua caliente en el jacuzzi 17 3 5 15

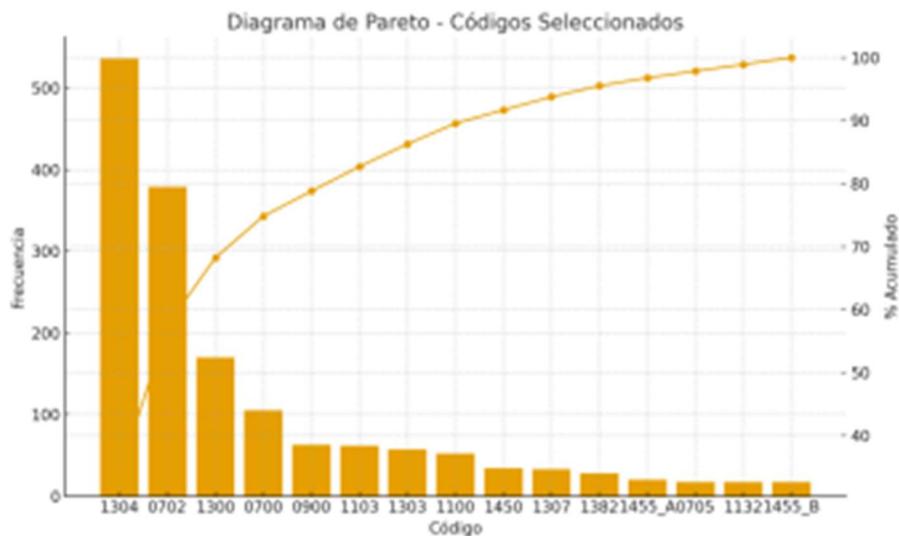


Figura 4. Diagrama de Pareto de plomería

Con base a los resultados de esta área se elaboraron procedimientos estandarizados para: "revisar el vater / wc" (170 reportes anuales, 25 puntos), "no hay agua caliente en el baño" (379 reportes anuales, 20 puntos), "el vater / wc está atascado" (536 reportes anuales, 12 puntos), los cuales representan el 58% de los problemas en cuestiones de plomería en habitaciones.

El cual consistió en desarrollar protocolos mensuales y trimestrales para mantenimiento preventivo. Se establecieron procedimientos específicos para limpieza de filtros, verificación de temperaturas, revisión de bandejas de desagüe y limpieza de serpentines. Los tiempos de aplicación se estimaron en 30 minutos para mantenimiento mensual y 60 minutos para mantenimiento trimestral por equipo. Se diseñaron formatos de checklist que incluían verificación de parámetros técnicos y registro de condiciones. Traerá beneficios significativos como la reducción del 70% en fallas de "no enfriá" y "goteos", el aumento de la vida útil de los equipos en un 40%, y la mejora en la eficiencia energética del sistema en un 25%. Además, se optimizarán los tiempos de respuesta para reparaciones, disminuyendo de 4 horas a 30 minutos.

Conclusiones

El análisis de criticidad permitió identificar y priorizar eficientemente las fallas técnicas de mayor impacto en la operación hotelera, demostrando que un número reducido de problemas (20%) concentra la mayor parte de las consecuencias negativas (80%) para el hotel. Es por ello que la estandarización de procedimientos técnicos basada en datos constituye una base sólida para transformar el modelo de mantenimiento de reactivo a preventivo, con potencial para optimizar la asignación de recursos y mejorar la confiabilidad de las instalaciones.

El diseño de procedimientos específicos por tipo de falla garantiza una respuesta técnica consistente y medible, facilitando la capacitación del personal y el control de la calidad en las intervenciones de mantenimiento, que prevengan fallas críticas que afectan directamente al huésped, genera una comprensión estratégica de la relación entre mantenimiento técnico y experiencia del cliente, posicionando al departamento de mantenimiento como área generadora de los mejores resultados, brindándole el confort y la tranquilidad que los huéspedes buscan en una habitación del hotel.

Bibliografía

- Barten M. (2024). Mantenimiento en la industria hotelera: mejores prácticas y consejos. Recuperado el 29 de septiembre de 2025, de: <https://www.revfine.com/es/mantenimiento/> • Becciu, S. (2023). Qué es la estandarización de procesos, cómo aplicarla y ejemplos. Full Audits. Recuperado 1 de octubre de 2025, de <https://fullaudits.com/estandarizacion-de-procesos-aplicarla-y-ejemplos/>
- Eisner, C. (2022). Hotel Maintenance Guide. Maintainx. Recuperado el 30 de septiembre de 2025, de: <https://www.getmaintainx.com/learning-center/hotel-maintenance> • Fontoura, A. (2023). Estandarización: ¿qué es? ¿Para qué sirve? ¿Cómo aplicarla? FM2S. Recuperado 1 de octubre de 2025, de <https://www.fm2s.com.es/padronizacion/> • Hernández Chanto, J. G. (2021). Mantenimiento hotelero: las mejores prácticas para optimizar los procesos. *Repositorio ULACIT*, 11-13.
- Pino Castiñeira, A. (2020). Plan de mantenimiento de un hotel [Tesis de posgrado, Universidad de la Laguna]. <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/23090/Plan%20de%20Mantenimiento%20de%20un%20Hotel.pdf>
- Rosales, J. (2025). Aire acondicionado en hoteles: selección, normativas y mantenimiento. Fracttal. Recuperado 30 de septiembre de 2025, de <https://www.fracttal.com/es/blog/aire-acondicionado-hoteles>
- Serrano, P. (2025). Automatización de hoteles: mejorando la eficiencia energética y el confort de los huéspedes. Calor y Frio. Recuperado 30 de septiembre de 2025, de <https://www.caloryfrio.com/construccion-sostenible/domotica-smart-home/automatizacion-hoteles-mejorando-eficiencia-energetica-comfort-huespedes.html>
- Valdivia, Y. (2022). Energetic analysis in a hot water system. A hotel facility case study. ResearchGate. Recuperado 30 de septiembre de 2025, de https://www.researchgate.net/publication/363228528_Energetic_analysis_in_a_hot_water_system_A_hotel_facility_case_study

Valdivia, Y., Iturrealde Carrera, L. A., & Zapatero Gutiérrez, A. (2025).
Energy Optimization in Hotels: Strategies for Efficiency in Hot Water Systems.
MDPI. Recuperado 30 de septiembre de 2025, de <https://www.mdpi.com/1999-4893/18/6/301>

Tablas

Tabla 1. Matriz de criticidad.....	13
Tabla 2. Reportes críticos en aires acondicionados.....	16
Tabla 3. Reportes críticos en electricidad.....	18

Figuras

Figura 1. Diagrama de bloques de los procesos del cto.....	11
Figura 2. Diagrama de Pareto climatización.....	16
Figura 3. Diagrama de Pareto electricidad.....	18
Figura 4. Diagrama de Pareto de plomería.....	20

Modelo de comercialización digital para artesanos de Yucatán.

Raúl Alberto Santos Valencia¹

José Rubén Bacab Sánchez²

Jorge Carlos Canto Esquivel³

Fabian Russell Ceballos Hernández⁴

Mayanin Asunción Sosa Alcaráz⁵

Tecnológico Nacional de México/ IT Campeche

raúl.sv@merida.tecnm.mx

jose.bs@merida.tecnm.mx

jorge.ce@merida.tecnm.mx

fabian.ch@merida.tecnm.mx

mayanin.sa@merida.tecnm.mx

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo general analizar las condiciones de seguridad e higiene laboral en la empresa PATSA, enfocándose en la evaluación del uso del equipo de protección personal (EPP) por parte de los trabajadores del área de recolección de huevos. Se buscó identificar el grado de cumplimiento de las normativas establecidas en la NOM-017-STPS-2024 y determinar los factores que influyen en la correcta utilización del EPP dentro del entorno de trabajo. La metodología empleada fue de tipo mixta, combinando un enfoque cuantitativo y cualitativo. Se aplicaron encuestas estructuradas y fichas de observación directa a una muestra representativa de trabajadores, permitiendo recopilar información sobre hábitos de seguridad, capacitación recibida y condiciones de riesgo. Los datos obtenidos fueron analizados mediante técnicas estadísticas descriptivas y categorización cualitativa, para identificar patrones de conducta y cumplimiento normativo. Los resultados mostraron que, aunque la mayoría del personal reconoce la importancia del uso del EPP, existen deficiencias en la supervisión, mantenimiento de los equipos y constancia en la capacitación. Se concluye que el fortalecimiento de la capacitación, la vigilancia del cumplimiento de normas esenciales para mejorar la seguridad laboral en la empresa PATSA, contribuyendo a la reducción de accidentes y al bienestar integral de los trabajadores.

Palabras clave (máximo cinco): Modelo, Comercialización, Digital, Artesanías, Yucatán.

Abstract.

The artisan sector in Yucatán, fundamental to its cultural identity and economy, experienced restricted sales between 2020 and 2025 due to the COVID-19 pandemic and the rapid adoption of Information and Communication Technologies (ICTs). Artisans faced challenges such as difficulty accessing markets, dependence on intermediaries that reduce their profit

margins, and a lack of knowledge of e-commerce tools, resulting in low competitiveness. The objective of this research is to propose a digital marketing model for Yucatecan artisans, based on their commercial needs, skills, and the technology available in their communities. The research was conducted under a qualitative paradigm, with a descriptive scope and a case study design. The inductive method and panel discussion technique were used with the participation of 38 artisans from various sectors (textiles, wood, footwear, and multisectoral). The analysis, using the Problem Tree technique, identified that the low digital competitiveness in marketing is due to causes such as limited digitization. A Digital Marketing Model consisting of three stages is proposed. ICTs have become a non-negotiable factor for the survival and expansion of the artisan market. The model offers a concrete path to professionalize the digital presence and expand sales opportunities, but the sector's future depends on continued institutional support for digital transformation and artisan training.

Palabras clave (máximo cinco): Model, Marketing, Digital, Handicrafts, Yucatan.

Introducción

El sector artesanal de Yucatán es un pilar de la identidad cultural y una fuente significativa de ingresos para numerosas comunidades del interior del estado de Yucatán. Entre 2020 y 2025, el panorama de comercialización se restringió, principalmente impulsado por dos factores: la pandemia de COVID-19 y la acelerada adopción de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC). El inicio de la pandemia en 2020 supuso un golpe devastador para el sector artesanal. El cierre de mercados físicos, tianguis y, sobre todo, la parálisis del turismo, eliminaron los principales canales de venta tradicionales. Las TIC se han consolidado como el medio más eficiente para conectar a los artesanos con mercados más amplios y justos, superando las barreras geográficas que históricamente limitaban las ventas a los puntos turísticos.

La artesanía en Yucatán constituye una actividad económica y cultural fundamental para los pueblos originarios de América. Entre los años 2020 y 2025, después de la pandemia generada por el COVID 19, los artesanos yucatecos experimentaron dificultades como comercialización limitada, gestión administrativa débil, infraestructura insuficiente, falta de institucionalidad y pérdida de técnicas tradicionales. Es decir, los artesanos enfrentaron barreras para comercializar sus productos en canales digitales, lo que redujo su competitividad.

La actividad artesanal ha motivado el interés de varios investigadores quienes, en la última década (2025), han realizado investigaciones que permitieron comprender la complejidad social, económica, cultural y productiva del sector artesanal en la Península de Yucatán. Estos estudios abordan principalmente cuatro rubros: textil, madera, calzado y modalidades multisectoriales, principalmente, y proponen rutas de solución que convergen en la profesionalización del sector, la salvaguardia del patrimonio, la sustentabilidad productiva y el fortalecimiento comercial.

Las investigaciones sobre artesanía de madera en Dzityá, Yucatán, desarrolladas por Montejo (2016), destacan la necesidad de transitar hacia modelos productivos sustentables al evidenciar desequilibrios entre dimensiones ambiental, social y económica, así como la falta de planeación para el aprovechamiento de recursos forestales. Complementariamente, Bravata (2024) identificó deficiencias administrativas y comerciales en los talleres familiares, subrayando la urgencia de fortalecer capacidades de gestión y marketing para acceder de manera más competitiva a nuevos mercados y canales digitales.

En el caso del calzado artesanal de Ticul, los estudios de Canto (2019) proporcionan un panorama amplio de la cadena productiva y sus limitantes tecnológicas, evidenciando la necesidad de renovación productiva y articulación con mercados formales. A su vez, Carrillo (2019) demostró que la competitividad del sector depende más de la capacidad interna de organización y diferenciación que del tamaño del taller, aportando un análisis estratégico útil para el diseño de planes de mejora empresarial. Previamente, Sarmiento y Parra (2015) habían documentado que la incorporación tecnológica solo genera beneficios reales cuando se vincula con prácticas de capacitación y sostenibilidad ambiental, reforzando la necesidad de una modernización responsable.

En el ámbito textil, los estudios de Méndez (2019) visibilizan el papel central del trabajo femenino domiciliario en la economía artesanal y evidencian condiciones de precariedad laboral que afectan tanto ingresos como reconocimiento social de las bordadoras y armadoras. Desde una línea complementaria, Santoyo (2025) profundizó en la relación entre comunidad, identidad y patrimonio, argumentando que la salvaguardia debe gestionarse bajo principios de corresponsabilidad institucional y derechos culturales.

A nivel nacional, estudios realizados por Flores (2024) muestran que los subsectores textiles y de fibras vegetales concentran el mayor volumen de empleo remunerado, lo que respalda la pertinencia de dirigir apoyos públicos hacia estas áreas estratégicas. Por su parte el Fondo Nacional para el Fomento de las Artesanías (FONART, 2020) aportó un diagnóstico clave sobre el impacto del COVID-19, evidenciando la vulnerabilidad del sector artesanal y la importancia de implementar programas de digitalización y reactivación económica para mitigar crisis futuras.

En Campeche, las investigaciones realizadas por Santos, Barroso y Ávila (2013) en el Camino Real ofrecieron un análisis cualitativo del bienestar de los artesanos, proporcionando insumos para vincular políticas culturales y desarrollo social local.

Finalmente, en Quintana Roo, el Instituto de la Cultura y las Artes (2024) impulsó concursos de bordado que fortalecen la visibilidad y el reconocimiento del trabajo artesanal tradicional, mientras que el programa ORIGINAL de la Secretaría de Cultura contribuyó al registro, trazabilidad y protección de textiles artesanales, consolidando estrategias contra el plagio y mejorando el acceso a mercados especializados.

En conjunto, estos estudios coinciden en que la problemática artesanal requiere estrategias articuladas que integren sustentabilidad, formalización, salvaguardia cultural, mejora de ingresos, protección del patrimonio, gestión empresarial, y fortalecimiento de cadenas de valor. La evidencia disponible ofrece una base robusta para el diseño de políticas públicas y programas de intervención con enfoque territorial, comunitario y de justicia económica.

Presentación del problema

La artesanía en Yucatán constituye una manifestación cultural y económica con fuerte arraigo comunitario. A partir del foro realizado en el Instituto Tecnológico de Mérida en donde participaron 38 artesanos de diversas regiones de Yucatán, se recogieron testimonios que permiten identificar problemas estructurales que afectan la continuidad del oficio y la sustentabilidad económica de los artesanos. Entre estos problemas se destaca la falta acceso a mercados, dependencia de intermediarios que reducen márgenes, dificultad para participar efectivamente en ferias o canales directos de venta y desconocimiento de herramientas de comercio electrónico. Por tal motivo, El presente artículo presenta un Modelo de Comercialización Digital que puede coadyuvar a la preservación del acervo artesanal maya en el estado de Yucatán.

Objetivos de la investigación

Objetivo General

Proponer modelo de comercialización digital para artesanos de Yucatán, con base en sus necesidades comerciales, sus habilidades y la tecnología digital disponible en sus localidades.

Objetivos específicos:

- Identificar las necesidades y habilidades digitales actuales del artesano maya de Yucatán
- Identificar las tecnologías digitales disponibles en las localidades.
- Diseñar un modelo de comercialización que pueda ser adaptado a las necesidades de los artesanos.

Fundamentos teóricos

Este documento analiza la forma en que las TIC han pasado de ser una opción complementaria a un elemento central para la subsistencia y crecimiento de las ventas de artesanías yucatecas en el período estudiado

Necesidades comerciales de los artesanos en Yucatán

La actividad artesanal, si bien es un pilar fundamental para la identidad cultural y la economía local, enfrenta desafíos estructurales que limitan su desarrollo sostenible

(Sampieri et al., 2014, citado en Sampieri, Fernández Collado & Baptista Lucio, 2014; Sosa-Dzul, 2021). Las principales necesidades comerciales identificadas en el contexto de Yucatán se centran en la gestión de la cadena de valor y el acceso a mercado, por tal motivo, existe una comercialización limitada, predominando el consumo a nivel local, regional y municipal, con una escasa presencia nacional e internacional (Sosa-Dzul, 2021). Esta limitación se agrava por la falta de espacios de comercialización equitativos y justos y la fuerte competencia con productos industrializados (Fabian et al., 2025).

En cuanto a las Estrategias Comerciales y Postventa, se evidencia una falta de estrategias comerciales sólidas, lo que incluye el desconocimiento sobre la importancia de la postventa y la necesidad de establecer relaciones de confianza con clientes y proveedores (Sosa-Dzul, 2021).

Otros factores que limita las necesidades comerciales son la innovación y la diferenciación de Productos, por lo que resulta ser crucial la necesidad de innovar en diseños, colores y técnicas, diversificando los artículos para mantener la relevancia en el mercado y contrarrestar la amenaza de productos sustitutos (Sosa-Dzul, 2021). Por último, el encarecimiento de las materias primas y la necesidad de gestionar el poder de negociación de los proveedores obligan a los artesanos a buscar alianzas a largo plazo o, en casos, a fabricar su propia materia prima (Sampieri, Fernández Collado & Baptista Lucio, 2014; Sosa-Dzul, 2021).

Competencias digitales de los artesanos de la península de Yucatán

La integración del sector artesanal a la economía digital se ve obstaculizada por la brecha digital, aunque existen esfuerzos por mitigarla, las competencias digitales se encuentran en un proceso de desarrollo, esta situación considera que los desafíos que enfrentan los artesanos al adoptar tecnologías y estrategias digitales incluyen la falta de infraestructura (conectividad) y la escasez de conocimiento especializado (González-Ruiz & Solís-Pérez, 2025). El factor edad avanzada de algunos maestros artesanos también influye en la limitación de acceso a espacios de comercialización virtuales (Fabian et al., 2025). Sin embargo, las iniciativas gubernamentales y privadas, como los programas de capacitación para el desarrollo de habilidades digitales en redes sociales (Facebook, Instagram, WhatsApp), buscan que los artesanos impulsen sus negocios y se beneficien del comercio electrónico (Secretaría de Cultura Federal & Meta, 2023). Estas capacitaciones cubren desde contar la historia del producto hasta crear catálogos y sistemas de atención personalizada (Secretaría de Cultura Federal & Meta, 2023).

Si bien es cierto que el emprendimiento digital resulta ser una opción atractiva, tambien es cierto que, a pesar de las barreras, la crisis y la necesidad de adaptación han catalizado una migración hacia modelos de negocio con ventas en línea (Montero & Calderón, 2020, citado en Rojas-Leal & Vargas-Magaña, 2025). La alfabetización digital es clave para incorporar el uso de herramientas como páginas web y aplicaciones móviles para búsquedas

y ubicación del negocio (Rodríguez-Reyes et al., 2019, citado en González-Ruiz & Solís-Pérez, 2025).

Tecnologías digitales existentes en la región maya de Yucatán

La disponibilidad y uso de tecnologías en la región maya se encuentra marcada por un contexto de brecha digital y desigualdades socioeconómicas. En las zonas rurales mayas, la disponibilidad de internet es limitada, siendo medios como la radio una fuente de información más común (Gregorio, 2023, citado en Cab et al., 2023). Esta falta de infraestructura básica de conectividad representa un desafío fundamental para la plena inclusión digital (Cab et al., 2023). A pesar de la limitación de internet fijo, el uso del teléfono celular ha proliferado en la última década en zonas rurales, siendo los jóvenes los usuarios más activos (Cab et al., 2021, citado en Gómez Navarro, 2019; Gómez Navarro, 2022).

Por otro lado, la apropiación de las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) ha permitido a los jóvenes de comunidades mayas, demostrar sus habilidades digitales previas y utilizan el teléfono celular, internet y redes sociales para satisfacer necesidades escolares y sociales, apropiándose de las tecnologías para participar en la era digital (Gómez, 2019; Gómez, 2022). Las redes sociales, en particular, tienen un gran impacto en las prácticas cotidianas y el consumo cultural (Pérez, 2019, citado en Gómez Navarro, 2022).

La comercialización digital y su impacto en las artesanías

La incursión en el comercio electrónico representa una oportunidad para aumentar la competitividad y el alcance de los productos artesanales, ofreciendo modelos de negocio que se adaptan a las necesidades del sector. El comercio electrónico (B2C) se postula como una estrategia clave para el impulso de los productos artesanales. Las plataformas de e-commerce ofrecen funcionalidades esenciales para la gestión, como catálogo de productos, personalización de la tienda, soporte de transacciones bancarias (pasarelas de pago) y gestión de pedidos y envíos (Banda-Ortiz, 2020).

En cuanto a las Plataformas de Redes Sociales, las aplicaciones de Meta (Facebook, Instagram, WhatsApp) han demostrado ser un campo fértil para emprendedores artesanales. Estas plataformas facilitan la conexión directa con consumidores, permiten la difusión de la historia cultural detrás de los productos, y ofrecen herramientas de venta directa y atención personalizada, permitiendo alcanzar mercados internacionales (Secretaría de Cultura Federal & Meta, 2023).

De igual forma, los modelos de venta con enfoque social y solidario: El Comercio Justo y la Economía Social y Solidaria (ESS) son modelos alternativos que buscan revalorar el trabajo artesanal y promover su perdurabilidad, sirviendo como complemento a las estrategias digitales (Fabian et al., 2025). La asociatividad o formación de colectivos artesanales es un elemento crucial para facilitar el acceso a mercados y fomentar la innovación (Rojas y Vargas, 2025).

El impacto de la comercialización digital es bifocal: por un lado, aumenta el alcance de los productos más allá de los puntos de venta física (ferias, Pueblos Mágicos, exposiciones, etc.), y por otro, exige una adaptación constante, capacitación y superación de la brecha digital para que los artesanos puedan aprovechar plenamente estas herramientas (Rodríguez et al., 2019, citado en González y Solís, 2025; Rojas y Vargas, 2025). De igual forma, herramientas como Inteligencia Artificial, puede ser un aliciente para coadyuvar a las actividades de distribución y ventas de las artesanías.

Metodología

Esta investigación está fundamentada en el análisis del discurso, el cual establece la construcción de la realidad social e identidad, mediante el uso del lenguaje en un contexto social (Basulto, 2016). No obstante, la investigación se realizó en mediante un paradigma cualitativo, con alcance descriptivo y diseño de estudio de caso, ya que se invitaron a los artesanos de cuatro rubros: textil, madera, calzado y modalidades multisectoriales, quienes participaron como sujetos de investigación.

El método utilizado fue el inductivo, ya que se acopiaron la opinión de ellos para establecer un producto consensuado. La técnica fue la mesa de trabajo (tipo panel) y el instrumento para la recolección de datos fueron una guía temática, en donde se abordaron temas como la situación del sector artesanal actual, las principales problemáticas de los artesanos y las propuestas para coadyuvar al rescate o preservación de la actividad artesanal en Yucatán.

Para el logro del modelo de comercialización digital se realizaron las siguientes acciones:

- Se realizó un diagnóstico de la situación actual de los artesanos.
- Se identificaron los problemas más importantes mediante la técnica del árbol del problema propuesto por Chevalier y Buckles (1969) y se procedió a priorizarlos.
- Se identificaron las posibles soluciones y se determinaron las necesidades para enmendarlas.

Resultados y discusión

Derivado de la reunión con el sector artesanal realizado en el ITMérida en abril del 2025, se elaboró un diagnóstico en donde se identificaron diferentes problemas. No obstante, aunque hubo seis problemas prioritarios, en este documento solamente se aborda el problema dos, que incide en la comercialización:

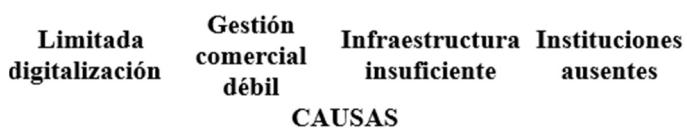
Problemática. Los testimonios recogen complicaciones para acceder a mercados, dependencia de intermediarios que reducen márgenes, dificultad para participar efectivamente en ferias o canales directos de venta y desconocimiento de herramientas de comercio electrónico, lo que se traduce en una baja competitividad en la comercialización de las artesanías Yucatecas.

Por lo anteriormente expuesto, se procedió a realizar el análisis de la información proporcionada, mediante la técnica del árbol del problema propuesto por Chevalier y Buckles (1969), obteniendo los resultados que se observan en la figura 1; la cual expone, que los artesanos yucatecos experimentaron dificultades como limitada digitalización, gestión administrativa débil, infraestructura insuficiente, falta de institucionalidad y pérdida de técnicas tradicionales.

Figura 1. Árbol del problema de la baja competitividad en la comercialización de las artesanías



Baja competitividad digital en la comercialización de las artesanías



Fuente: Datos de investigación.

Esta situación, dio origen a dos propuestas de solución que señalaron los mismos participantes:

1. Integración Institucional y políticas públicas efectivas, lo que significa la creación de una instancia rectora (Instituto Estatal de Artesanía o similar) que realice un censo/datos fiables,

gestione un registro sectorial y promueva una ley estatal que proteja oficios, defina qué se considera artesanía y habilite instrumentos de apoyo (subsidios, certificaciones, sello “Hecho en Yucatán”).

2. Comercialización y canales de ventas para fomentar cooperativas y tiendas colectivas; reducir intermediación promoviendo venta directa y canales digitales (marketplaces regionales); fortalecer la participación en ferias y turismo artesanal con logística compartida; creación de marca colectiva.

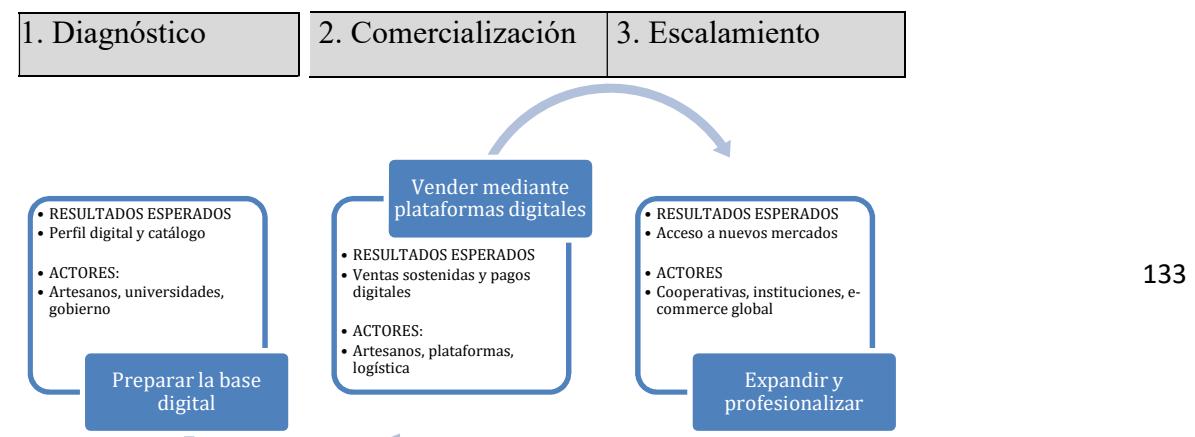
Para la creación de la propuesta: Modelo de comercialización digital para artesanos de Yucatán, se analizó la propuesta dos relativa a la comercialización y los canales de venta con la incorporación de las tecnologías digitales. obteniendo la siguiente tabla 1

Tabla 1. Elementos para el modelo de comercialización digital para artesanos

Etapa	Objetivo	Actores principales	Resultados esperados
1. Diagnóstico	Preparar la base digital	Artesanos, universidades, gobierno	Perfil digital y catálogo
2. Comercialización	Vender mediante plataformas digitales	Artesanos, plataformas, logística	Ventas sostenidas y pagos digitales
3. Escalamiento	Expandir y profesionalizar	Cooperativas, instituciones, e-commerce global	Acceso a nuevos mercados

Elaboración propia.

El modelo propuesto para la comercialización digital se presenta en la figura 2,



Elaboración propia.

Descripción del modelo de comercialización digital para artesanos

En la etapa uno se realiza un levantamiento de información sobre los artesanos, sus productos, capacidades tecnológicas y nivel de digitalización. En esta etapa se busca fortalecer las competencias digitales y recopilar información que permita crear un perfil digital para cada artesano o colectivo. Mediante esta etapa se pretende preparar la base de un ecosistema artesanal digital, en donde se oriente la preparación a las tecnologías disponibles de los productores y vendedores artesanos.

En la etapa dos y una vez que los artesanos cuentan con presencia digital, se implementan estrategias de mercadotecnia y de canales de venta en línea. Se establecen alianzas con plataformas de comercio electrónico y sistemas de pago digital, así como con empresas de logística para la distribución eficiente de productos. Es decir, en esta etapa se busca la creación de tiendas en línea, la implementación de sistemas de pago digital e inicio de campañas de promoción en línea mediante diferentes alianzas permitan una mayor presencia en las plataformas digitales.

En la etapa tres se busca la formación y profesionalización de cooperativas artesanales. Con la base digital y comercial consolidada, se busca escalar el modelo hacia nuevos mercados nacionales e internacionales. Se fomenta la asociatividad, la certificación de calidad y la integración en plataformas globales de comercio electrónico. En esta etapa se propone vincularse con instituciones que fomenten plataformas digitales, que permitan la creación de marcas propias, la formación de redes de cooperación y establecer cooperativas artesanales que den certeza a nuevos mercados.

Conclusiones

En el sector artesanal, las TIC se han establecido como un factor no negociable para la supervivencia y expansión del mercado. Han permitido la resiliencia durante la crisis sanitaria y han abierto un horizonte de oportunidades de comercialización más amplias y equitativas. El futuro del sector depende de la continuidad en el apoyo institucional para la

transformación digital y la capacitación de los artesanos, garantizando que el legado cultural de Yucatán se proyecte globalmente a través de las herramientas del siglo XXI. Sin embargo, es urgente de fortalecer capacidades, institucionalidad y canales comerciales. El modelo propuesto ofrece un camino concreto para profesionalizar la presencia digital y ampliar oportunidades de venta en este sector la cual posee un potencial significativo para su integración a mercados digitales.

Bibliografía

- Banda-Ortiz, J. H. (2020). *Comercio electrónico como medio de estrategia para el impulso de productos artesanales*. Revista Investigación Académica Sin Frontera, 13(37). <https://revistainvestigacionacademicasinfrontera.unison.mx/index.php/RDIASF/article/view/372/454>
- Basulto, O. (2016). Investigación social. Una aproximación reflexiva a los análisis de contenido y discurso desde una perspectiva cualitativa con diversos enfoques. THEUTH. Revista de Humanidades. Núm. 2. Págs.. 95 – 115.
- Bravata Galmiche, E. A. (2024). *Recomendaciones de gestión para talleres artesanales de Dzityá, Yucatán*.
- Cab Pech, V. M., Canto Alcocer, N. N., Poot Alpuche, J. A., & Balam Chan, S. S. (2023). *Pobreza y desigualdades en la formación científica y tecnológica de jóvenes indígenas mayas: estudio multicaso de dos institutos tecnológicos en Yucatán*. Revista Mexicana de Investigación Educativa, 28(97). https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-57662023000200085&lang=es
- Canto, J. F. C. (2019). *Panorama de la industria del calzado en Ticul*, Yucatán.
- Carrillo, J. (2019). *Competitividad del calzado artesanal de Ticul*.
- Chevalier, J. (2009). Árbol de problemas. *Sistemas de análisis social*. Disponible en www.sa-pm.com, fecha de consulta, 11-11.
- Contexto Humano, UAEMex. (2024). *Procesos territoriales en comunidades mayas*.
- Fabian, C. M., Chan, F. F., Tun, G. E., & Ku, H. E. (2025). *Economía social y solidaria: una aproximación a los retos y oportunidades para artesanos de zapatos en un municipio de Yucatán, México*. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinaria, 9(1). <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/download/16496/23613/>
- Flores, E. B. (2024). *Mercado artesanal y empleo en México*.
- FONART. (2020). *Diagnóstico del sector artesanal ante la pandemia COVID-19*.

- Gómez Navarro, D. A. (2019). *Uso de las tecnologías de la información y la comunicación por universitarios mayas en un contexto de brecha digital en México*. *Región y sociedad*, 31(1).
https://www.researchgate.net/publication/333634021_Uso_de_las_tecnologias_de_la_informacion_y_la_comunicacion_por_universitarios_mayas_en_un_contexto_de_brecha_digital_en_Mexico
- Gómez Navarro, D. A. (2022). *Apropiación social de tecnologías digitales por jóvenes universitarios mayas de Quintana Roo*. *RIDE Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 12(23).
<https://www.ride.org.mx/index.php/RIDE/article/view/1055/3481>
- González-Ruiz, J. M., & Solís-Pérez, M. C. (2025). *Emprendimiento y transformación digital en las organizaciones del sector artesanal textil mexicano*. *Ciencias Administrativas. Teoría y Praxis*, (1).
<https://cienciasadmastyp.uat.edu.mx/index.php/ACACIA/article/download/485/567/7412>
- Instituto de la Cultura y las Artes de Quintana Roo. (2025). Concurso de bordado y deshilado.
- Méndez-Navarro, J. (2019). *Tejedoras y bordadoras en Yucatán*.
- Montejo Murillo, S. (2016). Análisis de la sustentabilidad en la actividad artesanal de madera de Dzityá, Yucatán.
- Proyecto Camino Real (2025). *Calidad de vida de artesanos en Campeche*.
- Rojas-Leal, V. G., & Vargas-Magaña, M. G. (2025). *La gestión estratégica del sector artesanal: Un enfoque integral desde las ciencias administrativas para el desarrollo sostenible*. *ACACIA: Revista Iberoamericana de Sistemas, Cibernética e Informática*, 1(27).
<https://cienciasadmastyp.uat.edu.mx/index.php/ACACIA/article/download/475/557/7402>
- Santoyo Robles, C. (2025). *Patrimonio inmaterial y bordado maya*.
- Sarmiento Franco, J. F., & Parra Argüello, F. Y. (2015). Tecnología y sustentabilidad en el calzado de Ticul.
- Secretaría de Cultura Federal & Meta. (2023). *La Secretaría de Cultura federal y Meta ayudan a las y los artesanos de México a sumarse a la economía digital*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/cultura/prensa/la-secretaria-de-cultura-federal-y-meta-ayudan-a-las-y-los-artesanos-de-mexico-a-sumarse-a-la-economia-digital?idiom=es>

Secretaría de Cultura. (2024). *Catálogo ORIGINAL de Arte Textil.*

Sosa-Dzul, D. C. (2021). *Estrategias de comercialización para artesanos del tramo 2 del Tren Maya. Un estudio en el segmento Calkiní-Hecelchakán-Tenabo, en el Sureste de México.* Revista de Ciencias Empresariales, 10(1).
<https://revistas.ubp.edu.ar/index.php/revista-ciencias-empresariales/article/view/480/566>

UNESCO & Ayuntamiento de Dzan. (2025). *Plan Municipal de Salvaguardia del Bordado Maya.*

Evolución y pronóstico de la deserción escolar en Campeche (2000-2024): un enfoque basado en series temporales y el modelo ARIMA.

Luis Alfredo Trejo Torres¹

Erika del Rosario López Sánchez²

José Otniel López Sánchez³

Universidad Contemporánea de las Américas¹, Tecnológico de Monterrey², Centro de Estudios Tecnológicos Industrial y de Servicios Núm. 82³

ztul88@gmail.com

erika.lopez@tec.mx

joseotniel.lopez.ce82@dgeti.sems.gob.mx

Resumen

El abandono escolar es un indicador crítico del fracaso del sistema educativo esencial para evaluar la retención estudiantil. Este estudio tuvo como objetivo determinar el punto crítico en la trayectoria de la deserción que requiere una estrategia focalizada de intervención. Se empleó un diseño cuantitativo de series temporales, analizando y contraponiendo los registros de deserción nacionales de México y Campeche durante el periodo 2000-2024. Los datos fueron modelados y proyectados con el método de pronóstico ARIMA. Los resultados del pronóstico de los cinco años siguientes indicaron una tendencia decreciente de la deserción en Primaria (tasa proyectada del 0.2%) y Secundaria (con tasas proyectadas entre el 3.13% y 4.05%). No obstante, esta disminución se interrumpe significativamente en el nivel Medio Superior (superando el 10%, aunque con proyección estable) y, especialmente, en el nivel Superior, donde se observa un estancamiento en torno al 12.5%. Se concluye que la identificación de esta inflexión es fundamental para justificar y dirigir los esfuerzos institucionales hacia políticas específicas de retención en los niveles de educación media superior y superior, que son los que concentran la mayor necesidad de acción.

Palabras clave: deserción escolar, series temporales, pronóstico ARIMA.

Abstract

School dropout is a critical indicator of educational system failure essential for evaluating student retention. This study aimed to determine the critical point in the dropout trajectory that requires a focused intervention strategy. A quantitative time series design was employed, analyzing and contrasting national dropout records in Mexico and Campeche over the 2000-2024 period. Data were modeled and projected using the ARIMA forecasting method. The results of the five-year forecast indicated a decreasing dropout trend in Primary (with a projected rate of 0.2%) and Secondary (with projected rates between 3.13% and 4.05%). However, this decrease is significantly interrupted at the Upper Secondary level (exceeding 10%, though with a stable projection), and especially at the Higher

Education level, where a stagnation around 12.5% is observed. It is concluded that the identification of this inflection point is fundamental for justifying and directing institutional efforts toward specific retention policies in upper secondary and higher education levels, which are those that concentrate the greatest need for action.

Key words: student dropout, time series, ARIMA forecasting.

Introducción

En todos los sistemas y niveles escolarizados de educación se plantean diversas políticas y disposiciones oficiales que buscan mantener a los alumnos en la escuela para concluir el programa diseñado para su formación curricular. Se parte de la idea de que la educación incide en la calidad de vida futura a la que podrían acceder y donde el proceso de formación educativa busca brindar acceso a una disponibilidad de opciones de movilidad social, como diversas carreras profesionales, conocimientos técnicos y teórico-prácticos que les aportarían valor en el mercado laboral o incluso darles los principios para el emprendimiento de proyectos de negocios o transformación social. Se asume entonces que la interrupción de la trayectoria educativa incide negativamente en las posibilidades de mejoramiento social (Lyche, 2010).

En el contexto de los indicadores educativos se plantea una serie de conceptos que buscan definir y posibilitar la medición del éxito en la operación o la implementación de los planes educativos como formas de verificar su pertinencia y utilidad. Entre estas medidas destacan las que directamente abordan la cuestión de dar continuidad a las trayectorias escolares o bien verlas descontinuadas. En el primer caso destacan los conceptos de permanencia escolar, entendida como el número de alumnos que finalizan un determinado nivel educativo con miras a pasar al siguiente; en algunos casos se utiliza la palabra retención para referir este mismo concepto, y en el contexto mexicano la Secretaría de Educación Pública (SEP, s.f.) favorece el uso de eficiencia terminal para especificar el número de estudiantes de cada 100 alumnos inscritos que egresan de un nivel educativo específico durante un ciclo escolar. Sin embargo, este tipo de medidas, útiles en su marco de medición del éxito del sistema escolar, no es la que suele llamar la atención al analizar las dificultades que el sistema mismo enfrenta.

La entendida contraparte, el concepto de los alumnos que no finalizan el nivel educativo, se ha llamado deserción o abandono escolar. En cuanto a cuál es mejor utilizar, existen diversas posturas; algunos expertos indican que señalar a un alumno como desertor podría sugerir que este se va porque así lo quiere, pero abandono podría reflejar mejor el fenómeno donde por situaciones de vulnerabilidad el alumno tiene que apartarse de su trayectoria de formación educativa (Heffington & Dzay, 2023). Pese a estas posturas, no parece existir un consenso claro y ambos términos suelen usarse de modo intercambiable. En sus comunicados y documentos oficiales, la SEP (s.f.) utiliza desde al menos 2012 el término abandono escolar para referirse a la cantidad de estudiantes que dejan sus estudios

durante el ciclo escolar, expresada como el número de estudiantes que desertan por cada 100 inscritos al inicio del mismo nivel educativo.

Al hacer una revisión de investigaciones relacionadas con el fenómeno del fallo de continuación educativa queda en claro que deserción parece ser el término de uso más común y que, aún si se intercambia con abandono, mientras se use de la misma manera permite abordar directamente el problema; algo que no pasa con la idea de retención, cuya formulación misma parece centrarse en la medida del éxito del programa educativo más que en las mejoras pendientes. A modo de convención se percibe que designar el asunto como deserción coloca en el centro de la discusión el problema y lo plantea como una necesidad del sistema educativo, una a la que se debe mitigar y priorizar.

Este trabajo busca explorar la deserción en su marco temporal, vista a grandes rasgos como fenómeno con un complejo entrecruzamiento de condiciones sociales y culturales; la finalidad es acercarse hacia un diagnóstico general de la situación y reconocer en qué nivel (desde primaria hasta educación superior) del sistema educativo mexicano hace falta más la generación de propuestas concretas para disminuir el abandono o la retención escolar.

En última instancia nuestro interés particular se sitúa en el estado de Campeche, en la península de Yucatán y enmarcado en la región sureste de México, de donde los autores somos originarios y cuya situación nos resulta más cercana que cualquier otro entorno al interior del país.

Presentación del problema

Se buscó comparar series temporales con los registros históricos desde el año 2000 al 2024 respecto al abandono escolar a nivel nacional y en el estado de Campeche a fin de identificar mediante procesos estadísticos las tendencias observables en este fenómeno (a la baja, al alza, o sin variación) para determinar dónde resultaría prioritario realizar investigaciones posteriores para atacar el problema de la deserción escolar en el punto crítico de sus múltiples factores y condiciones.

Objetivos de la investigación

Objetivo general

Analizar la evolución de la deserción escolar en el estado de Campeche y su comparativa a nivel nacional durante el periodo 2000-2024, así como predecir su tendencia esperada para los próximos cinco años, con el fin de identificar patrones que orienten la formulación de políticas educativas para la retención escolar.

Objetivos específicos

- Analizar la evolución y las tendencias de la deserción escolar por nivel educativo en Campeche entre 2000 y 2024.

- Ajustar modelos de series temporales y generar pronósticos de deserción para cada nivel educativo en Campeche.
- Determinar el nivel o niveles donde las estrategias para enfrentar la deserción escolar han sido menos efectivas.

Fundamentos teóricos

En esta sección se presentan los conceptos y aspectos teóricos de la deserción escolar, términos relacionados y se profundiza en su problemática. También, se aborda el estudio de la deserción escolar como una serie temporal para analizar su evolución a través del tiempo. Finalmente, se explican las bases del pronóstico de series temporales mediante el método estadístico ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average).

El problema de la deserción escolar

La revisión sistemática de la literatura reveló las diversas posturas que existen respecto a la continuidad o la falta de continuidad en las trayectorias de formación educativa de los estudiantes escolarizados. Numerosas investigaciones versan sobre la deserción y la retención escolar, entendidas como formas distintas de enmarcar el fenómeno; por un lado, la deserción o abandono se entienden como la ruptura de tales trayectorias, mientras que la retención se percibe como su continuidad (Mendoza Lira et al, 2023b).

La enunciación como abandono focaliza la cuestión como la situación de que los alumnos se van de la escuela tras haber iniciado un curso, poniendo el énfasis en la discontinuidad y sus consecuencias, abrazando de lleno el problema mediante una postura correctiva; abordar el fenómeno desde la retención refiere una postura donde se asume que las condiciones del sistema educativo son propicias o exitosas, ya que lo presenta como una tasa o porcentaje de éxito y su postura suele entenderse como preventiva (Mendoza Lira et al, 2023a). De ahí que este trabajo privilegie el sentido de la deserción por permitirle atribuir una falla en lo general del funcionamiento del sistema escolar y la necesidad de corrección.

Para entender a mayor profundidad el fenómeno de la deserción escolar es necesario describir sus matices; es ahí donde entra la perspectiva de Vincent Tinto (1989) quien ofrece una advertencia respecto a que no todos los alumnos cuantificados como desertores deberían tener un mismo tratamiento, puesto que existen condiciones sobre el abandono de los estudios que no necesariamente se pueden atribuir como fallos del sistema escolar, sino que obedecen a un abandono planificado, por ejemplo, cuando irse de la escuela antes de finalizar los estudios en cierto nivel forma inicialmente parte del plan de los estudiantes.

Esta clase de consideraciones podría ayudar a entender la necesidad de la doble medición, la del éxito o terminación de estudios y la del fracaso o fallo en la terminación. De cualquier modo, resulta claro que la postura que enmarca el problema con la finalidad de atacarlo de forma directa es la medida del abandono o deserción escolar, un fenómeno que se constituye como “uno de los problemas educativos que más experimentan los

estudiantes" (Corzo Salazar, 2017), problema que, a gran escala, se busca combatir en prácticamente todo el mundo (Lyche, 2010).

Para realizar un diagnóstico adecuado del problema, se ha partido de un trabajo proveniente de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) a cargo de Cecilia S. Lyche, el cual consiste en una extensa revisión de literatura sobre los factores relacionados y las políticas implementadas para disminuir la retención en una diversidad de contextos nacionales.

Aunque el referido texto supone un parteaguas en la investigación sobre la deserción, se pueden alegar dos cuestiones respecto a su contenido. En primera instancia, por su naturaleza exploratoria se ofrece una apreciación de las estrategias existentes para enfrentar la deserción, lo que resultó en la conformación de un corpus de 68 medidas y una valoración de las mismas pero a partir de lo que los estudios donde se enlistaba cada medida se consideró como exitoso o no; es decir, el metaanálisis realizado no hizo una valoración propia de los modelos examinados, aunque sí advertía de este detalle y sugería que se realizaran procedimientos de econometría para una justa validación de sus medidas. Lo segundo que se puede destacar es el origen de las observaciones, realizadas en los países del llamado norte global; principalmente Estados Unidos y países europeos que cuentan con un contexto generalmente condicionado de manera muy diferente a regiones como América Latina.

El estudio temporal de la deserción

Un estudio mucho más reciente sobre la deserción en México y Colombia puso en claro una de las claves en la diferencia no solo en cómo se conceptualiza la deserción escolar sino en cómo se suele medir, ya que en los dos países latinoamericanos las estadísticas se fundamentan de una manera interanual mientras que en otras regiones se trabaja con grupos etarios o porcentajes de cobertura más que en tasas de deserción (Trujillo Rodríguez & Ramírez Salazar, 2025).

Algo que sin importar las diferencias saltaba a la vista era la necesidad del registro temporal para entender la magnitud longitudinal como uno de los principales aspectos del problema de la deserción. Una de las ideas iniciales en la conclusión del trabajo de Lyche señala que "a fin de cumplir el reto de la finalización (de estudios) es importante entender que la deserción, más que un resultado, es un proceso acumulativo de desvinculación o abandono que se da a través del tiempo"1 (2010, p. 38).

Derivado de toda esta reflexión y exploración de literatura previa, saltaba a la vista lo importante de seguir la pista a la deserción según al paso del tiempo y la necesidad de aplicación de procedimientos estadísticos para una estimación objetiva del éxito de una medida preventiva o correctiva; algo que este trabajo plantea al buscar el punto donde se requiere una intervención más profunda y, posiblemente, ayudar a determinar lo prioritario en cuanto a estrategias que reduzcan la deserción. De ahí que el camino elegido para

determinar tal punto sean las series temporales y el método de pronóstico ARIMA. En esta investigación se está asumiendo que la validación del éxito de las posibles estrategias halladas será la disminución gradual de la deserción, una consideración que hemos considerado encaminada hacia la objetividad.

Series temporales y método de pronóstico ARIMA

Una serie de tiempo es un conjunto de observaciones que se han registrado secuencialmente según una línea temporal (Box et al., 2016). La necesidad de pronosticar estas series de tiempo ha generado el desarrollo de diferentes métodos estadísticos que permitan predecir el futuro lo más preciso posible a partir de datos históricos (Hyndman y Athanasopoulos, 2021). Entre estos métodos se encuentran los de medias móviles, suavizado exponencial, ARIMA, regresión lineal, redes neuronales, entre otros (Box et al., 2016; Hyndman y Athanasopoulos, 2021).

Las series temporales empíricas, es decir, aquellas que son observables en la realidad (por ejemplo, precio de acciones, tasas de deserción escolar, tasas de desempleo, ventas de una empresa, etc.), se comportan como si no tuvieran una media fija, pero aun así son homogéneas, comportándose muy similar a cualquier otra (Box et al., 2016). Para estos casos específicos en donde la serie temporal no muestra estacionariedad (sus medidas estadísticas sí cambian con el tiempo), se han desarrollado modelos que incorporan procesos autorregresivos y media móvil.

El modelo ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average) es un método de pronósticos ampliamente usado para el análisis y pronósticos de series temporales. Este modelo considera tres componentes: autorregresivo (AR), integración (I) y media móvil (MA) (Hyndman y Athanasopoulos, 2021).

El componente “AR” considera la relación entre una observación y un número de observaciones retrasadas anteriores. Esto implica que el modelo predice el valor futuro a partir de una combinación lineal de sus propios valores previos (Hyndman y Athanasopoulos, 2021). El componente “I” proviene “integrado”, refiriéndose a la diferenciación de la serie para eliminar tendencias y volverla estacionaria (Tibshirani, 2023). “MA” es el componente que se refiere a la media móvil que usa los errores pronosticados pasados en un modelo de regresión (Hyndman y Athanasopoulos, 2021).

La notación ARIMA(p, d, q) indica el orden del modelo en donde p se refiere al número de términos autorregresivos (AR), d al número de diferenciaciones que se requirieron para volver la serie estacionaria (I), y q es el número de términos de media móvil (MA) (Box & Jenkins, 2016).

La implementación del modelo ARIMA generalmente se realiza en varias etapas. Primero, se analiza la serie temporal y se aplican diferenciaciones para lograr estacionariedad, si es necesario. Luego, se determinan los parámetros p, d y q analizando gráficas de autocorrelación (ACF) y autocorrelación parcial (PACF), así como los criterios de

información como AIC (Akaike information criterion). A continuación, se estiman los coeficientes AR y MA usando métodos de máxima verosimilitud o mínimos cuadrados (Shumway y Stoffer, 2006).

Es necesario validar el modelo para confirmar su precisión y capacidad de predecir. Para esto se evalúa que los residuos se comporten como ruido blanco (media cero, varianza constante y sin autocorrelación), mediante pruebas como Ljung-Box, pruebas de normalidad y métricas de error como RMSE (Raíz del Error Cuadrático Medio), MAE (Error Absoluto Medio) y MAPE (Error Porcentual Absoluto Medio) (Hyndman y Athanasopoulos, 2021).

Los pronósticos generados con el modelo ARIMA seleccionado se presentan junto con los intervalos de predicción (típicamente del 95%), los cuales se espera que incrementen cuando el horizonte temporal incrementa (Hyndman y Athanasopoulos, 2021; Tibshirani, 2023).

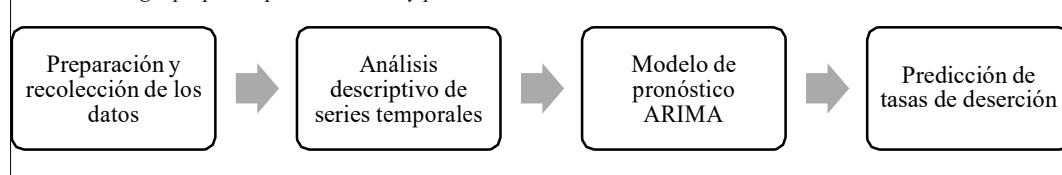
Metodología

El estudio realizado es de corte cuantitativo con enfoque descriptivo y predictivo. En el aspecto descriptivo se busca analizar la evolución histórica de la deserción escolar en el estado de Campeche y comparar su tendencia respecto al comportamiento a nivel nacional. En la parte predictiva, se pronostican las tasas de deserción escolar para 2024-2029 mediante técnicas de series temporales, específicamente usando un modelo ARIMA.

Este trabajo permite observar tendencias históricas de la deserción escolar y medir la magnitud de los cambios en el tiempo. Además, permite identificar patrones históricos en las tasas de deserción escolar a nivel nacional y estatal. Sin embargo, esta investigación se limita a describir y predecir el comportamiento de este indicador, sin contemplar causalidad directa entre variables.

La metodología utilizada es una adaptación de la presentada en Chanchí-Golondrino et al., (2025) y Hernández y Manzanilla (2020). Las etapas de la metodología se presentan en la Figura 1 y se detallan en las secciones siguientes.

Figura 1. Metodología propuesta para el análisis y predicción de las tasas de deserción.



Fuente: elaboración propia.

Preparación y recolección de los datos

Los datos analizados corresponden a las tasas de deserción escolar en los principales niveles educativos en México y Campeche: Primaria, Secundaria, Media Superior y

Superior. Se consideraron los ciclos escolares iniciados desde agosto de 2000 hasta julio 2024, por lo que se recabó información de 24 ciclos escolares. Esta información fue obtenida de las bases del Instituto

Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, s. f.) y se complementó la información con los reportes anuales publicados por la Secretaría de Educación Pública desde el año 2000 (SEP, s.f.). No se consideró el año escolar 2024-2025 ya que aún no hay publicaciones oficiales sobre las tasas de deserción en este año.

Tabla 1. Tasas de deserción escolar (%) por ciclo escolar y nivel educativo a nivel México y Campeche.

Año Escolar	México				Campeche			
	Primaria	Secundaria	Media Superior	Superior	Primaria	Secundaria	Media Superior	Superior
2000-2001	1.9	8.3	17.5	8.2	2.3	10.3	18.3	11.1
2001-2002	1.6	7.3	16.9	8.1*	1.9*	9.5*	18.2*	11.7*
2002-2003	1.5	6.9	15.9	8.0*	1.5	8.6	18.0	12.3*
2003-2004	1.3	6.8	16.7	7.8*	1.7	7.7	18.4	12.9*
2004-2005	1.7	7.1	17.0	7.7*	1.6	8.3	17.7	13.5*
2005-2006	1.3	7.7	16.5	7.6	2.1	8.6	17.6	14.1
2006-2007	1.2	7.3	15.5	7.5*	1.6	8.4	16.7	13.7*
2007-2008	1.1	7.1	16.3	7.4*	1.9	8.3	17.6	13.3*
2008-2009	1.1	6.8	15.7	7.3*	1.6	7.9	15.9	13.0*
2009-2010	0.9	6.2	15.6	7.2*	0.8	7.0	15.8	12.6*
2010-2011	0.7	5.6	14.9	7.1	1.3	6.9	16.3	12.2
2011-2012	0.7	5.3	14.4	7.1*	1.0	6.6	15.9	12.5*
2012-2013	0.8	5.1	12.6	7.1*	0.7	6.8	14.9	12.9*
2013-2014	0.6	4.7	13.1	7.1*	0.7	6.4	15.0	13.2*
2014-2015	0.7	4.0	12.4	7.1	1.2	6.9	14.9	13.5
2015-2016	0.7	4.4	15.5	7.0	1.6	8.2	17.5	11.4
2016-2017	0.7	4.4	13.3	7.2	1.6	8.2	18.1	11.4
2017-2018	0.5	4.6	14.5	8.4	1.4	5.2	14.8	10.4
2018-2019	0.7	4.8	13.0	7.9	0.5	6.1	13.9	11.9
2019-2020	0.4	2.7	10.3	8.4	0.5	2.1	11.0	14.2
2020-2021	0.5	2.9	11.6	8.8	1.0	4.6	12.9	12.8
2021-2022	0.2	3.9	10.2	8.1	0.3	5.3	12.3	12.0
2022-2023	0.1	3.2	11.2	7.2	0.2	4.5	12.1	11.3
2023-2024	0.1	2.9	10.8	5.7	0.2	3.9	10.9	12.2

*Tasas estimadas mediante interpolación lineal. Fuente: elaboración propia.

La Tabla 1 presenta las tasas de deserción escolar registradas en el periodo 2000-2024. La tasa de deserción en el nivel Superior se empezó a contabilizar anualmente en los indicadores nacionales a partir de ciclo 2014-2015.

Siguiendo los criterios de Lepot et al. (2017), estos valores faltantes en la serie temporal (señaladas con *) se estimaron mediante interpolación lineal a partir de la información de periodos inmediatos anteriores empleando la fórmula:

$$y_i = y_B + \frac{y_A - y_B}{t_A - t_B} (t_i - t_B)$$

donde y_t es la tasa de deserción estimada en el ciclo escolar t ; (y_A , y_B) son las tasas de deserción conocidas en los ciclos escolares t_A y t_B ; t_i es el año del ciclo escolar a estimar; y (t_A , t_B) son los años de los ciclos escolares con datos registrados.

La interpolación lineal también se aplicó a las tasas de deserción de Campeche en el ciclo 2001-2002, ya que no se recuperaron los registros oficiales que presentaran estos datos.

Análisis descriptivo de las series temporales

El análisis de los datos se realizó utilizando Python 3.12 y usando librerías especializadas en análisis estadístico, visualización y series de tiempo (pandas, seaborn, statsmodels, etc.). Se calcularon estadísticas básicas (media, mediana, desviación estándar, valores máximos y mínimos) para describir las tasas de deserción por nivel educativo nacionales y de Campeche (ver Tabla 3). Para analizar las tendencias temporales y las diferencias regionales en la tasa de deserción escolar, se analizó la pendiente anual (β_1) y el coeficiente de determinación (R^2) a partir de un modelo de regresión lineal simple para cada nivel educativo (ver Tabla 3). La pendiente representa el cambio promedio anual (porcentaje/año) y se calculó como:

$$\beta_1 = \frac{\sum(t - \bar{t})(y_t - \bar{y})}{\sum(t - \bar{t})^2}$$

donde y_t es la tasa de deserción en el año t , y \bar{t} es la media de los años. Un valor negativo de β_1 indica una tendencia decreciente en la deserción a lo largo del tiempo. Valores positivos reflejarían aumento de la tasa y valores cercanos a cero reflejarían estancamiento en la deserción.

El coeficiente de determinación (R^2) se obtuvo para evaluar el ajuste del modelo y refleja la proporción de la variabilidad observada en las tasas de deserción se explica por la tendencia lineal. Esta medida permite evaluar la consistencia y confiabilidad de la tendencia lineal de la deserción escolar, facilitando la interpretación de patrones y validez de la pendiente.

También se obtuvo la brecha promedio de la tasa de deserción la cual refleja la diferencia media entre la tasa de deserción de Campeche (\bar{y}_C) y la tasa nacional (\bar{y}_N) durante el periodo analizado. Una brecha positiva indica mayor deserción en Campeche respecto al promedio nacional. Se calculó con la fórmula:

$$\text{Brecha promedio (\%)} = \left(\frac{\bar{y}_C - \bar{y}_N}{\bar{y}_N} \right) \times 100$$

Para complementar el análisis cuantitativo, se realizaron gráficas de las series temporales (ver Figura 2) para observar de manera clara y comparativa la evolución de la deserción escolar por nivel educativo y región. La comparación directa permite identificar brechas, detectar patrones, anomalías y visualizar el efecto de políticas educativas implementadas.

Asimismo, se incluyó un diagrama de caja y bigotes comparativo por nivel educativo y región (ver Figura 3) el cual permite visualizar las medidas de tendencia central, cuartiles y valores atípicos.

Finalmente, se creó un mapa de calor temporal la tasa de deserción escolar (ver Figura 4), donde los años de inicio de los ciclos escolares se representan en el eje horizontal, los niveles educativos en el eje vertical y la escala de color indica la tasa de deserción escolar. Esta visualización permite identificar patrones de cambio a lo largo del tiempo y detectar los ciclos escolares críticos y mejorías.

Modelo de pronóstico ARIMA

Se usó el método ARIMA para obtener el modelo de pronóstico que mejor se adecuara a las tasas de deserción escolar en Campeche. Para su construcción, se siguió un proceso iterativo de cuatro fases (Hernández y Manzanilla, 2020): (1) identificación del modelo y parámetros de orden (p, d, q); (2) estimación de los parámetros adecuados; (3) validación del modelo, y (4) pronósticos de los valores futuros. La modelación se realizó utilizando Python 3.12.

Se usó la prueba de Dickey-Fuller Aumentada (ADF) para evaluar la estacionariedad y determinar el parámetro de diferenciación (d). Las series no estacionarias fueron diferenciadas hasta lograr la estacionariedad. El componente autorregresivo (p) y de media móviles (q) se obtuvo al analizar las gráficas de la función de autocorrelación (ACF) y la gráfica de la función de autocorrelación parcial (PACF).

Se aplicó el test de Ljung–Box para evaluar si los residuos del modelo están autocorrelacionados, es decir, si hay dependencia entre valores pasados y actuales. Se validó el ajuste del modelo con el criterio AIC y análisis de residuos (Hyndman & Athanasopoulos, 2021). Con el modelo validado, se generaron pronósticos para estimar la posible evolución futura de la serie.

Predicción de tasas de deserción

Con el modelo seleccionado se realizaron pronósticos de las tasas de deserción para los próximos ciclos escolares comprendidos en los siguientes cinco años (2024-2029). Se incluyeron intervalos de predicción del 95%. La precisión de las predicciones se evaluó mediante el RMSE y MAE. Se construyeron gráficos de los valores observados y las predicciones calculadas.

Resultados y discusión

El uso de las series temporales permite situar el problema de manera concreta en el tiempo y el espacio a la vez que la implementación de las técnicas estadísticas nos ha brindado la posibilidad de ofrecer una predicción de tasas de deserción en los niveles escolares que demuestran comportamientos peculiares en sus tendencias.

Análisis de la deserción escolar en el periodo 2000-2024

El análisis descriptivo mostró principalmente tendencias decrecientes en la mayoría de los niveles educativos y comportamiento similar entre lo observado en Campeche y su comparativa a nivel nacional. La Tabla 2 resume las estadísticas básicas de la tasa de deserción registradas en los ciclos escolares comprendidos entre 2000-2024.

Tabla 2. Estadísticas descriptivas de la tasa de deserción escolar (%) por nivel educativo durante los ciclos escolares del periodo (2000-2024)

Nivel educativo	Región	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Mediana	Máximo
Primaria	Campeche	1.217	0.616	0.2	1.35	2.3
	Nacional	0.875	0.495	0.1	0.7	1.9
Secundaria	Campeche	6.929	1.92	2.1	6.95	10.3
	Nacional	5.417	1.694	2.7	5.2	8.3
Media Superior	Campeche	15.613	2.381	10.9	15.9	18.4
	Nacional	14.225	2.292	10.2	14.7	17.5
Superior	Campeche	12.504	0.987	10.4	12.55	14.2
	Nacional	7.542	0.647	5.7	7.45	8.8

Fuente: elaboración propia usando Python 3.12.

Se observan diferencias consistentes en todos los niveles escolares, mostrando tasas promedio superiores en Campeche comparado con la media nacional. Esta diferencia en educación Primaria, Secundaria y Media Superior es menor de 2%. Sin embargo, el nivel Superior presenta 5% más que la media nacional con valores mínimos y máximos muy por arriba de los niveles educativos básicos. Las tasas de deserción más pequeñas se encuentran en nivel Primaria, seguido de Secundaria.

Las medianas cercanas a las tasas promedio en la mayoría de los casos muestran una distribución relativamente simétrica. La desviación estándar refleja que existe mayor variabilidad en las tasas de deserción en nivel Media Superior. Estas estadísticas reflejan la tendencia de mayor deserción escolar en Campeche en todos los niveles, con mayor notoriedad en nivel Medio Superior y Superior. Además, las desviaciones estándar más altas apuntan a una mayor inestabilidad por ciclo escolar en estos niveles.

La Tabla 1Tabla 3 presenta los resultados al analizar la tendencia y ajustar un modelo de regresión lineal a los datos de Campeche, así como la brecha existente respecto a los registros nacionales. Se observa tendencia a la baja en todos los niveles, aunque con diferente intensidad y ajuste estadístico.

Tabla 3. Tendencias, ajuste del modelo y brecha promedio de deserción escolar en Campeche por nivel educativo (2000-2024)

Nivel educativo	β_1	R²	Brecha promedio (%)
Primaria	-0.0700	0.642	0.34
Secundaria	-0.2299	0.717	1.51
Media Superior	-0.2884	0.734	1.39
Superior	-0.0284	0.041	4.96

Nota: La brecha muestra la diferencia entre las tasas promedio nacionales y las registradas en Campeche. Brechas positivas indican que Campeche tiene mayor tasa de deserción.

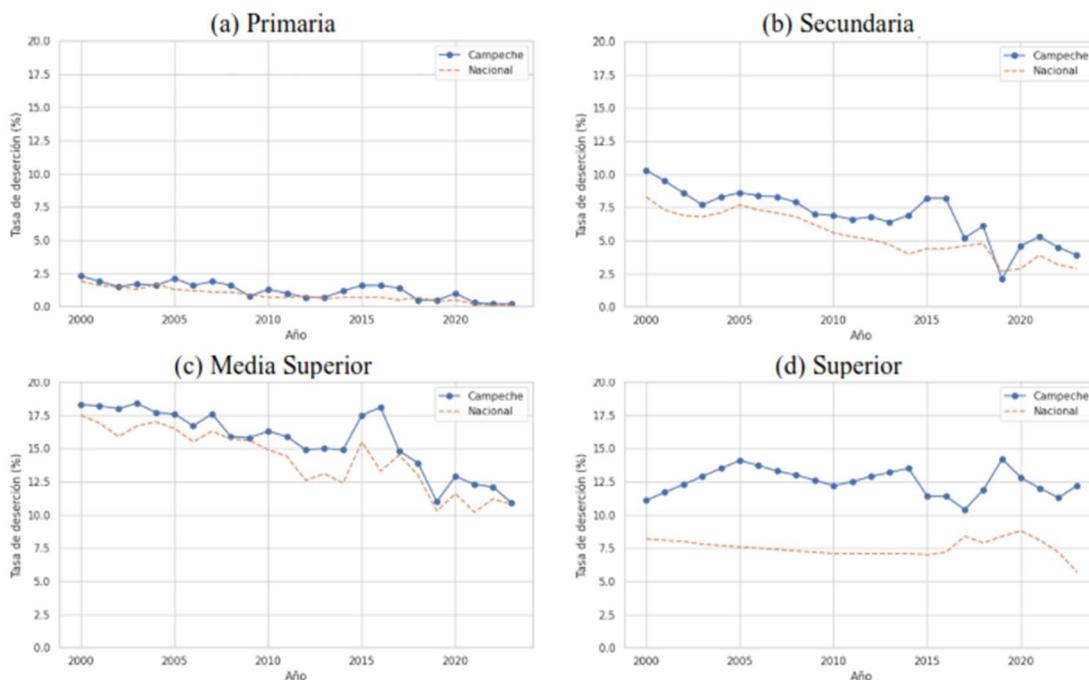
Fuente: elaboración propia usando Python 3.12.

En Primaria, la pendiente es negativa, muy cercana a cero, lo que muestra desaceleración en su decrecimiento. Esto es esperable al ser el nivel educativo con las tasas de deserción más bajas, con tendencia a estabilizarse cerca de 0%. Este nivel presenta la brecha promedio mínima por debajo del 1% respecto a las tasas nacionales. Secundaria y Media Superior muestran pendientes negativas más pronunciadas, ajuste del modelo (R^2) adecuado y brechas moderadas, alrededor de 1.5%. Estos resultados sugieren mejoras sostenidas en la permanencia escolar.

Por el contrario, el nivel Superior presenta una pendiente casi nula y un mal ajuste del modelo, lo que evidencia la ausencia de tendencia significativa. Aunado a esto, la brecha promedio es la más alta entre los niveles escolares. Los resultados muestran que la deserción universitaria en Campeche se mantiene estable, pero con tasas altas por arriba del promedio nacional.

Para observar estas tendencias a través del tiempo, se graficaron las series temporales para cada nivel educativo comparando las tasas de Campeche y las de México (ver Figura 2). Se observa que en los primeros tres niveles educativos el comportamiento de las tasas estatales es similar a las nacionales, mostrando tendencia a la baja.

Figura 2. Gráficas de líneas comparativas de la deserción escolar por nivel educativo (Campeche vs Nacional).



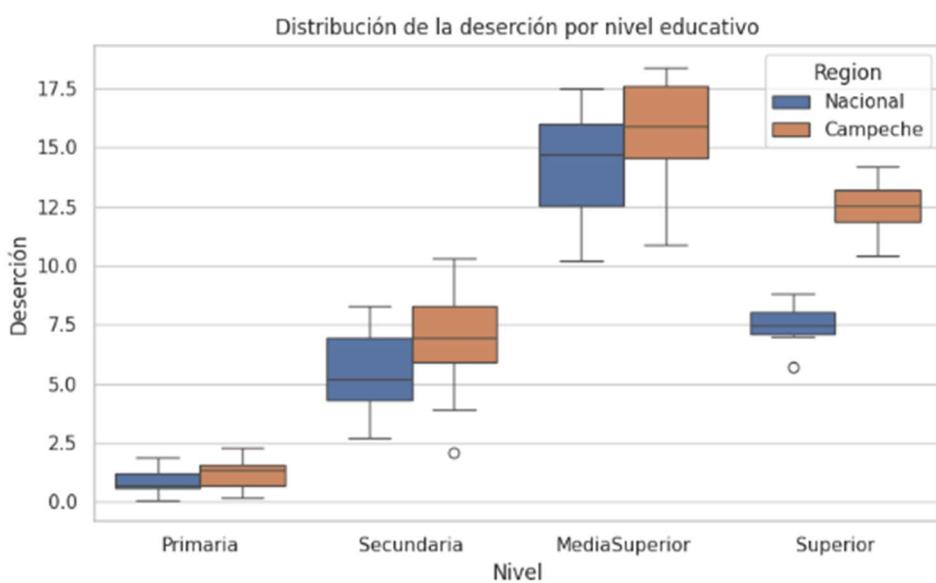
Nota: la figura muestra el comportamiento a través del tiempo de la deserción escolar a nivel (a) Primaria, (b) Secundaria, (c) Media Superior, y (d) Superior. Los años mostrados indican el inicio del ciclo escolar. Fuente: elaboración propia usando Python 3.12.

En el caso del nivel Superior, la deserción nacional se mantuvo estable hasta 2020, en donde empezó a mostrar tendencia a reducirse. Sin embargo, en el caso de la deserción de nivel Superior en Campeche, la tasa ha fluctuado durante estos períodos con picos más altos que los datos nacionales.

El efecto de la pandemia del COVID-19 se ve reflejado en las tasas de deserción con picos ligeramente altos en Primaria, Secundaria y Medio Superior en los ciclos escolares posteriores a 2020, que se redujeron en los ciclos siguientes. Por el contrario, a nivel Superior se observó disminución de las tasas durante los períodos escolares cercanos a 2020.

La Figura 3 permite confirmar que las tasas de deserción son menores en los niveles educativos más bajos, pero similares entre las tasas nacionales y la estatal. Es evidente que en la educación Superior muestra diferencias significativas entre las regiones analizadas y mayor dispersión en Campeche. A pesar de la tendencia decreciente de la deserción en la educación Media Superior, este nivel presenta las tasas más altas que los otros niveles educativos.

Figura 3. Gráfico comparativo de la distribución de la deserción por nivel educativo (2000-2024)

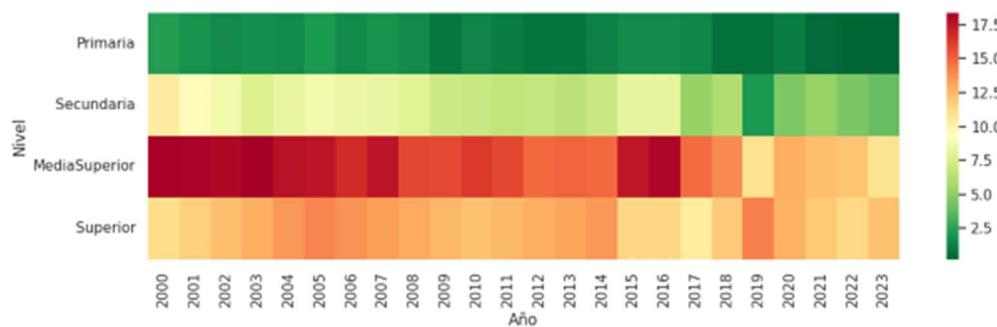


Nota: los círculos mostrados en los niveles de Secundaria y Superior, indican valores atípicos de las tasas de deserción. Fuente: elaboración propia usando Python 3.12.

Analizando el comportamiento a través del tiempo, la Figura 4 evidencia que las tasas de deserción han disminuido hacia los años más recientes, mostrando convergencia hacia

niveles más bajos y consistentes, especialmente en Primaria y Secundaria. Los resultados obtenidos con el análisis descriptivo sugieren una reducción sostenida de la deserción escolar en Campeche, aunque aún existen brechas estructurales en los niveles Medio Superior y Superior.

Figura 4. Mapa de calor temporal de la evolución de la tasa de deserción escolar en Campeche (2000–2024).



Fuente: elaboración propia usando Python 3.12.

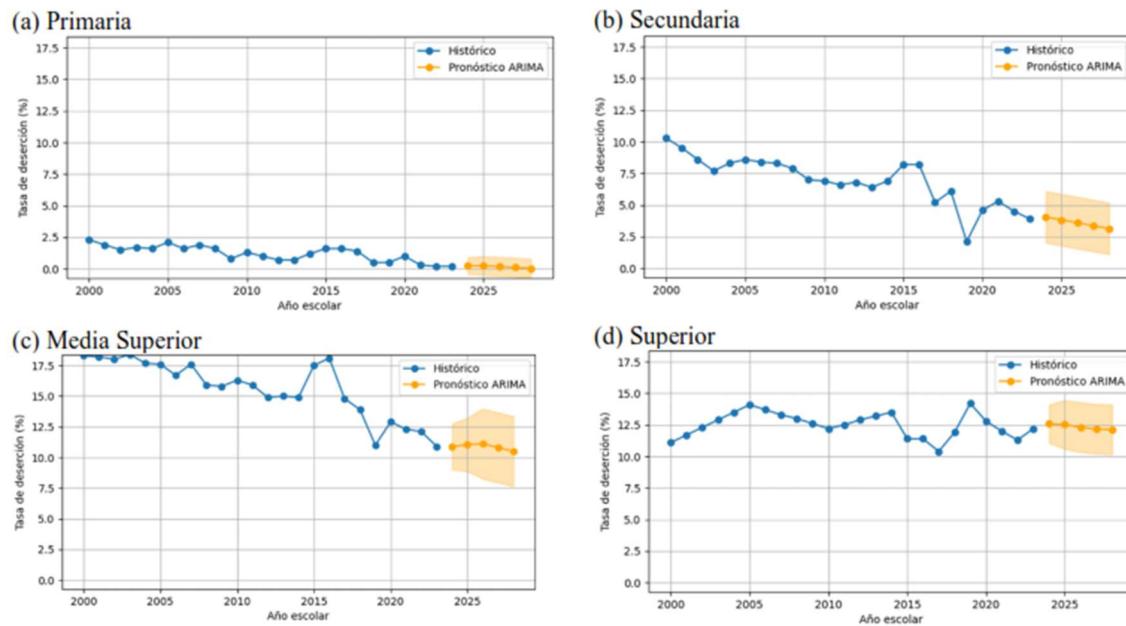
Pronóstico de la deserción escolar en Campeche para el periodo 2024-2029

El método ARIMA permitió generar modelos de pronósticos de la tasa de deserción escolar para cada uno de los niveles educativos en Campeche. La Tabla 4 resume los resultados de la prueba de estacionariedad revelando que las series originales no son estacionarias, lo que muestra que sus propiedades estadísticas cambian con el tiempo. Al analizar las gráficas ACF y PACF, se identificaron los parámetros autorregresivos y media móvil de los modelos ARIMA (ver Figura 6).

Con base en las métricas de ajuste, el código desarrollado en Python eligió de manera automática los modelos con menor AIC, RMSE y MAE. Los modelos seleccionados fueron los siguientes: Primaria con ARIMA (0, 1, 2); Secundaria, ARIMA (0, 1, 1); Media Superior con ARIMA (0, 1, 3); y Superior, ARIMA (2, 1, 1). Los residuos no mostraron autocorrelación significativa según la prueba de Ljung–Box, indicando que se comportan como ruido blanco, por lo que los modelos ARIMA seleccionados son adecuados.

La Figura 5 presenta los pronósticos para los ciclos escolares comprendidos 2024-2029. Los tabulados se pueden consultar en la Tabla 5 y Tabla 6 en la sección de Apéndices. Para Primaria se proyecta una deserción cercana a 0.2%, con intervalos de predicción amplios debido a la alta incertidumbre relativa. Secundaria muestra una tendencia ligeramente decreciente, con predicciones entre 3.13% y 4.05%. Media Superior y Superior presentan valores más altos de deserción, mayores a 10%, pero se mantienen relativamente estables en los próximos cinco años.

Figura 5. Pronósticos de la tasas de deserción en Campeche para los ciclos escolares dentro del periodo 2024-2029



Nota: los años mostrados indican el inicio del ciclo escolar. Fuente: elaboración propia usando Python 3.12. Estos hallazgos indican que, aunque la deserción en el nivel de Primaria se mantiene controlada y prácticamente nula, los niveles educativos superiores presentan mayores desafíos.

En particular, la educación Media Superior requiere atención prioritaria debido a sus tasas de deserción elevadas, mientras que el nivel Superior muestra un estancamiento preocupante, sin evidencia de una tendencia descendente. Por ello, se recomienda el diseño e implementación de estrategias preventivas focalizadas que respondan a las causas específicas de abandono en cada nivel educativo.

Conclusiones

El análisis de series temporales de la deserción escolar en Campeche revela la evolución diferenciada de estas tasas según el nivel educativo. Los resultados muestran avances en la retención escolar, especialmente en los niveles de Primaria y Secundaria. En Media Superior, aunque se observa una tendencia a la baja en las tasas de deserción, los niveles de abandono aún superan el 10% anual. En estos tres niveles se aprecia convergencia con los valores nacionales y una clara tendencia descendente.

Sin embargo, la educación Superior presenta un estancamiento, con una brecha promedio significativa respecto a la media nacional y niveles moderados de volatilidad. Las proyecciones indican que esta tendencia podría mantenerse en los próximos años, lo que evidencia la necesidad de intervenciones focalizadas para frenar la deserción a la vez que se mejora la permanencia estudiantil.

El estudio evidencia la utilidad de combinar análisis estadístico y modelado de pronósticos para evaluar la dinámica educativa a nivel estatal y compararla con los registros nacionales. La investigación se limita a describir las series históricas de deserción escolar y a predecir su comportamiento a cinco años mediante el método ARIMA para los niveles educativos de Campeche. Se sugiere que estudios futuros exploren la relación de la deserción con variables socioeconómicas y de política pública, así como la aplicación de otros métodos de pronóstico que permitan proyecciones más prolongadas y robustas.

La consecución de los objetivos planteados en este trabajo abre la posibilidad además de proceder a formular recomendaciones de política educativa en los niveles pertinentes, pues con base en los resultados del análisis se puede afirmar qué medidas han tenido éxito a lo largo del tiempo y cuáles han sido ineficaces o han resultado en estancamientos. Sin embargo, este nuevo objetivo deberá ser objeto de trabajos futuros con sus debidos sustentos teóricos que permitan abordar la complejidad esperada en el tratamiento del problema y no lo reduzcan a una definición de mero éxito o fracaso, sino que se operativice mediante acciones concretas que incidan en el panorama de la educación en el Estado de Campeche.

En este estudio no se analizó de manera directa ninguna estrategia de retención o mitigación de la deserción, pero asumimos que, de existir, han sido más exitosos en los niveles donde se ha percibido la tendencia descendente.

Referencias

- Box, G. E., Jenkins, G. M., Reinsel, G. C., & Ljung, G. M. (2015). *Time series analysis: forecasting and control*. John Wiley & Sons.
- Chanchí-Golondrino, G. E., Ospina-Alarcón, M. A., & Moya-Villa, Y. (2025). Application of Time Series Models in the Characterization of Dropout at the University of Cartagena, Colombia. *International Journal of Combinatorial Optimization Problems and Informatics*, 16(2), 71.
<https://doi.org/10.61467/2007.1558.2025.v16i2.1075>
- Corzo Salazar, C. (2017) Deserción escolar. *Con-Ciencia Boletín Científico de la Escuela Preparatoria No. 3, 4(8)*. Recuperado el 16 de octubre, 2025, de
<https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/prepa3/n8/p1.html>
- Heffington, D., & Dzay, F. (2023). Perspectivas y Tendencias sobre la Deserción, el Abandono y la Expulsión Escolar. *Emerging trends in education* (México, Villahermosa), 6(11), 88-92. Recuperado el 16 de octubre, 2025, de
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2594-28402023000100088&lng=es&tlng=es.
- Hernández, Y. A., & Manzanilla, E. L. H. (2020). Análisis de series de tiempo para el pronóstico de indicadores en educación superior: caso de las tasas de absorción,

cobertura y abandono en México. Perspectivas de la Ciencia y la Tecnología, 3(6), 106-120. <https://revistas.uaq.mx/index.php/perspectivas/article/view/248>

Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2021). Forecasting: Principles and Practice (3rd ed.). OTexts. <https://otexts.com/fpp3/>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (s.f.). Tabulador interactivo de indicadores educativos. INEGI. Recuperado el 14 de octubre, 2025, de https://www.inegi.org.mx/app/tabulados/interactivos/?pxq=Educacion_Educacion_1_c6aa7c65-4d89-4eaf-972e-431727fc686d

Lepot, M., Aubin, J.-B., & Clemens, F. H. L. R. (2017). Interpolation in Time Series: An Introductory Overview of Existing Methods, Their Performance Criteria and Uncertainty Assessment. Water, 9(10), 796. <https://doi.org/10.3390/w9100796>

Lyche, C. S. (2010). Taking on the Completion Challenge: A Literature Review on Policies to Prevent Dropout and Early School Leaving. OECD Education Working Papers, No. 53. OECD Publishing (NJ1). Recuperado el 16 de octubre, 2025, de https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2010/11/taking-on-the-completion-challenge_g17a1efa/5km4m2t59cmr-en.pdf

Mendoza Lira, M., Muñoz Jorquera, S., Ballesta Acevedo, E., & Covarrubias Apablaza, C. (2023a). Conceptualizaciones de retención y deserción escolar en Proyectos Educativos Institucionales. Revista de estudios y experiencias en educación, 22(49), 194-211. Recuperado el 14 de octubre, 2025, de https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-51622023000200194&script=sci_arttext&tlng=pt#B21

Mendoza Lira, M., Quiroz Muñoz, J., Muñoz Pérez, D., Contreras Pérez, C., & Ballesta Acevedo, E. (2023b). Conceptualizaciones de deserción y retención escolar según una escuela primaria en Chile. Cuadernos de Investigación Educativa, 14(2), e206. Recuperado el 14 de octubre, 2025, de http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?pid=S1688-93042023000301206&script=sci_arttext

Secretaría de Educación Pública (SEP) (s.f.). Estadística e Indicadores Educativos. Planeación. Recuperado el 14 de octubre, 2025, de <https://www.planeacion.sep.gob.mx/estadisticaeindicadores.aspx>

Shumway, R. H., & Stoffer, D. S. (2006). Time series analysis and its applications: with R examples. New York, NY: Springer New York.

Tibshirani, R. J. (2023). Lecture 6: Autoregressive Integrated Moving Average Models. University of California, Berkeley. <https://www.stat.berkeley.edu/~ryantibs/timeseries-f23/lectures/arima.pdf>

- Tinto, V. (1989). Definir la deserción: una cuestión de perspectiva. *Revista de educación superior*, 71(18), 1-9. Recuperado el 14 de octubre, 2025, de http://publicaciones.anuies.mx/pdfs/revista/Revista71_S1A3ES.pdf
- Trujillo Rodríguez, A. & Ramírez Salazar, M. (2025). Comparativo de la deserción escolar Colombia-México 2020-2023. *UCV HACER*, 14(1), 25-34. Recuperado el 15 de octubre, 2025, de <https://revistas.ucv.edu.pe/index.php/ucv-hacer/article/view/3453/2448>

REVISTA DE INVESTIGACIÓN**UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA JUSTO SIERRA****JULIO-DICIEMBRE 2025****ISSN DIGITAL**

	PRESENTACIÓN
Darwin de Jesús Chi Moreno	
	ARTÍCULOS
Alonzo Enrique González Aguilar ¹ Joaquín Eduardo Quiroz Partida ² Jesús Isidro López Vázquez ³ Neyda Rocio Moreno Guzmán ⁴ .	Enseñanza del electromagnetismo en ingeniería ferroviaria aplicando la metodología activa: STEM.
Mauricio Ivan Huchin Miss ¹ Germán Escalante Notario ² Ana Maria Zunza Carenzo ³ .	Eficiencia energética e implementación de tecnología renovable para optimizar el uso de la energía en una planta de bombeo.
José Antonio Lara Chi ¹ Héctor Manuel Valles Zurita ² Ricardo Armando Pérez Chuc ³ Juan Humberto Mangas Estrella ⁴ Fernando Enrique Vela León ⁵	Propuesta de diseño de un modelo de seguridad e higiene industrial con sensores IOT y visión artificial en la empresa mariscos Márquez.
Elsy Verónica Martín Calderón ¹ Wendy Argentina de Jesús Cetina López ² Mario Ben-Hur Chuc Armendariz ³ Emilio Pérez Pacheco ⁴ Luis Humberto May Hernández ⁵	Tecnología para la construcción sostenible con perspectiva de género en la Zona de Calkiní Campeche.
María Guadalupe Ramírez González ¹ María José Fuentes Antonio ² Didier Gaspar Dzib Avilez ³ Javier Chacha Coto ⁴ Abelardo Jesús Zavala Kú ⁵	Ánalisis de la aplicación del modelo de criticidad en el mantenimiento de equipos en la Hielera San Bartolo.
Edgar Alberto Salazar Chi ¹ Jesús Ramón Cob Cantú ² Juan Manuel Martin Flores ³	Procedimientos estandarizados para la prevención de fallas comunes en instalaciones técnicas de un hotel de cinco

Carlos Alberto Decena Chan ⁴ Carlos Antonio González Flores ⁵	estrellas de Playa del Carmen en Cancún, Quintana Roo.
Raúl Alberto Santos Valencia ¹ José Rubén Bacab Sanchez ² Jorge Carlos Canto Esquivel ³ Fabian Russell Ceballos Hernández ⁴ Mayanin Asunción Sosa Alcaráz ⁵	Modelo de comercialización digital para artesanos de Yucatán.
Luis Alfredo Trejo Torres ¹ Erika del Rosario López Sánchez ² José Otniel López Sánchez ³	Evolución y pronóstico de la deserción escolar en Campeche (2000-2024): un enfoque basado en series temporales y el modelo ARIMA.