TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO, CAMPUS LERDO
LA EXCELENCIA ACADÉMICA AL SERVICIO DE LA SOCIEDAD

CIENCIA, INGENIERÍA Y DESARROLLO TEC LERDO

VOLUMEN: 1. NÚMERO: 10. AÑO: 2024

REVISTA DIGITAL UNIVERSITARIA . ISSN: 2448-623X. PUBLICACIÓN ANUAL

10 Años

Fórmate de una manera Diferente

https://www.lerdo.tecnm.mx/ https://www.lerdo.tecnm.mx/

https://doi.org/10.62805/revista.2024

Título de la revista:

CIENCIA, INGENIERÍA Y DESARROLLO TEC LERDO

Editor:

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO / INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE LERDO

Año: 10

Volúmen: 1

Número: 10

Publicación: Septiembre 2024

Revista Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo

10 Años

Revista Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo, Septiembre 2024, Volumen 1, Número 10. Publicación electrónica universitaria nacional anual editada por el Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Av. Tecnológico No. 1555 Sur. Periférico Gómez-Lerdo, Km. 14.5. C.P. 35150. Ciudad Lerdo, Durango. México. Teléfono: (+52) 871 725 23 71, extensión 134. Correo electrónico de la revista: revistacid@itslerdo.edu.mx, página web de la revista: "http://revistacid.itslerdo.edu.mx".

Número de reserva de derechos al uso exclusivo: 04-2022-011210434500-203, ISSN: 2448-623X; otorgados por el Instituto Nacional de Derechos de Autor (Indautor). Directora: Dra. Karla Verónica Rodríguez Lozano. Editores Responsables: Dra. Elizabeth Macías Cortés, Dr. Juan Martín Arzola Monreal. Imagen de portada: Dr. Juan Martín Arzola Monreal. Responsable de la última actualización de este número: Comité Editorial del Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Lerdo.

La opinión expresada en los artículos firmados es responsabilidad del autor. Se autoriza la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes siempre y cuando se cite la fuente, y que no sea con fines de lucro. No nos hacemos responsables por textos no solicitados. Fecha de última actualización: 30 de Septiembre de 2024.

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE LERDO

REVISTA CIENCIA INGENIERÍA Y DESARROLLO TEC LERDO

Revista Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo

10 Años

CONSEJO EDITORIAL

PRESIDENTE:
Dr. José Dimas López Martínez

SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y DESARROLLO:
MDGPT. Jesús Alejandro Valdés Nieblas

DIRECTORA:
Dra. Karla Verónica Rodríguez Lozano

EDITORES RESPONSABLES:
Dra. Elizabeth Macías Cortés
Dr. Juan Martín Arzola Monreal

ARTE, DISEÑO Y SUPERVISIÓN TÉCNICA:
Dr. Juan Martin Arzola Monreal

CONSEJO CIENTÍFICO INTERNO:
Dr. Jorge Lara Cardoso
Dr. Edwin Amir Briceño Contreras
Dra. Mercedes Georgina Ramírez Aragón
M.C. Víctor Edi Manqueros Avilés

CONSEJO CIENTÍFICO EXTERNO:
Dr. Francisco Javier Ibarra Guel
Subsecretario De Educación Media Superior y Superior del Estado de Durango
Dr. José Betancourt Hernández
Director del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Durango
Dr. Mario Prudencio Valdés Garza
Director del Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología de Coahuila

WEBMASTER:
Ing. Marcos Morales Esparza

PÁGINA WEB:
Dra. Maria Guadalupe Flores Luévanos

ÁREA FILOLOGÍA:
Dra. Elda Moreno Núñez
M.C. Silvia Adriana Vidaña Martínez
M.I.B. Tania Elizabeth Velásquez Chávez
M.C. Silvia Adriana Jaquez Cervantes

ÁREA DE TRADUCCIÓN:
M.G.A. Alan Joel Servín Prieto
Ing. Jessica Lizeth Urbina Pedroza

Comité Revisor:

Revista Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo

10 Años

Dra. Elena Tzetzangary Aguirre Mejía, M.C. Noé Alvarado Tovar, Dr. Juan Martín Arzola Monreal, E.I.M. Rafael Bencomo Hernández, Dra. Victoria Jared Borroel García, Dr. Edwin Amir Briceño Contreras, Dra. Cecilia Inés Calderón Ibarra, Dr. José Ángel Candelas Saucedo, Dr. Cristian Cesar Dávila Rodríguez, Dra. María Guadalupe Flores Luévanos, M.C. Carlos Uriel Flores Prince, Dr. Ricardo Alfredo Gaytán Escamilla, M.C. Luis Amado González Vargas, M.C. Ariel González Fuentes, Dra. Reyna Margarita Hernández Ramos, Dr. Oscar Huizar Vargas, M.C. Silvia Adriana Jáquez Cervantes, Dr. Jorge Lara Cardoso, Dr. Lázaro López Puente, Dr. Jesús Lozano Páez, M.I.M. Eduardo Machado Díaz, Dra. Elizabeth Macías Cortés, M.C. Víctor Edi Manqueros Avilés, Dra. Nancy Gabriela Marín Castañeda, Dr. César Octavio Márquez Aguirre, E.I.M. Juan Manuel Martínez Burrola, Dr. Antonio Mendoza Ruelas, Dra. Elda Moreno Núñez, Dr. Jorge Alberto Orrante Sakanassi, Dra. Mercedes Georgina Ramírez Aragón, M.S.C. César Ríos Marmolejo, M.A.T.S.I. Rocio Lorena Rodríguez Chacón, Dra. Karla Verónica Rodríguez Lozano, M.I.M. Diego Alberto Román Landeros, M.I.M. Arturo Serrano Hernández, M.G.A. Alan Joel Servín Prieto, Dr. Mauro Francisco Soto Rubio, Dra. Nancy Victoria Torres Ramos, M.I.M. Efraín Vaquera González, M.I.B. Tania Elizabeth Velásquez Chávez, M.C. Silvia Adriana Vidaña Martínez.

Correo de la Revista:

revistacid@itslerdo.edu.mx

Carta del Editor:

Revista Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo

10 Años

Apreciada Comunidad Académica, Científica y Tecnológica, con gran satisfacción y orgullo, me dirijo a ustedes en este momento tan especial, en el cual celebramos una década de la creación de la revista "CIENCIA, INGENIERÍA Y DESARROLLO TEC LERDO" (CID TecLerdo). Diez años que han marcado un camino de crecimiento, esfuerzo y dedicación hacia la excelencia, consolidándonos como un referente en la difusión del conocimiento científico y tecnológico.

Desde nuestros primeros pasos, nuestro objetivo ha sido claro: ofrecer un espacio donde la innovación, el desarrollo tecnológico y el avance de la ingeniería se encuentren con el rigor académico, siempre con la misión de contribuir al progreso de nuestra sociedad. Hoy, al mirar hacia atrás, nos llena de satisfacción haber cumplido con este propósito, y al mismo tiempo, sentimos el compromiso renovado de seguir adelante, mejorando y adaptándonos a los desafíos que el futuro nos presenta.

Es un honor compartir con ustedes que, en este camino, hemos alcanzado un hito significativo: la inclusión de nuestra revista en el prestigioso catálogo de LATINDEX, lo que marca un paso firme hacia nuestra aspiración de ser una publicación indexada reconocida internacionalmente. A partir de 2024, todos los artículos que publiquemos contarán con DOI avalado por CrossRef, asegurando una mayor visibilidad y accesibilidad para nuestras contribuciones académicas.

Este logro no sería posible sin el arduo trabajo de nuestro equipo editorial y, por supuesto, sin el valioso aporte de las(os) investigadoras(es) que confiaron en nosotros para divulgar sus investigaciones. Como parte de nuestro compromiso con la mejora continua, hemos renovado nuestra página web, implementando los requisitos de LATINDEX, lo que incluye la asignación de una URI única a los artículos aceptados, reafirmando así nuestro compromiso con la transparencia y la calidad.

Vivimos en tiempos emocionantes, donde los avances científicos y tecnológicos transforman profundamente nuestra realidad. Áreas como la inteligencia artificial, las energías renovables, la robótica y la sustentabilidad abren nuevas fronteras, y es nuestra responsabilidad estar al frente de estos cambios.

Carta del Editor:

Revista Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo

10 Años

En la Revista CID TecLerdo, seguiremos siendo una plataforma que no solo informa, sino que inspira a nuestros lectores a soñar y alcanzar nuevas soluciones, para contribuir al bienestar de la humanidad.

A lo largo de estos 10 años, hemos buscado no solo ofrecer contenido relevante, sino también fomentar la colaboración y el intercambio de ideas entre científicos, ingenieros, investigadores y emprendedores. Hoy, más que nunca, extendemos una invitación abierta a todos aquellos que deseen compartir sus contribuciones originales. La riqueza de nuestra publicación reside en la diversidad de ideas y en la creatividad que aportan nuestros autores.

Finalmente, quiero agradecer a toda la comunidad que ha formado parte de este viaje: a los autores, revisores, editores y lectores que han depositado su confianza en nosotros. Estos diez años son solo el principio. Con su apoyo, estamos seguros de que los próximos desafíos nos llevarán a nuevos horizontes, siempre con el compromiso de ser su fuente confiable de conocimiento, inspiración y desarrollo.

Quedo y me despido de ustedes, con un profundo agradecimiento y compromiso hacia el futuro.

DR. JOSÉ DIMAS LÓPEZ MARTÍNEZ
DIRECTOR GENERAL DEL
INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE LERDO, DGO. &
PRESIDENTE DEL GRUPO EDITORIAL DE LA REVISTA
CIENCIA, INGENIERÍA Y DESARROLLO TEC LERDO
"CID TECLERDO"

Índice de Artículos:

01. Determinación de Proteína en Harina de Lombriz (Eisenia Fetida), Procedente del Vermicompostaje de Tres Sustratos. 01
↪Adriana Viramontes Acosta, Tania Elizabeth Velásquez Chávez, Alan Joel Servín Prieto, Mónica Hernández López.

02. Análisis Avanzado de Vibraciones Mecánicas para la Detección Temprana de Fallas en Flechas de Motores Eléctricos Mediante el Uso del Analizador Fluke 810. 09
↪Rafael Rivas Valdez, Luis Amado González Vargas, Noé Alvarado Tovar, Francisco Huerta Valenzuela, Víctor Edi Manqueros Avilés.

03. Emprender, desde la Perspectiva del Joven Universitario. 18
↪Georgina González Pérez, Luis Díaz Aguilera, Nancy Victoria Torres Ramos, Antonio Sánchez García.

04. Presencia de Microplásticos en Playas de una Región Semiárida de la Costa de México. 27
↪ Pedro Rosales Grano, Arturo Ochoa Castro, José Darío Villicaña Aguayo, Fidel Castro Hernández, Laura Janeth Vega Valverde.

05. Regulación de Posición de un Robot Móvil Omnidireccional con Invarianza a Parámetros Intrínsecos. 35
↪José Armando Sáenz Esqueda, Arturo Tadeo Espinoza Fraire, Isaac Gandarilla Esparza, Cristina Sáenz Esqueda.

06. Desarrollo de Aplicación Móvil como Herramienta para Seguimiento y Análisis Oportuno de la Tutoría Educativa. 43
↪Elena Tzetzángary Aguirre Mejía, Lilia Parada Morado, Francisco Eduardo Rodríguez Campos, Rocío Lorena Rodríguez Chacón, Alberto Ramírez Zarate.

07. Liderazgos y Comunicación Efectiva en Universitarios para el Desarrollo de las Organizaciones. 53
↪Oscar Huizar Vargas, Violeta del Carmen García Hernández.

08. Cómo Construir una Cultura de Innovación en una Organización. 62
↪ Antonio Sánchez García, Laura Georgina González Pérez, Palmira García Domínguez.

09. Optimización de los Procesos de Capacitación y Operación del Personal del Departamento de Ama de Llaves en Cadena Hotelera. 72
↪Maribel Martínez Gaucín, Marco Iván Ceceñas Jacquez, María Guadalupe Ceseñas Cordero, Jessica Ivón Cuevas Zapata, Ana Laura Guzmán Ayala.

10. Vigilancia Estadística: Clave para una Calidad Sólida. 80
↪Lucero Yarely De la O Franco, Verónica Múñoz Ponce.

11. Antioxidantes Presentes en Aceite de Girasol por Efecto de Nanopartículas de Hidroxiapatita. 88
↪ Oscar Emmanuel Gómez García, Victoria Jared Borroel García, Rubén López Salazar, Eduardo Arón Flores Hernández, Mercedes Georgina Ramírez Aragón.

12. Desarrollo de Interfaz y Diseño Electrónico para un Prototipo Artromotor Rehabilitador de Rodilla. 96
↪Andrea Fernanda Padilla Silva, Luis Amado González Vargas, Noe Alvarado Tovar, Eduardo Machado Díaz.

13. Análisis del Contenido Proteína y Cenizas de Productos Comerciales de Moringa Oleifera Lam. 104
↪Juan Manuel Carrión Delgado, Ofelia Andrea Valdés Rodríguez.

14. Impacto del Nodo de Impulso a la Economía Social Solidaria Pátzcuaro - Zirahuén en el Territorio de Influencia. 112
↪Miriam E Aguirre Arias, María Paola Sánchez Reyes.

15. Desarrollo del Sistema Institucional de Tutorías para el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo Usando Javascript, PHP y SQL. 121
↪Rocío Lorena Rodríguez Chacón, Carlos Leobardo Badillo Alonso, Elena Tzetzangary Aguirre Mejía, Lilia Parada Morado.

16. Desarrollo de un Sistema IoT Básico para Monitoreo en Tiempo Real de Consumo y Demanda Energética Doméstica Usando Microcontrolador ESP32 y ThingSpeak de Matlab. 129
↪ Jesús Emmanuel Román Reyes, Luis Amado González Vargas, Noé Alvarado Tovar, Víctor Edi Manqueros Avilés.

17. Diseño y Manufactura de un Dispositivo para el Monitoreo de Condiciones Ambientales Urbanas. 139
↪Mario Salvador Castro Zenil, Alma Alvarado López, Guillermo Rey Peñaloza Mendoza.

18. Desarrollo e Implementación de Estrategias para el Cumplimiento de la Norma ISO 14001:2015, en el Sistema de Gestión Ambiental del Tecnológico Nacional de México Campus Lerdo. 148
↪Silvia Adriana Vidaña Martínez, Elda Moreno Núñez, Francisco Samuel Bonilla Rodríguez, Silvia Adriana Jaquez Cervantes.

Revista Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo

10 Años

Índice de Artículos:

19. Remoción de Colorantes Textiles por Hongos Inmovilizados. 157
↪Laura Lizeth Vazquez Jaime, Quetzatcoatl Enrique Saavedra Arroyo, Odin Rodríguez Nava, Divanery Rodríguez Gómez.

20. Sistema Web para la Gestión de las Titulaciones de Posgrado del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. 165
↪Karla Verónica Rodríguez Lozano, Elda Moreno Núñez, María Guadalupe Flores Luévanos.

21. Caracterización de bacterias y hongos productores de celulasas aislados de material lignocelulósico. 174
↪Fátima Navarro Mosqueda, Varinia López Ramírez, Ricardo Morales Rodríguez, Divanery Rodríguez Gómez.

22. Evaluación de Nivel Tecnológico de un Software de Gestión de Residencias Profesionales, Basado en el Modelo de Madurez KTH. 182
↪Elda Moreno Núñez, Karla Verónica Rodríguez Lozano, María Guadalupe Flores Luévanos.

23. Diseño y Fabricación de un Levitador Neumático para Prácticas de Control de Procesos Utilizando Manufactura Aditiva. 190
↪Eduardo Machado Diaz, Hesner Coto Fuentes, Luis Amado González Vargas.

24. Prototipo de Sistema de Cultivo en Interiores para la Germinación de Semillas con Monitoreo y Control en la Web Utilizando un Microcontrolador ESP32 y Protocolo MQTT. 198
↪Eduardo Machado Diaz, Alfredo Orlando Hassan Barrón Quintero, Heber Joctan Martínez Sandoval.

25. Diseño 3d y Análisis de Ingeniería Mediante Software NX para la Implementación de Simulador de Impacto Vehicular. 208
↪Efraín Vaquera González, Diego Alberto Román Landeros, Arturo Serrano Hernández.

26. Análisis de Materiales PLA y ABS Impresos en 3D, Sometidos a Compresión y Estrés Térmico. 217
↪Arturo Serrano Hernández, Eduardo Machado Díaz, Efraín Vaquera González.

27. Herramienta Computacional Desarrollada en Python para el Análisis de Flujos en un Sistema Eléctrico de Potencia. 225
↪Rubén Ángel Muñoz Castillo, Gerardo Enrique Ruiz Ponce, Concepción Hernández Flores, Marco Antonio Arjona López.

28. Simulación y Análisis del Comportamiento del Voltaje en una Microrred de Corriente Alterna Considerando Generación de Energía Fotovoltaica y Eólica. 235
↪Cristian Luna Aguilera, Eli Johnatan Muñoz Luna, Concepción Hernández Flores, Héctor García Viveros, Marco Antonio Arjona López.

29. Evaluación de Perturbaciones Eléctricas en una Zona del Sistema de Potencia con Baja Robustez y una Central Fotovoltaica. 244
↪Alan Jair Rodríguez Amaya, Francisco Sergio Sellschopp Sánchez, Rodrigo Loera Palomo, Carlos Álvarez Macías, Leticia Lozano Cuellar.

30. Determinación de los Flujos de Potencia en una Red Eléctrica Utilizando el Método de Desacoplado Rápido en Python. 255
↪Elí Johnatan Muñoz Luna, Cristian Luna Aguilera, Concepción Hernández Flores, Marco Antonio Arjona López.

31. Diseño y Fabricación de un Prototipo para el Control de Acceso Vehicular Basado en Tecnología RFID. 266
↪Óscar Francisco González Ramírez, Jorge Lara Cardoso, Concepción Hernández Flores, Marco Antonio Arjona López, Luis Amado González Vargas.

32. Diseño y Programación de un Prototipo de Escáner en 2D para la Identificación de patrones y figuras Geométricas Básicas en Objetos a Través de Diversos Sensores y Microcontroladores. 276
↪Eduardo Machado Diaz, Efraín Vaquera González, Diego Alberto Román Landeros.

33. Desarrollo de una Estación Remota de Monitoreo Basada en Modbus RTU RS485 para la Estimación en Tiempo Real de la Potencia Generada por un Módulo Fotovoltaico. 287
↪Karol Gabriel Vidaña Aldaba, Jorge Lara Cardoso, Concepción Hernández Flores, Marco Antonio Arjona López.

34. Profesionalización del Banco de Alimentos de Torreón Coahuila. 295
↪Ruth De La Peña Martínez, José Dolores Ruiz Ayala, Teresa Monserrat Sánchez Morin.

Revista Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo

10 Años

Revista
Ciencia, Ingeniería
y
Desarrollo
Tec Lerdo

REVISTA CIENCIA INGENIERÍA Y DESARROLLO TEC LERDO

10 Años

ARTÍCULOS

Determinación de Proteína en Harina de Lombriz (*Eisenia Fetida*), Procedente del Vermicompostaje de Tres Sustratos

Viramontes-Acosta, A[1]; Velásquez-Chávez, T.E.[2]✉, Servín-Prieto, A.J.[2]; Hernández-López, M.[2].

Datos de Adscripción:

[1] Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de la Laguna; Blvd. Revolución y Av. Instituto Tecnológico de La Laguna, C.P. 27000 Torreón, Coahuila, México.

[2]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Lerdo; Av. Tecnológico S/N, Col. Periférico C.P. 35150 Cd. Lerdo Durango México.

✉ tania.vc@itslerdo.edu.mx

Resumen **- La determinación del contenido proteico en la harina de lombriz es crucial tanto para la seguridad alimentaria como para la búsqueda de alternativas nutricionales sostenibles. La harina de lombriz, derivada del vermicompostaje, utiliza residuos orgánicos y excretas de animales, reduciendo el impacto ambiental y produciendo un abono orgánico nutritivo. Con una cantidad significativa de proteínas en comparación con fuentes convencionales, la calidad y cantidad de proteínas en la harina de lombriz pueden verse afectadas por la dieta y las condiciones de producción. Se exploran sus aplicaciones potenciales en la industria alimentaria y la suplementación dietética, resaltando su potencial como fuente sostenible de proteínas. Este estudio evaluó la harina de lombriz producida a partir de tres sustratos diferentes: estiércol equino, estiércol vacuno y hojarasca, durante un periodo de 120 días, manteniendo un 80% de humedad y a la sombra. Utilizando el método Kjeldahl, se determinó el contenido de proteína en la harina de lombriz. Se realizó un ANOVA simple, encontrándose diferencias significativas entre el contenido proteico de la harina de lombriz producida a partir de estiércol equino y los otros sustratos, mientras que no hubo diferencia significativa entre el estiércol vacuno y las hojas secas. Estos resultados sugieren que el estiércol equino puede ser un sustrato de alta calidad para la producción de harina de lombriz, Esta investigación subraya la importancia de comprender y optimizar los sustratos utilizados en el proceso de vermicompostaje para maximizar el contenido proteico y mejorar la calidad de la harina.**

Palabras Clave **– harina, lombriz, proteína, vermicompostaje**

Abstract **- The determination of protein content in earthworm flour is crucial for both food safety and the pursuit of sustainable nutritional alternatives. Earthworm flour, derived from vermicomposting, utilizes organic waste and animal excreta, reducing environmental impact and yielding nutritious organic fertilizer. With a significant protein content compared to conventional sources, the quality and quantity of protein in earthworm flour may be influenced by diet and production conditions. Its potential applications in the food industry and dietary supplementation are explored, highlighting its potential as a sustainable protein source. This study evaluated earthworm flour produced from three different substrates: horse manure, cattle manure, and leaf litter, over a period of 120 days, maintaining 80% humidity and shade. Using the Kjeldahl method, the protein content in earthworm flour was determined. A simple ANOVA was conducted, revealing significant differences in the protein content of earthworm flour produced from horse manure compared to the other substrates, while there was no significant difference between cattle manure and leaf litter. These findings suggest that horse manure may be a high-quality substrate for earthworm flour production. This research underscores the importance of understanding and optimizing the substrates used in vermicomposting to maximize protein content and improve flour quality.**

Keywords **– earthworm, flour, protein, vermicompost**

I. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas la contaminación proveniente de la industria alimentaria y ganadera ha comenzado a representar un gran problema, debido a la gran demanda de agua y aire que conlleva por parte de todo tipo de consumidores, además de contribuir a la contaminación y el desgaste de los suelos (FAO, 2016).

Solo el 70% del recurso hídrico se extrae de los ríos y mantos acuíferos. El 20% va para la industria y el 10% para uso doméstico. En el sector ganadero el porcentaje de emisiones de gases de efecto invernadero oscila alrededor del 18%, por lo que su cuidado y la búsqueda de alternativas sostenibles es de gran importancia.

La acumulación de residuos orgánicos originados por las actividades ganaderas, agrícolas, forestales, las basuras urbanas y agroindustriales han generado problemas ambientales y de salud humana. Y es que, a pesar de los esfuerzos realizados por la industria alimentaria para ser más sostenible, todavía hay un impacto negativo significativo en el medio ambiente (Kummu, *et al.,* 2012).

La producción de grandes cantidades de residuos orgánicos en todo el mundo plantea importantes problemas ambientales (malos olores, contaminación de las aguas subterráneas y del suelo). (Jiménez-González *et al.,* 2020).

En el 2020 en el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos (DGBIR), se reporta que se generan 1.071 kg/hab/día de residuos sólidos urbanos (RSU), en municipios con más de 100 mil habitantes, siendo este el caso del municipio de Lerdo, Durango que para el 2020 según el INEGI contaba con 163,313 miles de habitantes. Del total de RSU generados aproximadamente el 46.42% corresponden a residuos orgánicos y de estos, el 33.07% corresponde a residuos alimentarios, a los cuales se les da poco tratamiento y la mayoría termina dispuestos en rellenos sanitarios poco regulados, trayendo como consecuencias generación de gases de efecto invernadero como el metano, generación de lixiviados que terminan contaminando mantos freáticos, atraen plagas y vectores que transmiten enfermedades, etc. Por lo que una opción viable y amigable con el medio ambiente para el tratamiento de estos desechos orgánicos es el vermicompostaje, el cual tiene como producto final un abono orgánico con grandes propiedades nutrimentales y la producción de la lombriz roja californiana (*E. fetida*), la cual puede ser usada para la producción de harina rica en proteína y otros nutrientes.

El vermicompostaje o lombricultura actualmente se define como una biotecnología enfocada en la crianza de la lombriz, específicamente, la llamada lombriz roja californiana *E. fetida*, que involucra diversos procesos naturales para la transformación de materia orgánica. Dicha lombriz es muy prolífera y longeva, se alimenta de desechos orgánicos como lo son estiércoles, residuos orgánicos e incluso industriales; la lombriz no requiere de cuidados exhaustivos, pues su crianza se puede limitar a un espacio reducido y un sistema de riego ya sea manual o por aspersión. Además, se tiene la producción de humus, el cual funciona como un fertilizante natural, biomasa de lombriz y harina de lombriz (Kale *et al.,* 2016).

Actualmente se reconoce que la lombricultura es un recurso biotecnológico de elevado interés ecológico y nutricional, ésta biotecnología utiliza una especie de lombriz domesticada denominada *E. fetida* (*Lumbricidiae*), con dos objetivos principales, primero como una alternativa de reciclaje de desechos orgánicos de diferentes fuentes, y segundo como una fuente de proteína no convencional de bajo costo (Heras, 2015).

La harina de lombriz, ha ganado interés en los últimos años debido a su potencial como un recurso sostenible y nutritivo como una excelente fuente de proteína (Calaveras, 2004). Un estudio publicado por Zhao y colaboradores en el 2016, encontró que la harina de lombriz tiene un contenido proteico promedio del 60-70%, lo que la convierte en una alternativa valiosa a las fuentes tradicionales de proteínas como la soja o el pescado. Aunado a esto la harina de lombriz tiene un perfil de aminoácidos esenciales necesarios para una nutrición óptima, comparable o incluso superior al de las fuentes de proteína convencionales (Barragan *et al.,* 2019). La producción de esta es más sostenible en comparación con la ganadería convencional, ya que requiere menos recursos hídricos, terrenos y emite menos gases de efecto invernadero, a parte que ayuda a mitigar la contaminación por residuos orgánicos (Oonincx *et al.,* 2010).

En este estudio, se evaluó el porcentaje de proteína en harina de lombriz (*E. fetida*) producida a partir de tres sustratos diferentes: estiércol de caballo, estiércol de vaca y hojarasca. Los resultados obtenidos proporcionan información valiosa para optimizar la producción de harina de lombriz con el mayor contenido proteico posible.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

A. Construcción de las Camas.

Se emplearon 3 sustratos diferentes: estiércol bovino, equino y hojas secas cada uno de los tratamientos se realizó por triplicado. Se diseñó el experimento propio dentro de las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo donde se utilizaron cajas de plástico para cada sustrato, a cada una de las cajas se le colocaron 4 kg de cada sustrato, se añadieron a cada caja 10 lombrices adultas, se controlaron las condiciones de humedad manteniéndola en un 80%, esto por medio de sensores de humedad controlados por Arduino. El sensor de humedad hace una medición de la conductividad del suelo, dando una señal de salida entre 0, cuando el suelo está muy húmedo y, 1023 cuando el suelo está muy seco. La señal de salida de sensor se conecta a una de las entradas de la placa Arduino cuando el valor de la señal del sensor se encuentra por debajo del valor deseado se activa una salida de la placa encendiendo así una bomba para hacer el riego abriendo y cerrando las válvulas para regar las camas análogamente se utilizó un sensor de temperatura para monitorear esta durante el experimento.

EL proceso de vermicompostaje duro dos meses, hasta que todo el sustrato pasó a ser vermicomposta. Pasado este tiempo se procedió a realizar la cosecha de las lombrices para la elaboración de la harina.

B. Elaboración de la harina de lombriz

Se recolectaron 200 g de lombrices se realizó el lavado para retirar el material orgánico usando agua estéril, repitiendo el lavado hasta que dejará de tener residuos (Gutiérrez *et al.,* 2009). Se sacrificaron las lombrices usando una solución de etanol al 70% y se volvieron a lavar con agua destilada estéril.

Posterior al lavado se colocaron las lombrices en un crisol, dentro del horno secador a 105 °C por 2 h para eliminar la humedad de las lombrices. Pasado el tiempo se colocaron en el secador, por 6 h esto con el fin de poder eliminar cualquier humedad restante sin afectar la calidad de la proteína (Suarez, 2006), al finalizar el tiempo en el secador, se trituraron en un mortero, hasta obtener una harina fina (Tiquia *et al.,* 1996). La harina resultante se envasó en recipientes herméticos para mantener su calidad nutricional y protegerla de la humedad y los insectos (Bernal *et al.,* 2012). Se almacenó la harina en un lugar fresco y seco, lejos de la luz solar directa.

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

Se realizaron análisis de calidad microbiológica (determinación de *E. coli, Salmonella y S. aureus)* y nutricional en la harina (contenido de nitrógeno y proteína) (Pérez-Lavalle et al., 2020). La determinación de *E. coli* se realizó por el número más probable (NMP), la determinación de *Salmonella*, se utilizó el agar SS (*Salmonella Shigella*), y para la determinación de *S. aureus* se usó el agar Baird Parker.

C. Determinación de la calidad microbiológica.

La determinación de la calidad microbiológica se realizó según la NOM-210-SSA1-2014 la cual establece de los métodos de prueba microbiológicos para la determinación de microorganismos indicadores y determinación de microrganismos patógenos en diferentes alimentos, en este caso nos enfocamos a la determinación en carnes, debido a la naturaleza de la harina. Se llevó a cabo la determinación de *E. coli* en caldo lauril sulfato, trabajando con diluciones seriadas hasta 10^{-3}, colocando una campana de Durham en cada tubo para observar la formación de gas, se incubaron a 37°C durante 24-48 h, para observar si había presencia de gas, este procedimiento se hizo con los tres tubos de las diluciones seriadas por cada una de las muestras de harina de lombriz a evaluar. Pasadas las 48 h se procedió a revisar los tubos para ver la existencia de gas dentro de los mismos.

Para determinar la presencia de Salmonella, se utilizó el agar SS (*Salmonella Shigella*), para lo cual se preparó una solución madre, donde se pesaron en condiciones asépticas, 25g de muestra. Se agregaron 225mL de agua peptonada amortiguada estéril y se licuó por 2 min. Incubándose posteriormente durante 24h ± 2h a 36 °C ± 1 °C. Pasado el tiempo se realizó la inoculación en el agar SS, identificando colonias de *Salmonella* (Horwitz, 2005).

Por último, se usó el Método de referencia para la estimación de la cuenta de *S. aureus* (NOM-210-SSA1-2014), donde 25 g de muestra se transfirieron a 225 mL de agua peptonada, para preparar una dilución 1:10, se transfirieron 0.1 mL de la solución a cajas con agar Baird Parker, esto por triplicado, se distribuyó el inoculo con perlas de ebullición estériles, una vez absorbido el inoculo se incubaron por 44 a 48 h a 36 °C ± 1 °C. Se procedió a buscar colonias con morfología colonial típica: colonias negras, circulares, brillantes, convexas, lisas, de diámetro de 1 mm a 2 mm y que muestran una zona opaca, húmedas y con un halo claro (debido a la actividad de la lecitinasa) alrededor de la colonia.

D. Determinación de nitrógeno y proteína

Se realizó la determinación de nitrógeno por el método de Kjeldhal (Kjeldhal, 1883), de la harina de lombriz proveniente de los 3 sustratos a evaluar, se pesaron 0.2 g los cuales se mezclaron con 2 g de catalizador ($CuSO_4$ y K_2SO_4) en matraces y se añadieron 5 perlas de ebullición, se colocaron los matraces en el micro Kjeldhal, durante una hora hasta notar un viraje de color a verde (Figura 1), con nueve repeticiones cada una, posterior a esto se llevó a cabo la digestión con soluciones de NaOH al 40% para preparar la muestra y H_3BO_3 con tres gotas del reactivo de Weslow para observar un cambio de color a café de la muestra digerida, de esta se colectaron 40 mL.

Las muestras obtenidas de la digestión se titulan con H_2SO_4 hasta observar el cambio de color a morado, con los mililitros H_2SO_4 gastados se realizan los cálculos correspondientes y obtener el porcentaje de nitrógeno y proteína, con usando la siguiente formula:

$$\%\ N\ (TKN)\ = \frac{(A-B)(N)(14)}{P(10)}$$

A= Volumen (mL) H_2SO_4 titulación de la muestra
B= Volumen (mL) H_2SO_4 titulación del blanco
N= Normalidad del H_2SO_4 (meq mL^{-1})
P= Peso de la muestra (g)

Para la determinación de proteína se multiplica el resultado del porcentaje de nitrógeno por un factor de conversión en este caso es 6.25

Figura 1.
Determinación de nitrógeno y proteína por el método de Kjeldhal

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Construcción de las Camas.

Se usaron cajas de 40 cm de largo, 25 cm de ancho y 33 cm de altura, a estas se les instaló un tubo de PVC de ½ pulgada, para la recolección del lixiviado (Carrera, 2007). Posteriormente se adicionaron 4 kg de estiércol en cada experimento, se añadieron diez lombrices adultas de *E. fetida* por cama (Figura 2). La temperatura durante el experimento estuvo oscilando entre 25-30 °C.

Figura 2.
Construcción de las camas

B. Elaboración de la harina de lombriz

Después del secado y molienda de los 200 g de lombrices proveniente del sustrato estiércol equino (HEE), estiércol vacuno (HEV) y de hojarasca (HH) se obtuvieron entre 42 a 48 g de harina de lombriz (Figura 3), lo que corresponde a un porcentaje de materia seca del 21 al 24%, siendo este un porcentaje mayor al reportado por García y colaboradores en el 2005 de 20.44%, esto se puede llegar a ver como una limitante al obtener poca harina, lo cual contrasta con el porcentaje que se obtiene de estas harinas siendo mayor al contenido en carnes de animal.

Figura 3.
Obtención de harina de lombriz

C. Determinación de la calidad microbiológica.

La NOM-210-SSA1-2014 establece criterios microbiológicos estrictos para asegurar la inocuidad de los alimentos. El cumplimiento de esta norma por parte de la harina de lombriz garantiza que este producto puede ser considerado seguro para su uso en la alimentación animal y potencialmente en aplicaciones humanas, siempre y cuando se cumplan otras normativas relevantes.

Se realizó la detección de *E. coli,* siendo esta el indicador de elección que manifiesta contaminación fecal reciente o condiciones higiénicas inadecuadas, esto por el método del número más probable, usando una serie de tres diluciones por muestra de harina proveniente de los tres sustratos evaluados, donde después de incubar los tubos de la prueba presuntiva se revisaron los tubos evaluar la presencia de burbujas de aire, siendo esto un resultado positivo.

De las muestras evaluadas ninguna de ellas mostró formación de burbujas o crecimiento en los tubos con medio de cultivo, por lo que no presentan presencia de *E. coli*, por lo tanto, no hubo necesidad de realizar las pruebas confirmativas, por lo tanto, se cumple con lo estipulado en la norma (< 3 NMP/g), en cuanto a la detección de esta bacteria, los resultados se resumen en la Tabla 1.

La ausencia de *E. coli* en las muestras de harina de lombriz puede atribuirse a varios factores como, la correcta gestión y tratamiento del sustrato, junto con un manejo higiénico en la producción de la harina, contribuyen a la eliminación de patógenos (Díaz, 2010).

Durante el procedimiento de detección de *Salmonella sp.* en agar SS, el cual es un agar selectivo y diferencial utilizado para el aislamiento de este género y algunas especies de *Shigella sp.* No se detectó la presencia de estos géneros en la harina de lombriz, al no encontrarse cepas características de *Salmonella* sp., colonias incoloras con centro negro, o de *Shigella sp*. colonias planas transparentes o incoloras, esto puede deberse al tratamiento que se da en la elaboración de este producto, como lo son las temperaturas que se manejaron para la desecación de las lombrices que fue de 105 °C, ya que se ha demostrado que temperaturas superiores a los 60°C son suficientes para la destrucción de la mayoría de microorganismos patógenos, dentro de los que se encuentran estos dos géneros (Davis y Pyle, 2020).

Por otro lado, García, López, y Hernández (2018) analizaron la presencia de patógenos en diferentes productos de insectos destinados a la alimentación animal y humana. En sus resultados, encontraron que las muestras de harina de lombriz tratadas adecuadamente no contenían *Salmonella sp.*, lo que sugiere que los métodos de procesamiento y las condiciones higiénicas son cruciales para prevenir la contaminación. De igual manera Osimani y colaboradores (2017), los cuales evaluaron la seguridad microbiológica de insectos comestibles, incluyendo harina de lombriz, demostrando que cuando los insectos o lombrices criadas y procesadas bajo condiciones controladas, el riesgo de contaminación por *Salmonella sp.* es mínimo.

En cuanto a la detección de *S. aureus,* una vez pasado el tiempo de incubación, se seleccionaron 5 colonias típicas y atípicas como lo marca el Método de referencia de la NOM-210-SSA1-2014 a estas se les realizó una tinción de Gram para determinar la morfología y tipo de coloración adquirida con esta técnica, obteniéndose bacilos Gram positivos (Figura 4), lo cual según el procedimiento se toma como negativo para la detección de esta bacteria, quedando exenta de las pruebas confirmatorias. La

ausencia de esta bacteria en la harina de lombriz es un indicativo positivo de seguridad alimentaria.

Varios estudios han demostrado que los procedimientos adecuados de procesamiento y manejo pueden eliminar o reducir significativamente la presencia de patógenos en productos de origen animal (Gunya y Masika, 2022; Vandeweyer *et al.,* 2021).

Figura 4.
Tinción de Gram

Los sustratos utilizados, especialmente cuando son bien composteados y manejados, pueden reducir la carga microbiológica inicial, minimizando el riesgo de contaminación.

Estos resultados son alentadores para la producción de harina de lombriz, ya que demuestran que es posible obtener un producto microbiológicamente seguro utilizando una variedad de sustratos. La adopción de buenas prácticas de manejo y procesamiento es crucial para mantener la seguridad y calidad del producto final.

Tabla 1
Determinación de E. coli por el método Número Más Probable

	Resultado	*Límite máximo permisible*
HEE	< 3 NMP/g	< 3 NMP/g
HEV	< 3 NMP/g	< 3 NMP/g
HH	< 3 NMP/g	< 3 NMP/g

D. Determinación de nitrógeno y proteína

La determinación del nitrógeno y posterior cálculo del porcentaje de proteína se realizó en la harina obtenida de cada uno de los sustratos, realizando 9 repeticiones de estas mediciones por muestra. La muestra tomada para cada una de las determinaciones fue de 0.2 g.

De los resultados obtenidos se realizó un Análisis de Varianza simple (ANOVA) con una prueba pos hoc de Tukey, encontrándose diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$), entre la harina obtenida en los tres sustratos evaluados, la prueba de comparaciones múltiples muestra diferencia entre el contenido de nitrógeno (Figura 3) y proteína (Figura 4), los asteriscos denotan las diferencias, entre la harina obtenida del sustrato de estiércol equino y los otros sustratos , mientras que no hubo diferencia significativa entre la harina procedente del sustrato de estiércol vacuno y hojarasca.

Los resultados indican que la harina de lombriz producida con estiércol de caballo tiene un porcentaje de proteína significativamente mayor que la obtenida de estiércol de vaca y hojarasca.

En promedio el porcentaje de nitrógeno obtenido fue de 7.4% para la harina proveniente de estiércol equino, 6.6% de la harina procedente del estiércol vacuno y 6.5% de la harina proveniente de la hojarasca (Tabla 2).

Los resultados obtenidos en el contenido de nitrógeno en la harina de lombriz varían entre el 6.4% en HH, 6.6% en HEV y 7.4% en HEE siendo este el más alto, resultados que coinciden con lo reportado por Aira y colaboradores en el 2007. Siendo que él nitrógeno es importante en la construcción de proteínas, su contenido puede ser utilizado como indicador indirecto para conocer el valor nutricional de la harina. Por otro lado, conocer el contenido de nitrógeno también es útil en caso de usar esta harina para la aplicación en la agricultura como abono, ajustando la concentración del mismo según los requerimientos que tenga cada uno de los cultivos (Edwards y Sherman, 2004), y así poder ir sustituyendo los fertilizantes orgánicos que tienen como efecto la perdida de la biodiversidad microbiana en el suelo y por consecuencia la fertilidad del mismo.

En cuanto a la determinación del porcentaje de proteína en la harina, se obtuvo en promedio de 46.2% para el sustrato de estiércol equino, 41.5% proveniente del estiércol vacuno y un 40.6% para el sustrato de hojarasca (Tabla 2). Los porcentajes obtenidos, aunque son altos a comparación del porcentaje contenido en la carne de res que es en promedio 20-25%, contrasta con lo reportado, lo cual tiene como contenido promedio de porcentaje de proteína en la harina de lombriz de 50-70% (Zhao *et al.,* 2016*,* Barragan-Fonseca *et al.,* 2019).

El alto contenido de proteína (46.1%) en la harina de lombriz producida con estiércol de caballo puede atribuirse a la composición nutritiva del estiércol equino. Este sustrato es rico en fibra y nitrógeno, lo que favorece la producción de proteína en las lombrices. Además, el estiércol de caballo tiende a tener una mayor diversidad de microbiota que puede potenciar la digestión y asimilación de nutrientes esenciales por parte de las lombrices (García y Oruña, 2005).

Con un 41.4% de proteína, la harina de lombriz derivada de estiércol de vaca también mostró un contenido proteico considerable, aunque inferior al del estiércol de caballo. El estiércol de vaca, aunque rico en materia orgánica, puede contener una mayor proporción de celulosa y menos nitrógeno utilizable, lo que podría limitar la síntesis de proteínas en las lombrices (Mullisaca, 2021).

El menor contenido de proteína (40.5%) en la harina de lombriz producida con hojarasca se debe probablemente a la naturaleza menos nutritiva de este sustrato en comparación con los

estiércoles. La hojarasca, siendo principalmente materia vegetal, tiene un contenido de nitrógeno más bajo y una mayor cantidad de lignina, lo que dificulta la digestión y la conversión eficiente en proteína por parte de las lombrices (Lalander *et al.,* 2019).

Tabla 2.
Promedio del porcentaje de nitrógeno y proteína de harina de lombriz proveniente de tres sustratos

	% Nitrógeno	*% Proteína*
HEE	7.4	46.1
HEV	6.6	41.4
HH	6.4	40.5

Esta variación en el porcentaje puede deberse a los sustratos utilizados en esta evaluación, ya que se trata de excretas las cuales ya pasaron por un proceso de absorción de nutrientes por un tracto digestivo, y de la hojarasca que en resumen son hojas que se van cayendo al suelo y que significaría la reducción de ciertos componentes.

Figura 3.
Porcentaje de nitrógeno entre HEE, HEV, y HH, los asteriscos denotan las diferencias entre los tratamientos

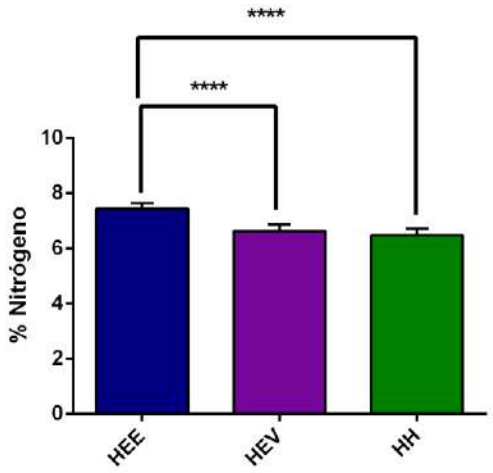
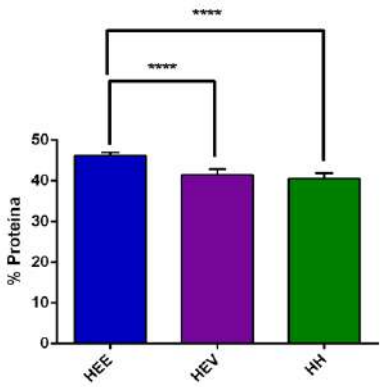


Figura 4.
Porcentaje de proteína entre HEE, HEV, y HH, los asteriscos denotan las diferencias entre los tratamientos



IV. CONCLUSIONES

La harina de lombriz tiene como característica principal una cantidad elevada de proteínas, alrededor de un 50-70% en base seca, posee un interés nutricional porque proporciona aminoácidos esenciales. Su obtención es de bajo costo al igual que su mantenimiento, esto se debe a que las lombrices se alimentan de desechos orgánicos, en este caso: estiércol vacuno, estiércol equino y hojarasca, crecen y se multiplican rápidamente (Alcívar, 2010).

La determinación del contenido de nitrógeno en la harina de lombriz resulta fundamental no solo para evaluar su calidad nutricional, sino también para su uso en la agricultura y la alimentación animal. A través de técnicas precisas como la destilación de Kjeldahl, hemos podido obtener resultados confiables que nos permiten entender mejor las propiedades y el potencial de este producto orgánico. Nuestro estudio ha revelado un contenido de nitrógeno significativo en la harina de lombriz, lo que sugiere su viabilidad como una fuente de nutrientes valiosa.

Sin embargo, es crucial realizar más investigaciones para comprender completamente su composición y sus efectos en diferentes aplicaciones agrícolas y alimenticias. Además, se requiere un análisis exhaustivo de los costos y beneficios ambientales y económicos asociados con la producción y el uso de esta harina. La determinación del contenido de nitrógeno en la harina de lombriz abre nuevas puertas para su aprovechamiento sostenible en diversos sectores, contribuyendo así a la búsqueda de soluciones innovadoras para los desafíos alimentarios y ambientales de nuestro tiempo. Los resultados obtenidos proporcionan una base para futuras investigaciones, donde se podrían explorar combinaciones de sustratos y diferentes condiciones de cultivo para optimizar aún más la producción de proteína en harina de lombriz.

Por otro lado, la harina de lombriz producida a partir de estiércol equino, estiércol vacuno y hojarasca cumple con los criterios establecidos por la NOM-210-SSA1-2014 en relación con la presencia de *E. coli*. La ausencia de S. aureus y *Salmonella sp.* en muestras de harina de lombriz se puede atribuir a prácticas de procesamiento eficientes, condiciones de cría controladas y el cumplimiento de normativas estrictas. Bajo condiciones adecuadas, la harina de lombriz es segura y no presenta riesgos significativos de contaminación por *Salmonella* sp. o *S. aureus*. La implementación de procedimientos higiénicos y métodos de tratamiento térmico asegura que este producto pueda ser una fuente viable y segura de proteína alternativa.

Estos hallazgos confirman la viabilidad de la harina de lombriz como un ingrediente seguro en la alimentación animal, humana y como abono agrícola, destacando la importancia de adherirse a prácticas de manejo higiénico y control de calidad en su producción. Además, estos resultados proporcionan una base para la confianza en la seguridad microbiológica de la harina de lombriz, abriendo posibilidades para su uso en una variedad de aplicaciones alimentarias y agrícolas.

V. AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento al Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Lerdo por las facilidades otorgadas para la realización de nuestro proyecto de investigación, tanto en el laboratorio para llevar a cabo los análisis como en el área de vermicompostaje para llevar a cabo las pruebas de los sustratos ensayados.

Agradecemos profundamente a las autoridades, docentes y personal del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico superior de Lerdo por el acceso a sus instalaciones y equipos, así como por el invaluable apoyo técnico y logístico proporcionado a lo largo de todo el proyecto. Sin su colaboración y disposición, este trabajo no hubiera sido posible.

El Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Lerdo ha demostrado ser una institución comprometida con el avance del conocimiento científico y la formación de profesionales capaces de enfrentar los desafíos actuales en el campo de la investigación y desarrollo tecnológico. Estamos profundamente agradecidos por su apoyo y esperamos poder continuar en futuros proyectos.

VI. REFERENCIAS

Aira, M., Monroy, F., Domínguez, J. (2007). "Changes in Microbial Biomass and Nutrient Availability Induced by Earthworms and Microorganisms in Pine Forest Soil". Pedobiologia, 51(3): 195-03.

Alcívar Cedeño, U. E. E. (2010). El valor nutritivo ahora viene de una lombriz. La técnica: la revista de las agrociencias, 18-19.

Barragan-Fonseca, K.B., Gort, G., Dicke, M. and van Loon, J.J.A. (2019), Effects of dietary protein and carbohydrate on life-history traits and body protein and fat contents of the black soldier fly *Hermetia illucens*. Physiol. Entomol., 44: 148-159. https://doi.org/10.1111/phen.12285

Calaveras, J. (2004). Nuevo Tratado de Panificación y Bollería. Mundi-Prensa Libros, S.A.

Carrera Fiallos, M. C. (2007). Estudio De Factibilidad Para La Construcción De Un Lombricario En ElCantón De Cayambe Provincia De Pichincha.

Davis, R., & Pyle, D. (2020). Heat Treatment of Food Products: Principles and Applications. Food Microbiology.

DGBIR, (2020). Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Díaz García, R. L. (2010). Producción De Compostas Y Reproducción De *Eisenia Foetida*Para La Obtención De Harina De Lombriz A Partir De Estiércol De Diferente Especie Animal. Torreón, Coahuila, México.

Edwards, C.A., Arancon, N.Q. & Sherman, R.L. (2004). "Effects of Vermicomposts on Growth and Marketable Fruits of Field-Grown Tomatoes, Peppers and Strawberries". Pedobiologia, 48(1): 83-87.

FAO. (2016). Food Climate Research Network. Plates, pyramids, planet.

García, López, y Hernández (2018). "Evaluación de la seguridad microbiológica de productos a base de insectos". Journal of Food Safety.

García, M. D., Oruña, L., & Martínez, V. (2005). Evaluación de la calidad proteica de harina de lombriz (Eisenia foetida) en ratas en crecimiento. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 39(3), 333-338. Retrieved 2023, from http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193017771011

Gunya, B., Masika, P.J. (2022). *Eisenia fetida* worm as an alternative source of protein for poultry: a review. *Int J Trop Insect Sci* 42, 1–8.

Heras Sierra, S. d. J. (2015). Producción De Compostas Y Reproducción De EiseniaFetida Para La Obtención De Harina De Lombriz A Partir De Estiercol De DiferenteEspecie Animal.

Horwitz, W. (Ed) (2005). Official methods of Analysis of AOAC International, 18th edition, AOAC International, Maryland, USA.

Jiménez-González, A., Gómez-Brandón, M., & Insam, H. (2020). Vermicomposting as a sustainable option for managing organic wastes and producing soil amendments: A review. Agronomy, 10(1), 65.

Kale, R. D., Singh, J., Singh, D., & Singh, B. (2016). Vermicomposting technology: Reviving the dreams of Sir Charles Darwin for scientific use of earthworms in sustainable development programs. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, 7, 48-66.

Kjeldahl, J. (1883) "Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern" (New method for the determination of nitrogen in organic substances), ***Zeitschrift** für analytische Chemie*, 22 (1) : 366-383.

Kummu, M., de Moel, H., Porkka, M., Siebert, S., Varis, O., & Ward, P. J. (2012). "Lost Food, Wasted Resources: Global Food Supply Chain Losses and Their Impacts on Freshwater, Cropland, and Fertilizer Use." Science of the Total Environment, 438, 477-489

Lalander, C., Senecal, J., Gros Calvo, M., Ahrens, L., Josefsson, S., Wiberg, K., Vinnerås, B. (2019). "Valorization of Organic Waste—Potential of the Black Soldier Fly (Hermetia illucens L.) and Other Insects." Environ Sci Pollut Res Int, 26(16), 16190-16201

Mullisaca Quispe, S. P. (2021). evaluación de la harina de lombriz (Eisenia Foetida) bajo diferentessustratos de alimentación en el municipio de la Paz.

Oonincx DG, van Itterbeeck J, Heetkamp MJ, van den Brand H, van Loon JJ, van Huis A. (2010). An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption. PLoS One.

Osimani et al. (2017). "Safety evaluation of edible insects: microbiological, mycotoxins, and allergens risks". Journal of Insects as Food and Feed.

Pérez-Lavalle L, Carrasco E, Valero A. (2020) Microbiological criteria: Principles for their establishment and application in food quality and safety. Ital J Food Saf. Apr 6;9(1):8543.

Secretaria de Salud (SSA) (2015). Productos y servicios. Métodos de prueba microbiológicos. Determinación de microorganismos indicadores. Determinación de microorganismos patógenos

Suarez Hernández, L. (2016). Evaluación de alternativas de secado en el proceso de elaboración deharina de lombriz. Ciencia Y Tecnología

Agropecuaria, 17(1), 55-71. https://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/461

Tiquia, S. M., & Tam, N. F. Y. (1996). Elimination of phytotoxicity during co-composting of spent pig-manure sawdust litter and pig sludge. Bioresource Technology, 55(3), 203-209.

Vandeweyer, D., De Smet, J., Van Looveren, N. and Van Campenhout, L., (2021). Biological contaminants in insects as food and feed. Journalof Insects as Food and Feed 7: 807-822.

Zhao X, Vázquez-Gutiérrez JL, Johansson DP, Landberg R, Langton M. (2016). Yellow Mealworm Protein for Food Purposes - Extraction and Functional Properties. PLoS One.

VII. AUTORES

Adriana Viramontes Acosta

https://orcid.org/0009-0002-3317-4181

Mónica Hernández López

https://orcid.org/0000-0001-6249-127X

Alan Joel Servín Prieto

https://orcid.org/0000-0002-5534-7875

Tania Elizabeth Velásquez Chávez

https://orcid.org/0009-0009-7788-1786

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

Análisis Avanzado de Vibraciones Mecánicas para la Detección Temprana de Fallas en Flechas de Motores Eléctricos Mediante el Uso del Analizador Fluke 810

Rivas-Valdez, R[1]; González-Vargas, L. A.[1]; Alvarado-Tovar, N. [2]; Huerta-Valenzuela, F[1]
Manqueros-Avilés, V.E.[1]

Datos de Adscripción:

[1] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Av. Tecnológico No.1555 Sur, Periférico Gómez-Lerdo Km. 14.5. Ciudad Lerdo, Estado de Durango. México. C.P. 35150.

[2] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de la Laguna. Blvd. Revolución y Av. Instituto Tecnológico de La Laguna, Torreón, Coahuila, C.P. 27000

✉ luis.gv@lerdo.tecnm.mx

Resumen. La detección temprana de fallas en motores eléctricos es esencial en la industria para evitar tiempos de inactividad por mantenimientos correctivos no programados con el alto costo que implica detener total o parcialmente la producción. Este artículo muestra el estudio de vibraciones mecánicas usando el analizador Fluke 810 para lograr una detección avanzada de fallas en las flechas de los motores. El Fluke 810 utiliza sensores de vibración de alta precisión para recopilar datos sobre las vibraciones generadas por equipos industriales en funcionamiento. Estos datos son analizados mediante algoritmos y técnicas de diagnóstico avanzados para identificar patrones característicos asociados con diferentes fallas, tales como desalineamiento, desgaste excesivo, desequilibrio y problemas de rodamientos. El análisis espectral descompone las vibraciones en sus componentes frecuenciales, lo que permite identificar las frecuencias dominantes vinculadas con las fallas en las flechas. El análisis de forma de onda permite visualizar patrones anormales o irregulares presentes en las vibraciones registradas. El estudio incluye un análisis de tendencias, que monitorea y compara las mediciones de vibración a lo largo del tiempo para identificar cambios sutiles, indicativos de un deterioro progresivo de las flechas del motor. El análisis de vibraciones mecánicas puede predecir fallas en las flechas de los motores eléctricos. Permitiendo una gestión proactiva del mantenimiento y la mejora del rendimiento de los equipos, evitando tiempos de inactividad y reduciendo costos de reparación. Los avances en el análisis demuestran que las vibraciones mecánicas brindan a las industrias una herramienta poderosa para garantizar la fiabilidad y eficiencia de sus motores.

***Palabras Clave* – Desequilibrio, espectro de vibraciones, FLUKE 810, holgura, rodamientos, vibraciones.**

***Abstract* - Early detection of faults in electric motors is crucial in industry to avoid downtime from unscheduled corrective maintenance, which can partially or fully halt production. This article presents a study on mechanical vibrations using the Fluke 810 analyzer to detect faults in motor shafts at an advanced stage. The Fluke 810 employs high-precision vibration sensors to collect data on the vibrations generated by operating industrial equipment. These data are analyzed using advanced algorithms and diagnostic techniques to identify characteristic patterns associated with different types of faults, such as misalignment, excessive wear, imbalance, and bearing issues. Spectral analysis decomposes vibrations into their frequency components, allowing for the identification of dominant frequencies linked to shaft faults, while waveform analysis visualizes abnormal or irregular vibration patterns. The study also incorporates trend analysis, enables continuous monitoring and comparison of vibration measurements over time to detect subtle changes that signal the progressive deterioration of motor shafts. By analyzing mechanical vibration, potential faults in electric motor shafts can be predicted. This approach for proactive maintenance and improved performance of industrial equipment. This approach helps avoid downtime and reducing repair costs. Advances in vibration analysis provide industries with a powerful tool to ensure the reliability and efficiency of their motors.**

***Keywords* – Bearings, clearance, imbalance, vibrations, vibration spectrum.**

I. INTRODUCCIÓN

"En el ámbito industrial, la implementación de estrategias de mantenimiento ha ido evolucionando de una manera significativa a través de los años. Normalmente, la distinción entre un método de detección convencional y uno avanzado en el contexto de las vibraciones mecánicas es fundamental para comprender la eficacia y precisión de las técnicas utilizadas en el mantenimiento predictivo de equipos industriales" (Piedra Díaz y Armas Cardona 2001). Mientras que un enfoque convencional, como el mantenimiento preventivo, se concentra en el reemplazo periódico de elementos o la aplicación de lubricantes como medida de precaución, carece de la capacidad para identificar problemas específicos en el elemento rodante. Esta aproximación no proporciona una garantía absoluta de que se

haya abordado una falla real, ya que las intervenciones se realizan de manera generalizada y preventiva. Por otro lado, un enfoque avanzado implica la recopilación y análisis de datos a través de tecnologías especializadas, como un acelerómetro triaxial (Universidad de Sevilla, 2008), en caso del Fluke 810. que permite capturar vibraciones de forma precisa y detallada. Estos datos son posteriormente procesados y comparados con normativas y bases de datos, ya previamente programados en el Tester Fluke 810, lo que proporciona una evaluación más completa y específica del estado del equipo. De esta manera, el método avanzado no solo permite una detección temprana y precisa de las fallas, sino que, también valida la efectividad de las correcciones realizadas, garantizando una gestión de activos más eficiente y confiable en entornos industriales.

En este mismo contexto, dicho proyecto se desenvuelve en la implementación del analizador de vibraciones mecánicas Fluke 810 para el mantenimiento predictivo de motores eléctricos. Veremos cómo esta herramienta avanzada puede identificar específicamente las piezas que requieren atención, proporcionando información detallada sobre el estado del motor así permitiendo una intervención para evitar fallas no deseadas, este proyecto no solo busca mejorar la eficiencia del mantenimiento, sino aumentar también la confiabilidad operativa y disminuir los gastos involucrados con el tiempo de inactividad no planificado y los reemplazos innecesarios.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

2.1 La Vibración Mecánica en equipos rotativos.

Los equipos rotativos comprenden un conjunto de mecanismos preparados para desempeñar funciones específicas, como reductores, bombas, agitadores, entre otros. Estas máquinas constan de dos partes principales: una parte productora de movimiento, como un motor o una biela, y otra parte que distribuye la energía a todos los componentes que conforman la máquina, generalmente a través de un eje.

El eje desempeña un papel crucial en el funcionamiento de la máquina, ya que determina la velocidad de rotación y transmite las vibraciones a todos los componentes, como rodamientos, engranajes, acoplamientos y bases. Por lo tanto, el eje es considerado la pieza principal de la máquina rotativa, ya que regula su funcionamiento y garantiza la correcta transmisión de energía y movimiento a través de todos los mecanismos presentes.

La frecuencia fundamental del sistema es la medida de la velocidad de rotación del eje de una máquina. Cada parte de la máquina genera una onda sinusoidal con una frecuencia que es un múltiplo armónico de esta frecuencia fundamental. Por ejemplo, la velocidad de rotación de los rodamientos se determina al multiplicar la cantidad de elementos rodantes por la velocidad de rotación del eje.

Por lo tanto, la señal de vibración de una máquina consiste en una superposición de ondas sinusoidales que varían en amplitud y frecuencia. Estas variaciones reflejan y determinan el estado general del sistema. La amplitud de estas vibraciones indica la severidad del problema vibratorio, mientras que la frecuencia identifica el componente vibrante específico. Basándose en estos parámetros, los expertos pueden evaluar el estado del equipo para así determinar si es necesario algún tipo de intervención o mantenimiento.

Se puede cuantificar el nivel de vibración mediante medidas de aceleración (g), velocidad (mm/s) o desplazamiento (µm).

“La intensidad de la vibración está determinada por el fabricante mediante cartas espectrales y, en muchos casos, se rigen por las normas ISO-10816, donde los niveles de vibración se clasifican según la velocidad de vibración” (Morales, 2011).

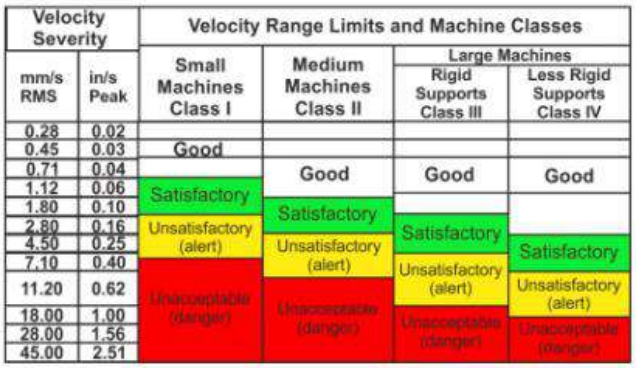
Cuando la frecuencia natural de un sistema es siempre mayor que la frecuencia de operación de una máquina, se le conoce como "rotor rígido". En este caso, no se produce resonancia, ya que las frecuencias nunca coinciden. Aunque la resonancia no se considera una falla en la máquina, puede tener un impacto significativo en los niveles de vibración. Una máquina que opera en resonancia mostrará niveles elevados de vibración, lo que puede conducir rápidamente a fallas.

En equipos que generan una amplia gama de energía vibratoria, la resonancia puede identificarse en el espectro como un pico constante, sin importar las variaciones en la velocidad de la máquina. Durante las pruebas de arranque, la forma de onda en el dominio del tiempo mostrará un valor máximo cuando las RPM coincidan con las frecuencias naturales. Además, el comportamiento del rotor también provoca un cambio de fase en la señal de vibración de la máquina.

“El especialista en vibraciones utiliza esta información para realizar un análisis del espectro de la señal de velocidad de vibración. En este análisis, se evalúa la magnitud total de la vibración utilizando el valor RMS (valor eficaz) del espectro correspondiente. Este valor se compara luego con los estándares establecidos en la normativa (ISO-10816)” para obtener un diagnóstico preciso del estado operativo de la máquina. La figura 1 ilustra las diferentes categorías de severidad del daño, las cuales se determinan en función del comportamiento del rotor o eje, teniendo en cuenta si son flexibles o rígidos. Estas categorías de severidad varían según la capacidad de la máquina y siguen la clasificación detallada en la normativa.

Figura 1

Estándares para la vibración mecánica (ISO-10816)



- Nivel 1: Equipo giratorios grandes con potencia superior a 300 kW. Máquinas eléctricas con altura de eje H ≥ 315 mm.
- Nivel 2: Equipo giratorios medianos con potencia entre 15 y 300 kW. Máquinas eléctricas con altura de eje 160 ≤ H ≤ 315 mm.
- Nivel 3: Bombas con impulsor de múltiples álabes y con motor separado (flujo centrífugo, axial o mixto) con potencia superior a 15 kW.
- Nivel 4: Bombas con impulsor de múltiples álabes y motor integrado (flujo centrífugo, axial o mixto) con potencia superior a 15 kW.

2.2 Fallos en Máquinas Rotativas

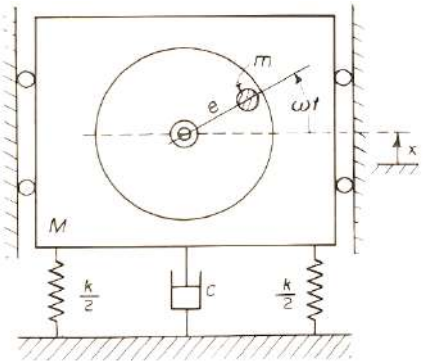
A. Desequilibrio másico.

Se dice que un elemento está en desequilibrio cuando su centro de masa, o centro de gravedad, no coincide con su centro geométrico, esto nos dice que, cuando el eje de giro no coincide con el eje longitudinal primario de inercia del rotor.

"El desequilibrio giratorio en una máquina ocurre cuando el centro de gravedad de la parte giratoria no coincide con el eje de giro. Normalmente, la cantidad de desequilibrio rotacional se expresa como *"me",* donde *"m"* es una masa excéntrica equivalente y *"e"* es la excentricidad. La fuerza centrífuga resultante, *"meω²",* debido a este desequilibrio, generará una excitación no deseada" (Seto, 1970).

"Consideramos aquí un sistema Resorte-Masa condicionado a moverse en sentido vertical y accionado por una máquina rotativa en desequilibrio, como muestra la figura 2. El desequilibrio está representado por una masa excéntrica "m" con excentricidad "e" que gira con una velocidad angular *"ω".* Si x representa el desplazamiento de la masa no rotante (M – m), desde la posición de equilibrio, el desplazamiento de *m* es (1)". (Thomson, 1983)

Figura 2.
Fuerza alteradora armónica que resulta en un desequilibrio.



$$m\,(x) = x + e \cdot sen(\omega \cdot t) \tag{1}$$

Entonces la fórmula del movimiento es:

$$(M-m)\ddot{x} + m\frac{d^2}{dt^2}(x + e \cdot sen(\omega \cdot t) = -kt - c\dot{x} \tag{2}$$

Que puede describirse como:

$$M \cdot \ddot{x} + c\dot{x} + kx = (m \cdot e \cdot \omega^2) \cdot sen(\omega \cdot t) \tag{3}$$

Es evidente que la fórmula (3) es igual a la fórmula de modelado para sistemas de un solo grado de libertad (4), que es la siguiente:

$$M \cdot \ddot{x} + c\dot{x} + kx = F_0 \cdot sen(\omega \cdot t) \tag{4}$$

Por tanto, F_o es reemplazada por $m \cdot e \cdot \omega^2$ y, de aquí, que la resolución estacionaria de la sección pueda ser sustituida por (5) y (6):

$$x = \frac{m \cdot e \cdot \omega^2}{\sqrt{(k - M \cdot \omega^2)^2 + (c \cdot \omega)^2}} \tag{5}$$

$$\tan\phi = \frac{c \cdot \omega}{k - M \cdot \omega^2} \tag{6}$$

Esto puede reducirse a forma no dimensional (7) y (8):

$$\frac{M}{m}\frac{X}{e} = \frac{\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}{\sqrt{\left[1-\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + \left[2 \cdot \xi \frac{\omega}{\omega_n}\right]^2}} \tag{7}$$

$$\tan\phi = \frac{2 \cdot \xi\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)}{1-\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2} \tag{8}$$

Presentado gráficamente como en el modelado masa resorte del motor visto previamente (figura 2). La solución completa está dada por (9):

$$x(t) = X_1 e^{-\xi\omega_n t} sen\left(\sqrt{1-\xi^2}\omega_n t + \phi_1\right) + \frac{m \cdot e \cdot \omega^2}{\sqrt{\left(k - M\omega^2\right)^2 + \left(c\omega\right)^2}} \cdot sen(\omega t - \phi) \tag{9}$$

Figura 3.
Vibración forzada con desequilibrio

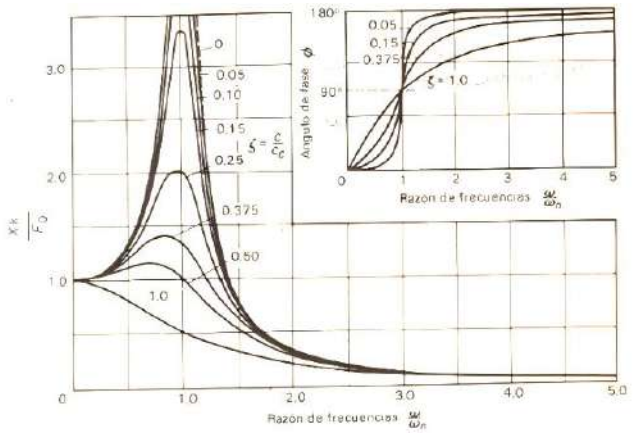
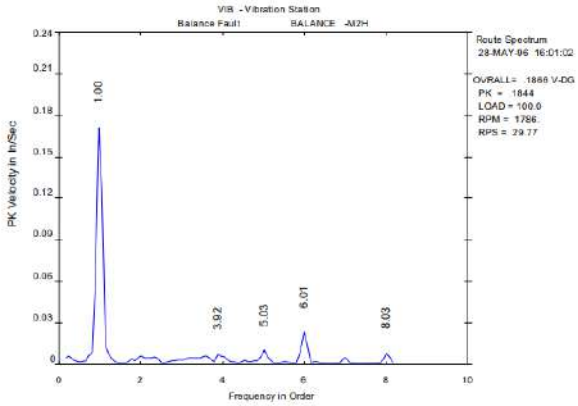


Figura 4.
Espectro típico de desequilibrio másico



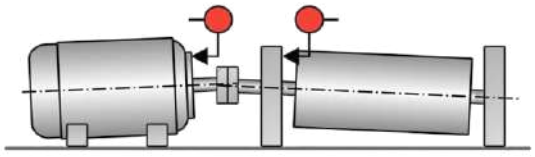
B. Desalineamiento

Este fenómeno ocurre cuando dos ejes ensamblados mediante un acoplamiento no están completamente alineados entre sí. Cuando hay desalineamiento en acoplamientos, poleas y rodamientos, se registran lecturas de vibración elevadas tanto en dirección radial como axial. (Legue, 2006)
Los tres desalineamientos típicos son los siguientes:

1. *Desalineación angular.*

Este se presenta, cuando los 2 ejes forman un ángulo entre sí a partir de su centro de giro.

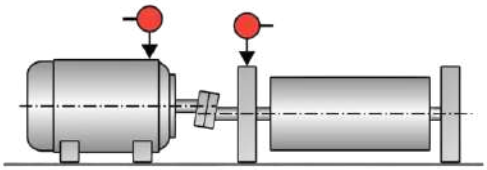
Figura 5.
Desalineación angular



2. *Desalineación paralela.*

En el caso siguiente, es cuando los ejes están desalineados paralelamente de su centro.

Figura 6.
Desalineación paralela



3. *Desalineamiento de cojinetes*.

Si el acoplamiento está correctamente alineado, puede haber falta de alineación entre el eje y el rodamiento. Esta falta de alineación puede deberse a deformaciones en la máquina o a un montaje inadecuado.

Figura 7.
Desalineamiento de cojinetes

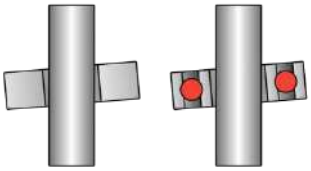
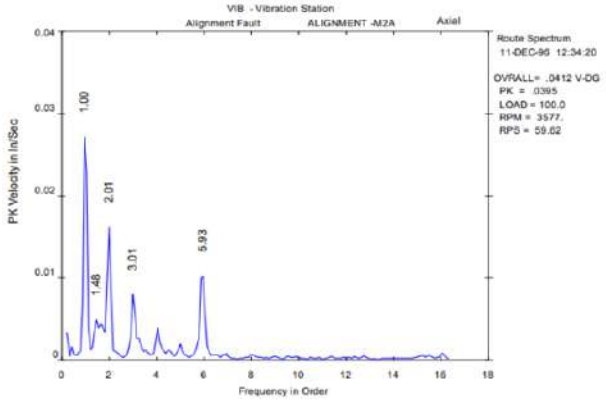


Figura 8.
Espectro típico de desalineamiento



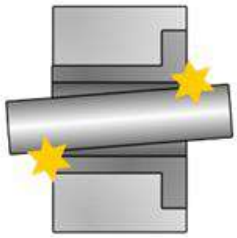
C. Holgura

Las holguras mecánicas pueden dividirse en dos tipos: giratorias y no giratorias. Las holguras giratorias surgen por un espacio excesivo entre elementos que giran y componentes fijos de la máquina, como puede ser en los rodamientos. Las holguras no giratorias son aquellas entre dos piezas estacionarias, como puede ocurrir en una base o en la carcasa de un rodamiento y la máquina. Cada tipo de holgura tiene características las cuales se detallan a continuación. (Fernández, 2017)

1. *Holguras del tipo elementos rotativos.*

"Estas holguras se interpretan al exhibir un espectro con múltiples frecuencias relacionadas con la velocidad de rotación del rotor. Esto incluye armónicos (1x, 2x, 3x, etc.), subarmónicos (0,5x) y armónicos intermedios (1,5x, 2,5x, 3,5x, etc.). Por lo general, estas holguras se presentan con mayor claridad en los sentidos radiales de medición (horizontales y verticales) que en los sentidos axiales" (Fernández, 2017).

Figura 9.
Holgura en elementos rotativos



A medida que la holgura aumenta, se detectan alteraciones específicas en el espectro de frecuencias, lo que facilita la clasificación de la severidad en cuatro niveles:

- Holgura incipiente: Primeros armónicos de velocidad presentes, con otros de amplitud menor.
- •. Posible holgura severa: Incremento en la amplitud del primer armónico y armónicos intermedios débiles
- Holgura sería: Incremento notable en la amplitud de los armónicos y presencia de intermedios.
- Holgura severa: Armónicos, intermedios y subarmónicos presentes, creando una banda ancha en el espectro. (Fernández, 2017).

2. *Holgura del tipo estructural.*

"Las holguras en componentes mecánicos no rotativos, como anclajes a la bancada, uniones de tuberías y cajas de rodamientos, tienden a manifestarse principalmente en direcciones radiales en lugar de axiales. Al analizar los espectros de frecuencia, se pueden observar múltiples armónicos de la velocidad de rotación del eje, como 1x, 2x, 3x, 4x, y así sucesivamente. Una señal importante que indica la gravedad de la holgura es comparar la amplitud de los armónicos a 2x y 3x con la frecuencia fundamental 1x. Si estas amplitudes superan el 50% de la amplitud del pico 1x, se considera que la holgura es más grave. La presencia de varios armónicos de la frecuencia de giro en el espectro de vibración se debe a un desequilibrio leve en el rotor, que actúa como una fuerza de excitación para las holguras causadas por el aflojamiento de los anclajes entre el soporte del rodamiento y la bancada" (Fernández, 2017).

Figura 10.
Holgura estructural

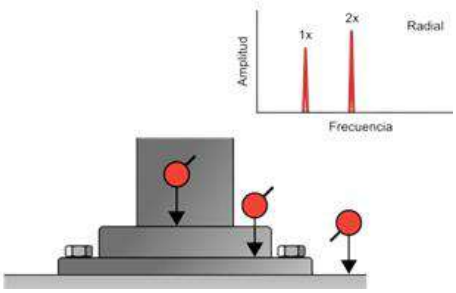
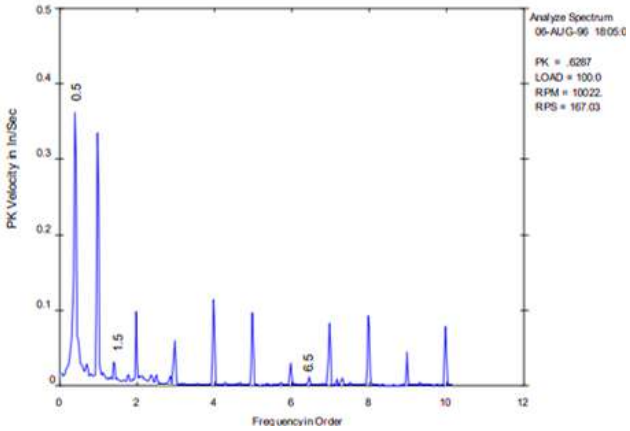


Figura 11.
Espectro representativo de holgura mecánica



D. Averías en los elementos rodantes

Cuando los elementos rodantes comienzan a desarrollar defectos, generan picos en cuatro tipos de frecuencias distintas.

- Frecuencias ultrasónicas.
- Frecuencias naturales de los elementos del rodamiento instalado.
- Frecuencias de falla de los componentes del rodamiento.
- Efectos de suma y diferencia de frecuencias sobre los componentes del espectro.

Para calcular las frecuencias de falla, están las siguientes fórmulas: (Morales, 2011)

$$BPF1 = \frac{N_b}{2}\left(1+\frac{B_d}{P_d}\cos\theta\right)\cdot RPM \qquad (10)$$

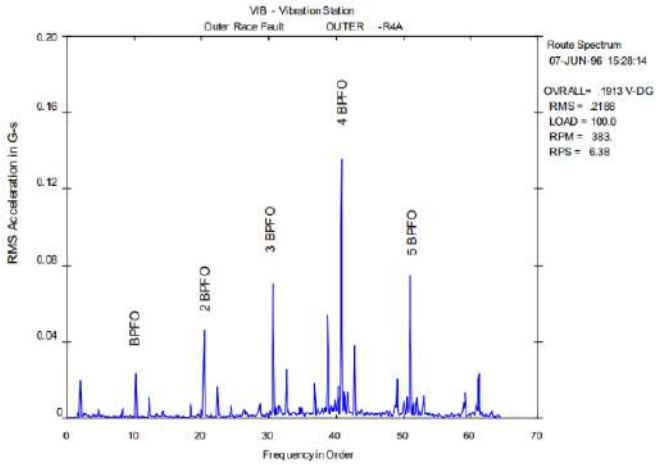
$$BPFO = \frac{N_b}{2}\left(1-\frac{B_d}{P_d}\cos\theta\right)\cdot RPM \qquad (11)$$

$$BSF = \frac{P_b}{2B_d}\left[1-\left(\frac{B_d}{P_d}\cos\theta\right)^2\right]\cdot RPM \qquad (12)$$

$$FTP = \frac{1}{2}\left(1-\frac{B_d}{P_d}\cos\theta\right)\cdot RPM \qquad (13)$$

BPFO: Ball pass frequency. Outer race (frecuencia de falla de la pista exterior)
BPFI: Ball pass frequency inner race (frecuencia de falla de la pista interior)
BSF: Ball spin frequency (freq. Paso de bolas o rodillos)
FTF: Fundamental train frequency (frec. Fundamental de canastilla)
Donde:
N_b = número de elementos rodantes
P_d = Diámetro primitivo
B_d = Diámetro de los elementos rodantes
$\backslash$ = Ángulo de contacto

Figura 12.
Espectro representativo de falla en la pista exterior de rodamientos



2.3 Hardware utilizado.

Figura 13.
Analizador de vibraciones mecánicas FLUKE 810

A. *Características básicas*:

a. Detección y ubicación simultánea de fallos mecánicos comunes (cojinetes, alineación incorrecta, desequilibrio, holguras).
b. Evaluación rápida del estado global del equipo a través de la pantalla de diagnóstico mediante el nivel global de vibraciones.
c. Escala de gravedad de averías (leve, moderada, grave, crítica) para dar preferencia al mantenimiento.
d. Recomendaciones de reparación para los técnicos.
e. Información de diagnóstico exhaustivos con gráficos espectrales.
f. Tacómetro láser para medir con exactitud la velocidad de las máquinas en operación.
g. Acelerómetro triaxial para reducir el tiempo de medida en comparación con sistemas de un solo eje.
h. Software Viewer para PC para almacenamiento de datos y seguimiento de equipos. (Fluke, 2024)

B. El analizador de vibraciones Fluke 810 puede ser útil en las siguientes tareas

a. Resolver rápidamente problemas en equipos y entender las causas principales de las averías.
b. examinar equipos antes y después de mantenimiento planificado y verificar reparaciones.
c. Instalar equipos nuevos y corroborar su correcta instalación.
d. Ofrecer evidencia cuantificable sobre el estado operativo de los equipos y orientar decisiones de reparación o reemplazo.
e. Priorizar y planificar reparaciones para mayor eficiencia.
f. Anticipar averías y controlar inventario de repuestos.
g. Capacitar a técnicos novatos de poca experiencia para aumentar sus habilidades y confianza. (Fluke, 2024)

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este estudio, se implementó el analizador de vibraciones Fluke 810 en dos equipos diferentes: un compresor de 2 pistones ubicado en la empresa "YPC de México" y un motor acoplado a una bomba en "ITSL".

Figura 14.
Medición de vibraciones del motor acoplado a compresor en empresa YPC de México

Figura 15.

Diagnóstico del motor acoplado al compresor.

Descripción del fallo	Gravedad del fallo	Índice de gravedad	Escala de gravedad
Holgura En Cojinete En Extremo Libre Del Motor	Seria	74/100	
Holgura En Cojinete En El Extremo De Accionamiento Del Motor	Seria	66/100	
Desgaste De Cojinete En Extremo De Accionamiento Del Motor	Seria	60/100	

Figura 16.
Espectro de holgura en cojinete en el extremo de accionamiento del motor.

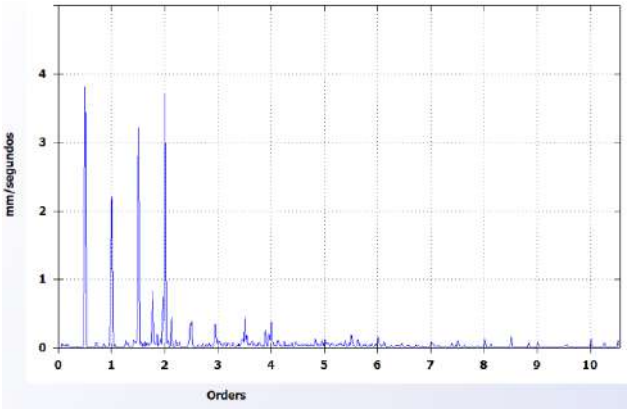


Figura 17.
Espectro de holgura en cojinete en extremo libre del motor.

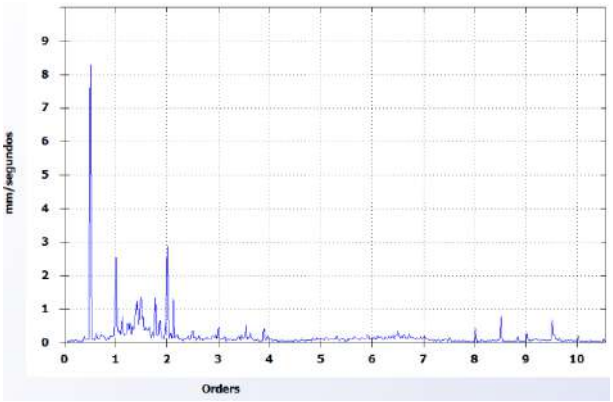


Figura 18.

Detalles de la configuración del motor acoplado a compresor.

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	No
Velocidad en RPM	1770
Kw nominales	7.5
Motor instalado	Horizontal
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	No
Acoplamiento entre el motor y el siguiente componente	Sí
Siguiente componente	Compresor
Tipo de soporte del componente actuado	Rodamiento
Tipo de compresor	Compresor del pistón

Figura 19.
Medición de vibraciones del motor acoplado a bomba en ITSL

Figura 20.
Diagnóstico de motor acoplado a bomba

Descripción del fallo	Gravedad del fallo	Índice de gravedad	Escala de gravedad
Desgaste En Rodamiento En Extremo De Accionamiento De Bomba	Seria	59/100	
Desgaste En Cojinete En Extremo Libre Del Motor	Seria	58/100	
Desgaste De Cojinete En Extremo De Accionamiento Del Motor	Seria	56/100	
Desgaste En Rodamiento En Extremo Libre De La Bomba	Moderada	50/100	
Holgura En Cojinete En Extremo Libre Del Motor	Moderada	31/100	

Figura 21.

Espectro de extremo libre del motor, en el cual hay presencia de holgura.

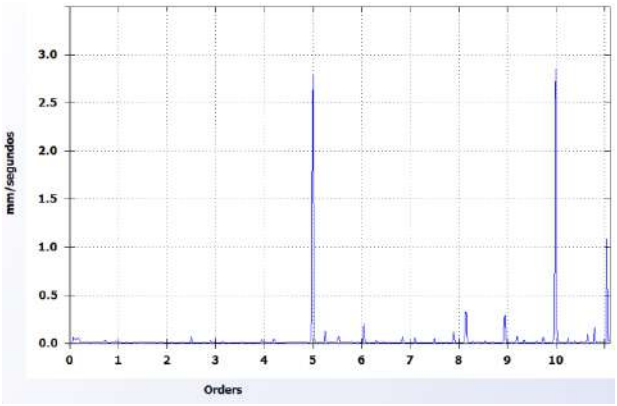


Figura 22.
Espectro de extremo de accionamiento del motor, en el cual está presente un desgaste y holgura en el cojinete.

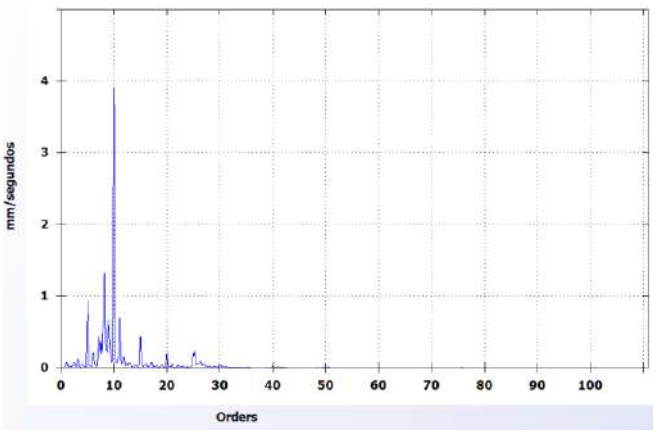


Figura 23.
Espectro de extremo del accionamiento de la bomba, en el cual hay presente holgura.

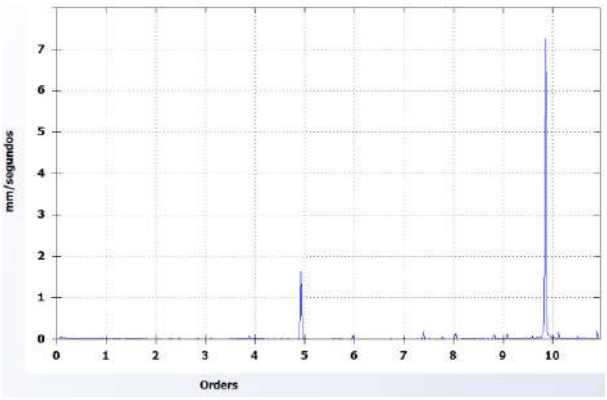


Figura 24.

Espectro de extremo libre de la bomba, en el cual hay presente un desgaste en el rodamiento y a la vez holgura.

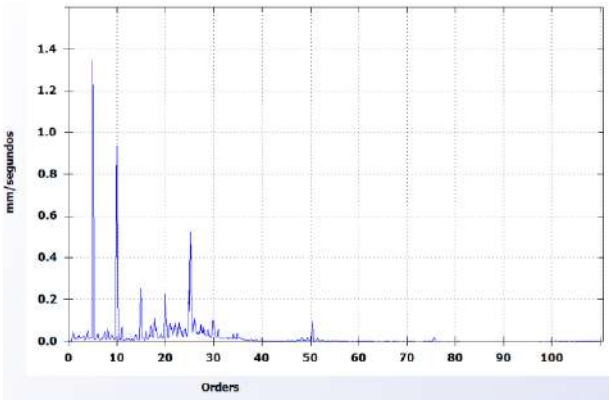


Figura 25.
Detalles de la configuración del motor acoplado a bomba

Campo configuración	Entrada
Tipo de motor	CA
Motor CA con variador de velocidad	Sí
Velocidad en RPM	1500
Kw nominales	.37
Motor instalado	Horizontal
El motor tiene	Rodamiento
Motor desacoplado del tren de accionamiento	No
Motor con acoplamiento compacto	No
Acoplamiento entre el motor y el siguiente componente	Sí
Siguiente componente	Bomba
Tipo de soporte del componente actuado	Rodamiento
Tipo de bomba	Centrífugo
Rodete soportado por:	Dos cojinetes
Nº de venas o aspas de la bomba [opcional]	

V. CONCLUSIONES

La utilización del analizador de vibraciones Fluke 810 se presenta como un instrumento esencial para el análisis y diagnóstico de maquinarias industriales. Su capacidad para detectar y evaluar vibraciones anómalas en maquinaria rotativa permite identificar potenciales problemas de forma temprana, lo que contribuye significativamente a la prevención de fallas y al mantenimiento predictivo. Además, su interfaz intuitiva y sus funciones avanzadas facilitan la interpretación de los datos recopilados, permitiendo a los ingenieros y técnicos tomar decisiones informadas sobre el estado y el rendimiento de los equipos.

Con respecto al diagnóstico del motor acoplado a compresor;
Se recomienda implementar un programa de mantenimiento preventivo para garantizar que las reparaciones necesarias no interfieran con la producción y eviten posibles pérdidas. En particular, se recomienda la sustitución del cojinete del extremo

de accionamiento del motor y el cojinete del extremo libre del mismo, debido a la presencia de una holgura significativa, lo que podría resultar en graves consecuencias. Es necesario abordar esta situación lo antes posible para prevenir cualquier posible catástrofe o pérdida de producción significativa

Ahora bien, con respecto al diagnóstico de motor acoplado a bomba; se recomienda establecer un plan de mantenimiento preventivo para para tomar las medidas necesarias de reparación, las cuales son la sustitución del rodamiento en el extremo de accionamiento de la bomba, los cojinetes tanto en extremo libre como en extremo de accionamiento del motor, y por otro lado de la bomba, sustituir el rodamiento en el extremo libre. Una vez completada esta sustitución, se aconseja realizar una nueva verificación para confirmar que el problema identificado por el equipo de diagnóstico Fluke 810 ha sido completamente corregido. Para esto se necesita llevar a cabo una nueva prueba de vibraciones para garantizar la eficacia de la reparación y asegurar el correcto funcionamiento del equipo en el futuro.

V. AGRADECIMIENTOS

Al Tecnológico Nacional de México, Campus Lerdo, así como al Departamento de Investigación y Desarrollo Tecnológico, doy gracias por proporcionar los recursos, infraestructura y herramientas necesarias para llevar a cabo este trabajo. También se expresa el agradecimiento a la empresa YPC de México S.A de C.V., por las facilidades prestadas en el desarrollo de esta investigación al permitirnos ingresar a su planta en Torreón Coah.

VI. REFERENCIAS

Piedra Díaz, R. A. A., & Armas Cardona, G. M. (coordinador). (2001). Las vibraciones mecánicas y su aplicación al mantenimiento predictivo. Centro de Altos Estudios Gerenciales ISID.

Fernández, P. A. (2017, February 27). Power-MI. Holguras. https://powermi.com/es/content/holguras

Rao, S. S. (2012). Vibraciones mecánicas (5th ed.). Pearson Educación.

Seto, W. W. (1970). *Teoría y problemas de vibraciones mecánicas*. Libros McGraw-Hill.

Legue, H. (2006). Problemática de las mediciones de vibraciones a bordo. Tesis de maestría, Universidad Austral de Chile.

Thomson, W. T. (1983). Teoría de vibraciones. Dossat S.A.

Fluke. (s/f). Alignment tools mechanical maintenance. Recuperado el 21 de marzo de 2024, de https://www.fluke.com/es-mx/producto/mantenimiento-mecanico/analisis-de-vibraciones/fluke-810

Morales, O. C. (2011). Análisis de tiempo-frecuencia de señales de vibraciones mecánicas para la detección de fallos en máquinas rotativas. (Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia).

Universidad de Sevilla. (2008, Junio). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE ACELERACIONES CON PROCESAMIENTO MEDIANTE MICROCONTROLADOR*. e-Reding. https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/11638

International Organization for Standardization. (2024). ISO 10816.

VII. AUTORES

Rafael Rivas Valdez
https://orcid.org/0009-0001-0515-5568

Luis Amado González Vargas
https://orcid.org/0009-0008-9094-6188

Noé Alvarado Tovar
https://orcid.org/0000-0001-6465-9961

Francisco Huerta Valenzuela
https://orcid.org/0009-0001-3073-6524

Victor Edi Manqueros Avilés
https://orcid.org/0009-0003-9717-1542

Emprender, desde la Perspectiva del Joven Universitario

González-Pérez, L.G.[1]; Díaz-Aguilera, L.[1], Torres-Ramos, N.V.[2]; Sánchez-García, A.[2]

Datos de Adscripción:
[1]Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Lerdo; Av. Tecnológico no. 1555 Sur, Periférico Gómez-Lerdo Km 14.5 C.P. 35150 Cd. Lerdo, Dgo. México.
[2] Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de la Laguna; Blvd. Revolución y Av. Instituto Tecnológico de la Laguna, Torreón, Coahuila, México. C.P. 27000
✉ laura.gp@itslerdo.edu.mx

Resumen **- Actualmente el emprendimiento se puede ver como una tendencia en los jóvenes, es por ello, que el objetivo de este trabajo es conocer la perspectiva del estudiante post pandemia con respecto a este tema. El estudio es parte de una investigación con enfoque mixto (cuantitativo y cualitativo), de alcance descriptivo correlacional, la muestra fue a 76 estudiantes de ingeniería industrial de 6º semestre, que oscilan entre 20-23 años, a los cuales se les aplicó un instrumento de referencia con 66 variables cuantitativas y 9 nominales. Los resultados muestran que emprender para el joven es correr riesgos y enfrentar retos. Hay aspectos que se deben de tener en cuenta como: economía, relaciones interpersonales, asesoría de expertos, el desarrollo de un plan estructurado además de informarse acerca del ámbito comercial y/o de negocios, para minimizar incertidumbre. Dentro de las características que el estudiante relaciona con una persona emprendedora son: creatividad, perseverancia, innovación, manejo de personal, visión, ser trabajador, alguien que le guste aprender. Con respecto al ámbito emocional, la opinión de la familia es significativa para la toma de decisiones del joven; si dentro de la misma, se han tenido experiencias de emprendimiento, origina una mayor motivación en él, para empezar un negocio. Todo esto muestra que el joven perteneciente a la generación Z, es consciente de lo que conlleva emprender, es por este motivo que prefiere primero trabajar en empresa antes que dedicarse a algún tipo de negocio, por la falta de experiencia y por el trabajo que implica.**

Palabras Clave **– actitud emprendedora, características del emprendedor, motivaciones, obstáculos de emprendimiento**

Abstract **– Entrepreneurship has become a notable trend among young people, and the objective of this research is to explore the post-pandemic student's perspectives on the topic. The study follows a mixed-methods approach (quantitative and qualitative) with a descriptive correlational design. The sample consisted of 76 sixth-semester industrial engineering students, aged 20-23 years old, who completed with 66 quantitative variables and 9 nominal variables. The results indicate that young people view entrepreneurship as a risk-taking venture that involves facing challenges. Key factors to consider include economic conditions, interpersonal relationships, expert guidance, the development of a structured plan and knowledge of the commercial and business environment, to reduce uncertainty. The student associated the following traits with entrepreneurial individuals: creativity, perseverance, innovation, personnel management, vision, a strong work ethic and a desire to learn. In terms of emotional factors, family opinion plays a significant role in the decision-making process. Students with prior entrepreneurial experiences within their families tend to feel more motivated to start a business, which has become a trend among them. The findings show that Generation Z students are aware of the demands of entrepreneurship. However, due to their lack of experience and challenges involved, they generally prefer to work in a company rather than start their own business.**

Keywords **– entrepreneurial attitude, characteristics of the entrepreneur, motivations, entrepreneurship obstacles**

I. INTRODUCCIÓN

Emprender según la Real Academia Española (2024), proviene del latín in que significa "en" y prendere "coger", como resultado se obtiene: acometer y comenzar una obra, un negocio, un empeño, especialmente si encierran dificultad o peligro; por lo que el emprendedor es quien emprende con resolución acciones o empresas innovadoras.

Bajo esta conceptualización se han desplegado diversas percepciones relacionadas con el contexto, a lo que se denomina generaciones; es por este motivo que en el presente artículo se expone el emprendimiento bajo la perspectiva social y económica de jóvenes universitarios, que permite ver sí emprender para ellos es algo importante y que tomarían en cuenta para su futuro, o bien, por el lado contrario por qué no sería considerado por ellos.

En la primera parte del artículo se expone el marco teórico que fundamenta al mismo. Para continuar con la parte técnica, en donde se proyecta la metodología que se siguió en conjunto con los procesamientos estadísticos utilizados y de los cuales se obtuvieron los resultados planteados. Finalmente se visualizan las conclusiones del trabajo realizado.

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

1.1 Características del emprendedor y la importancia de emprender.

Emprender es un riesgo que no todas las personas están dispuestas a afrontar, ya que implica horas de trabajo, involucrarse en cada detalle, toma de decisiones exhaustivas, algunas desilusiones, e inclusive hasta se puede llegar a las lágrimas por no obtener lo esperado. Uno de los errores que se cometen al intentar desarrollar un negocio, es hacerlo en algo distinto a lo que se conoce, por lo que en todo emprendimiento se debe trabajar en lo que realmente te apasiona, y no solamente eso, sino aprender a trabajar en equipo, ya que esto es fundamental para el éxito del proyecto.

“En la medida en que uno empieza a ver que es posible, uno comienza a creer en el proyecto” (Molina & Guillén, 2021)

Gran parte de las personas sienten inseguridad a enfrentarse a nuevos retos, dejar la zona de confort, es por ello, que el autor expone que hay luz al final del túnel, y motiva a creer en uno mismo, y en cada proyecto que se puede llegar a tener.

Según Martin (2008) algo que define al emprendedor es la búsqueda de situaciones nuevas, experiencias intensas y emociones inéditas, las situaciones de riesgo son consideradas o vistas como metas, por lo que no todas las personas están dispuestas a afrontar este tipo de situaciones, hay quienes prefieren estar en lo seguro, y vivir tranquilamente.

“El buen emprendedor valora siempre lo logrado y transmite su entusiasmo a los que están junto a él” (Martin, 2008)

Esteban (2014), expone que hay dos posibilidades para emprender, una es por devoción, a lo que él llama interés, aquí hay un convencimiento para hacerlo, y la otra es por obligación o accidente, ésta es cuando se han cerrado todas las puertas y no te queda otra que hacerlo, es aquí en donde se necesita un empujón, y él mismo muestra una tercera razón para emprender que es: el mundo te necesita. Necesita gente emprendedora, que genere riqueza.

Bajo estas consideraciones, la economía de la región y del país, requiere de personas que generen empleos y que fortalezcan a la misma, es por este motivo que se ha volteado la mirada a seducir a la juventud, incentivándolos con apoyos económicos gubernamentales; y en la educación formal, con planes y programas de estudio relacionados con el emprendimiento.

Según el estudio del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2024) entre mayo de 2019 y mayo 2023 en referencia a micro, pequeña, mediana empresa, que realizan actividades manufactureras, comerciales y de servicios privados no financieros; nacieron 1.7 millones de establecimientos y murieron 1.4 millones, el sector con mayor proporción de muertes y nacimientos en 2023 fue el de servicios, por cada 10 mil establecimientos reportados, murieron al mes 71 y nacieron 61, disminuyendo la tasa de muertes.

Estas estadísticas muestran que se tienen enormes retos para que los negocios prosperen en un mercado muy competitivo, sin embargo, se exhibe que las Pymes en México son importantes para la economía.

Prosiguiendo con el autor Esteban (2014); define una serie de situaciones en donde los emprendedores consiguen las ideas de negocios:

- Observan el entorno de manera eficaz.
- Adquieren experiencia en su trabajo y quieren aplicarla de manera eficiente.
- Leen libros, artículos, revistas
- Tratan de imitar las experiencias de otros.
- Hablan con muchas personas de diferentes perfiles, y sobre todo escuchan.
- Asisten a ferias donde observan nuevos productos o servicios.
- Observan a los mejores colegas.
- Están abiertos de mente para aplicar un nuevo enfoque a los temas.
- Tienen ganas de cambiar parte del mundo.

Sin lugar a dudas, estas características son fundamentales para ver oportunidades de negocios, y no solamente tener ideas que nadie compre.

1.2 Emprender bajo el concepto de la generación Z

Es importante conocer la generación que en estos momentos se está apuntando para ser emprendedores en el mercado, pues si bien es cierto, tienen características que los diferencia a las generaciones anteriores.

Para comenzar a comprender sobre está generación es preciso comentar que este grupo de personas es nacido a finales de la década de 1990 e inicios de los 2000 (Brutti, 2023), también denominada generación post millennial. A continuación, se dará pauta para explicar las características de esta generación.

“Generación Z es que han sido criados para ser “blandos” (...) Es blanda para enfrentarse a las dificultades más duras de la vida, busca a menudo ser rescatada o culpar a alguien por sus circunstancias. Los de la generación Z también son conocidos por ser blandos al abrirse su propio camino en el deporte, en lo académico, en la admisión a la universidad y en el empleo.” (III, 2019)

La autora explica que esta generación tiende a ser más sensible, debido a que llevan a cabo un razonamiento emocional, ya que es una generación etiquetada por todo, por consiguiente, espera a que se le dé todo, sin el mínimo esfuerzo.

La misma autora plantea las características entre una generación y otra, en donde manifiesta que la generación z, tiene como metas en la vida, lograr objetivos, tener un trabajo inteligente, además de éxito económico, pueden llegar a trabajar para otras

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

compañías o de manera independiente, pues tienen un espíritu emprendedor, como parte de sus incentivos es la compatibilidad de horario, y el trabajo autónomo.

Es una generación que no se ata tan fácil a un trabajo, sino por el contrario, si no se siente bien en éste, o percibe que a través de él no deja huella, o alguna aportación, lo abandona.

Esta generación se siente con más permiso de ser como son, la seguridad la proyectan desde sus gustos e intereses.

Lozano et al. (2019) define que, para estos jóvenes, el dinero es concebido como algo más que un simple papel, este desprendimiento los hace consumidores más conscientes y menos despilfarradores, pues tienen en cuenta que están solo a un clic de gastar, invertir o usarlo, generando mayor responsabilidad.

Para esta generación el emprendimiento se ha relacionado con el descubrimiento de oportunidades rentables, el autor presenta seis factores que los jóvenes toman en cuenta para emprender:

1. Salirse del molde, pensar diferente.
2. Hacer lo que a uno le gusta y no lo que le toca. Las labores ahora son pasiones.
3. Portadores de la bandera de la igualdad.
4. El espacio ya no debería ser la oficina. La máxima es trabajar donde les gusta.
5. Convertir los gustos en negocio.
6. Sentir que ayuda con su trabajo. Si no aporta, no tiene sentido.

Como ya se pudo leer, esta generación es espontánea, busca la flexibilidad en el trabajo y, por consiguiente, esto le permite ver la posibilidad de ser sus propios empleadores, y como nativos digitales están abriendo puertas hacia este mercado, permitiéndoles encontrar nuevas oportunidades de expresión y expansión.

1.3 La universidad y el emprendimiento

El papel de la universidad en el desarrollo de una sociedad juega un papel importante, estas instituciones son capacitadoras de líderes emprendedores, es por ello que desde su estructura debe de estar enfocada hacia los nuevos retos sociales.

Fiet (2000) como se citó en Ripollés (2011) los métodos tradicionales de enseñanza en las universidades han quedado estancados, y como parte de los inconvenientes de dichos métodos para el fomento de las competencias emprendedoras son:

- Se da por hecho que el estudiante se va a encontrar con las mismas circunstancias que se trabajan en los casos prácticos o lecturas, con lo que se están generalizando comportamientos que no tienen por qué cumplirse en otros contextos.
- Se está asumiendo que hay un comportamiento emprendedor ideal, ejemplificado en estos casos prácticos. La realidad dice que el mejor comportamiento emprendedor dependerá de las circunstancias que se presenten.
- Se está aceptando la hipótesis de que la información del pasado permite entender el futuro. Esta hipótesis no se sostiene en entornos turbulentos como los actuales.
- Se está asumiendo que el conocimiento emprendedor es una información pública por lo que todos los individuos podrían convertirse en emprendedores de éxito ya que poseen esa información.

La autora en su artículo, deja ver que el docente debe ser el guía que motive al estudiante a pensar de forma creativa y transgresora, lo que le permitirá al joven estar buscando continuamente información de su entorno, que le servirá de complemento en su proceso de experimentación, y sobre todo en la identificación de oportunidades.

Una de estas metodologías propuestas es el plan de negocios como herramienta de aprendizaje, apegándose a la realidad, siendo susceptible de convertirse en una nueva empresa.

1.4 Casos de éxito de emprendedores mexicanos

A continuación, se muestran algunos casos de emprendedores mexicanos que han traspasado fronteras, mismos que son mencionados por Pizcueta (2024) en su página.

Gabriela León

Graduada en Ingeniería Bioquímica por la UNAM Iztapalapa, es la fundadora de Grexmex, esta empresa desarrolla productos Éviter, como desinfectantes utilizados en hospitales para evitar infecciones, ella logró crear una nano biomolécula que detiene virus, bacterias, hongos esporas hasta por 72 hrs. Fue nombrada por la ONU como “salvadora de la humanidad”, ya que su invento contribuyó a controlar el brote de ébola en África occidental en 2014. Asimismo, su descubrimiento la hizo acreedora al premio Nacional de Salud 2016.

Andrés García Gasca

Fundador y director ejecutivo de Trisol, empresa fabricante de materias primas, encargada de reciclar y transformar llantas usadas en superficies deportivas, pisos decorativos, industriales. La idea de esta empresa comenzó cuando Andrés era estudiante y desarrolló un proyecto escolar. Se le ha reconocido con el premio Latinoamérica verde.

Ambos casos han coincidido en la importancia del emprendimiento relacionada con la educación escolarizada, el primer caso de éxito partió de los conocimientos adquiridos en su profesión para el desarrollo de la innovación, y el segundo como

ya se indicó comenzó como proyecto escolar, aunado a las ganas de hacer algo diferente.

Estos casos de éxito iniciaron a partir de problemáticas sociales, por lo que se enfocaron en necesidades actuales para el desarrollo de la idea, destacando que su preparación académica fue fundamental para la planeación y elaboración del producto; además para los dos emprendedores representó un reto, el cual convirtieron en un área de oportunidad para comercializar. Actualmente ambos siguen investigando, y tratando de innovar nuevos productos.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

El presente trabajo es obtenido de los resultados de una investigación de alcance descriptivo, correlacional. (Hernández, Fernández & Baptista, 2014)

Es descriptivo debido a que la meta del investigador consiste en describir el fenómeno, detallando cómo se manifiesta a través de la literatura y resultados de la investigación. Se busca especificar las características de un perfil de personas que más adelante se presentan, sometiéndose así a un análisis.

Es correlacional; se evalúa el grado de asociación entre dos o más variables, intentando predecir el valor aproximado que tendrá el grupo de individuos al que se les aplicó el instrumento, a partir del valor que poseen en las variables relacionadas.

El enfoque utilizado en la investigación es considerado mixto, debido a que la medición estandarizada (instrumento referencial) el 80% de cuestionamientos produce datos cuantitativos, el otro 20% las preguntas están diseñadas para generar datos cualitativos, como datos personales entre ellos se encuentran la edad, con quién vive, si su padre o madre trabajan actualmente, qué preparación académica tienen sus padres, etc.

Bajo estas consideraciones, se recolectan y analizan datos cuantitativos y cualitativos, la interpretación es producto de toda esta información.

Se tomó una muestra de 76 sujetos, de una población de 138 cuyas edades oscilan entre los 20-23 años de edad, son pertenecientes a la carrera de ingeniería industrial del 6° semestre del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo ubicado en la ciudad de Lerdo, Durango. Mex.; el 57% de ellos son del género masculino, y 43% del género femenino. El nivel socioeconómico de estos jóvenes es C (medio) y C- (medio bajo), según la clasificación realizada por la Asociación Mexicana de Agencias de Investigación de Mercado (2024).

La investigación de la cual se extrae este trabajo consta de un instrumento de referencia, el cual fue aplicado a los sujetos, y está constituido por 9 variables de corte nominal y 66 variables cuantitativas continuas, con escala de medida de intervalo de 0-100.

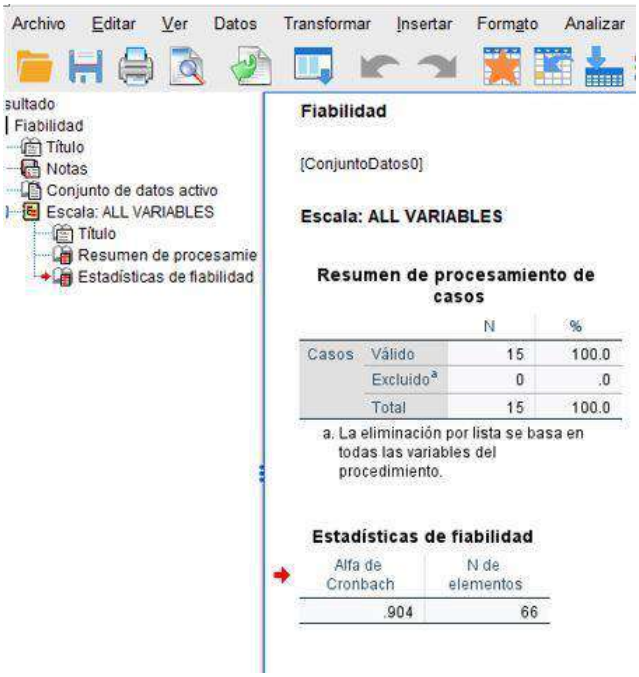
La confiabilidad se obtuvo al aplicar el instrumento a 15 personas, el método de cálculo fue el Alfa de Cronbach, se empleó el programa SPSS. Se destaca que este método evalúa si las preguntas están relacionadas entre sí y miden el mismo constructo, analizando la correlación entre todas las preguntas empleadas.

El resultado obtenido fue de 0.904, esto representa un valor alto en una escala medible de 0 a 1, por lo que muestra una mayor consistencia entre las preguntas.

En la figura 1, se puede visualizar el resultado arrojado por el sistema.

Figura 1

Resultado Alfa de Cronbach



Asimismo, la validez del instrumento se consiguió compartiendo el mismo a un grupo de expertos.

Se utilizaron estadígrafos para el análisis de los datos, empleando el programa statistic versión 12.

Se trabajó con medidas de correlación como el coeficiente de correlación Pearson. Dicho procesamiento se corrió a un nivel de significancia de 0.01. El coeficiente de correlación puede tomar un rango de valores de +1 a -1. Un valor mayor que 0 indica asociación positiva, un valor menos que 0 indica una asociación negativa. Asimismo, se utilizó la estadística descriptiva, de la cual se obtuvo la media, límite inferior y superior, coeficiente de variación y puntaje z.

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Es importante considerar que cuando se precisa el nombre de *joven*, se está tomando en cuenta que las características de la muestra son: individuo de 20-23 años de edad, perteneciente a la carrera de ingeniería industrial del 6º semestre.

A continuación, se presentan los resultados de la investigación científica. Se realizó el análisis y lectura del límite o cauda superior y límite inferior, ambos como parte de la estadística descriptiva.

Tabla 1
Límite Superior

Operacionalización	*Media*	*Desvest[a]*	*CV*	*Z*
Es necesario motivar a los empleados	96.86	6.34	6.55	0.07
Consideras que la actitud es fundamental para emprender un negocio	96.75	7.04	7.29	0.08
te gusta que las cosas salgan como tú las esperas	93.84	14.81	15.79	0.17
Te gusta aprender cosas nuevas	92.02	16.51	17.95	0.20
Aprendes de los errores	90.90	13.60	14.96	0.16
Escuchar a personas de éxito en los negocios, te motiva para poder crear el tuyo	90.78	17.66	19.46	0.21
Alguna vez soñaste con hacer algo que te apasiona	89.19	21.08	23.64	0.27
Ser innovador es importante para emprender	89.19	15.68	17.58	0.20
Prefieres realizar actividades nuevas en tu vida	88.06	18.32	20.80	0.24
Un emprendedor debe de ser una persona creativa	87.18	18.55	21.28	0.24
Consideras que un emprendedor trabaja mucho	86.71	19.16	22.10	0.25
Eres perseverante	86.55	15.27	17.65	0.20
Es importante considerar las tendencias del mercado para poder emprender	86.43	18.94	21.92	0.25
Consideras que la institución educativa en la que estudias debería de tener un enfoque más emprendedor	86.40	17.40	20.14	0.23

Nota. [a] Desvest es la abreviatura utilizada para la desviación estándar

En relación con la tabla 1 de límite superior, realizando la lectura de resultados, se muestra que para los jóvenes la actitud es muy importante para poder emprender, pues un emprendedor debe de ser una persona creativa, innovadora, perseverante, debe de motivar a los empleados, un emprendedor es una persona que trabaja mucho y aprende de sus errores. Asimismo, escuchar a personas de éxito en los negocios, lo motiva a crear su propio negocio, también expone que es importante considerar las tendencias del mercado, igualmente considera que la institución educativa en la que estudia, debería de tener un enfoque más emprendedor.

Estos resultados muestran que el estudiante de ingeniería industrial considera importante el emprendimiento de un negocio, y destaca características que apoyarían a tomar ese tipo de riesgos, se acentúa la parte de innovación, como parte del perfil académico que el estudiante debe de desarrollar; asimismo, la perseverancia y el estar continuamente realizando actividades nuevas le permiten ampliar su visión, y buscar lo que les apasiona a estos jóvenes.

Otro aspecto a resaltar es que ellos buscan más apoyo por parte de la institución educativa en temas de negocios-emprendimiento, que le puedan aportar conocimiento o experiencias para su futuro.

Por su parte la primera operacionalización en la tabla, está relacionada con la motivación a los empleados, dejando ver que emprender es generar empleos y no solo eso, sino comprometerse con la parte interna y que va a fortalecer el negocio, como es el personal, y que a su vez es el hilo delgado con el que se debe de trabajar más y el más complejo dentro del emprendimiento.

Tabla 2
Límite Inferior

Operacionalización	*Media*	*Desvest[a]*	*CV*	*Z*
Consideras que, en tiempo de crisis, no es recomendable emprender	59.65	33.56	56.25	1.78
Tienes miedo al fracaso	57.92	34.53	59.62	1.68
El entorno familiar influye en tus decisiones	57.89	36.80	63.57	1.57
Consideras que es lo mismo ser emprendedor que empresario	57.46	31.80	55.35	1.81
Consideras que se necesita mucho dinero para emprender	56.72	26.54	46.78	2.14
Necesitas acompañamiento(coach) para poder emprender	56.71	33.93	59.83	1.67
Has dejado proyectos o actividades inconclusas	55.65	35.36	63.54	1.57
Para emprender un negocio es necesario correr con suerte	53.38	28.70	53.76	1.86
A tu edad consideras que es difícil emprender	52.42	32.70	62.38	1.60
Prefieres trabajar en empresa antes que emprender un negocio	50.82	29.73	58.49	1.71
Has invertido alguna vez en un negocio	49.5	44.73	90.37	1.11
Te da pena exponer tu producto al público	46.77	35.42	75.73	1.32
Emprender es ganar problemas	42.82	30.62	71.49	1.40
Te importa lo que piense la demás gente de ti	40.02	35.53	88.77	1.13

Nota. [a]Desvest es la abreviatura de desviación estándar

En la tabla 2 del límite inferior se muestra que la percepción del joven frente a emprender es que se requiere de acompañamiento para poder emprender, considera que en

tiempo de crisis no es muy recomendable emprender, aunque a la vez, es necesario correr con suerte para emprender, a su edad le parece difícil emprender, pues se ganaría problemas, además de que necesita dinero para hacerlo, y tiene miedo al fracaso, por su parte, ha invertido alguna vez en un negocio, y prefiere trabajar en empresa antes de emprender.

En lo que respecta a la toma de decisiones, su familia influye en las mismas, y le importa lo que los demás piensen, ha dejado proyectos y actividades inconclusas.

Teniendo en consideración estos resultados, se demuestra que para ser emprendedor se requiere de esas características anteriormente señaladas en la tabla 1, y que en esta tabla 2, el joven muestra inquietud, sin embargo, hay aspectos que lo limitan como la parte económica, la parte emocional vinculada con el autoestima-inseguridades y cuestiones internas del joven, y la parte social, que se ve más sistemáticamente (en conjunto con lo económico y emocional) tomando en consideración la familia, y el ambiente externo (amigos, compañeros, etc.)

A continuación, se exponen los resultados concernientes a los estadígrafos correlacionales. En cada tabla se muestra la asociación presentada por cada variable siendo las más significativas en el tema.

Tabla 3
Correlación Has Tenido Ideas que Se Han Convertido en Negocio

Operacionalización	*Correlación*
Te identificas con la idea de ser emprendedor	0.5722
Has invertido alguna vez en un negocio	0.5170
Eres creativo	0.4858
Consideras que eres buen vendedor	0.4655
Tienes familia que ha emprendido algún tipo de negocio	0.4103
Has detectado necesidades en las personas con las que puedes desarrollar productos	0.4043
Has vendido algo en tu vida	0.3865
Te gusta enfrentar los retos	0.3865
Leer noticias referentes al ámbito comercial y/o negocios	0.3825
Tienes definidor qué hacer de aquí a 5 años	0.3663
Estás dispuesto a sacrificar cosas por conseguir lo que quieres	0.3508
Un emprendedor debe de ser una persona creativa	0.3489
Tienes facilidad de palabra	0.3483
Te relacionas fácilmente con personas que no conoces	0.3410
Te gusta correr riesgos	0.3383
Posees las cualidades necesarias para emprender un negocio	0.2992
Eres observador	0.2987

En esta tabla 3, se muestra que los jóvenes han detectado necesidades en las personas, las cuales lo pueden llevar a desarrollar productos para satisfacerlas, además han invertido en algún negocio, y/o tienen familia que lo han hecho, generando en ellos competencias que les permite considerarse buenos vendedores, y establecer fácilmente relaciones interpersonales, esto a su vez permite que se identifique con la idea de ser emprendedor, considerando que esto implica tener un plan estructurado, correr riesgos, enfrentar retos, ser creativo, observador, e informarse acerca del ámbito comercial y/o de negocios. En esta tabla el resultado apunta a que, para el estudiante, no solamente es tener una buena idea de negocio, sino está debe de ir de la mano con ciertas cualidades para que pueda llegar a convertirse en negocio, es claro para él, que la experiencia obtenida per se, o familiar le ha ayudado a tener una visión más amplia de lo que necesita.

Tabla 4
Correlación a Tu Edad Consideras que Es Difícil Emprender

Operacionalización	*Correlación*
Para ser emprendedor necesitas tener contactos y relaciones públicas	0.4640
Consideras que se necesita mucho dinero para emprender	0.4635
Consideras que la institución educativa en la que estudias, debería de tener un enfoque más emprendedor	0.4265
Necesitas acompañamiento(coach) para poder emprender	0.3354
Consideras que no cuentas con la experiencia suficiente para emprender un negocio	0.3067
Te cuesta trabajo realizar cambios en tu vida	0.3043
Ser emprendedor supone ser una persona ambiciosa	0.3040
El entorno familiar influye en tus decisiones	0.3032

Se expone en la tabla 4, que según la perspectiva del joven para poder emprender se necesita del aspecto económico, además de que se requiere de la asesoría de un coach, pues considera que no tiene la experiencia suficiente para hacerlo y muestra que la institución educativa en donde estudia, debería de tener un enfoque más emprendedor. Asimismo, manifiesta que se necesitan contactos y relaciones públicas. Su entorno familiar influye en sus decisiones; asimismo, le cuesta trabajo realizar cambios en su vida.

Estos resultados llevan a que para el joven es difícil emprender, porque se enfrenta a algo hasta cierto punto desconocido, es importante destacar que las limitantes correlacionadas en esta tabla, son aspectos de índole económico-emocional, en donde el estudiante manifiesta la importancia de un acompañamiento/apoyo/respaldo en este proyecto.

Tabla 5
Correlación Consideras que Todos Deberíamos de Emprender

Operacionalización	*Correlación*
Te gusta correr riesgos	0.4738
Ser innovador es importante para emprender	0.4584
Eres perseverante	0.4569
Te identificas con la idea de ser emprendedor	0.4440
Consideras que con cualquier idea se puede emprender un negocio	0.3886
Se puede ser un emprendedor de éxito en nuestra región	0.3466
Has vendido algo en tu vida	0.3386
Un emprendedor debe de ser una persona creativa	0.3324
Consideras que un emprendedor trabaja mucho	0.3266
Consideras que la institución educativa te ha dado las herramientas necesarias para emprender	0.3239
Te gusta enfrentar los retos	0.3202
Eres creativo	0.3170

En la tabla consideras que todos deberíamos de emprender, se correlaciona con la idea de identificarse como una persona emprendedora, pues con cualquier idea que se tenga se puede emprender, además de que en la región se puede ser un emprendedor de éxito. Asimismo, se describen una serie de características para ser emprendedor como: creatividad, perseverancia, innovación, enfrentar retos, correr riesgos, trabajar mucho y la experiencia que deja el haber vendido algo en su vida.

Emprender es para las personas que deciden dar un paso hacia adelante y arriesgarse con ideas que quizás funcionarán o quizás no, también tiene que ver con la visión que la persona tenga de las cosas, por eso se resalta la perseverancia, y nuevamente se señalan características internas de una persona con espíritu emprendedor.

Tabla 6
Correlación Te Sientes Bien en Una Zona de Confort

Operacionalización	*Correlación*
Falta apoyo económico para emprender un negocio	0.4505
Prefieres irte a lo seguro antes que correr riesgos	0.3640
Prefieres trabajar solo(a)	0.3265
Te gusta aprender cosas nuevas	0.3169
Prefieres realizar actividades nuevas en tu vida	0.3070

En esta tabla se muestra que la zona de confort para el joven es sentirse seguro sin correr tantos riesgos, trabajar solo, realizar actividades nuevas en su vida que le permitan aprender, por lo que la falta de apoyo económico para emprender un negocio sería un riesgo que correr. Esta tabla es muy significativa, ya que denota el perfil que el estudiante de ingeniería industrial (20-23 años) presenta y tomando en consideración las características de la generación Z mencionadas en este artículo, se muestra que es un joven que puede hacer cambios en su vida, siempre y cuando no representen un riesgo mayor o le impliquen un esfuerzo desmedido, asimismo, se fortalece lo que la autora III (2019) mencionaba sobre la preferencia por un trabajo autónomo.

Table 7
Correlación Consideras que, en Tiempo de Crisis, No Es Recomendable Emprender

Operacionalización	*Correlación*
La delincuencia es factor limitante para emprender un negocio	0.4292

En esta tabla 7 se muestra, que el tiempo de crisis está correlacionado con la delincuencia, esto significa que es un factor limitante para que un negocio prospere. El joven asocia estas dos ideas, con la información que se va generando a su alrededor, a través de la observación y experiencia; siendo consciente de su contexto y limitándose a entrar en un panorama de riesgo inminente.

Diversos autores refieren que una de las características de la persona emprendedora es la búsqueda de situaciones nuevas, que implican tomar riesgos; los resultados de la investigación muestran, que el joven se considera a sí mismo inexperto, a su corta edad, siendo este motivo para no salir de su zona de confort y arriesgarse a emprender un negocio, esto está muy relacionado con el contexto en el que se desarrolla el joven universitario, que al conocer personas y/o familia que tiene o tuvieron negocio sabe de las implicaciones que conlleva emprender.

Por su parte, los jóvenes prefieren trabajar solos que trabajar en equipo, ya que esto les cuesta más, sin embargo, ellos mismo expresan que son importantes las relaciones públicas, y es aquí en donde las alianzas estratégicas toman un papel importante dentro del emprendimiento, también mencionan lo valioso que es para ellos la ayuda de un coach que los guíe en este tipo de decisiones, en estos dos puntos es en donde se proyecta el trabajo en equipo que muchos de los autores citan; por consiguiente, el joven no estaría trabajando completamente solo, y a su vez en los mismos resultados se exhibe que necesita del apoyo familiar específicamente en la toma de decisiones.

Referente a las cuestiones de índole económico, estos jóvenes piensan más las cosas, no se arriesgan tan fácilmente, e inclusive les cuesta trabajo realizar cambios radicales en su vida, aunque si les gusta aprender cosas nuevas, estas deben de estar consideradas por el joven como dentro de su zona de confort, es como decir: “me arriesgo…pero no tanto”, sería un riesgo controlado.

IV. CONCLUSIONES

Los jóvenes (perfil: 20-23 años, carrera ingeniería industrial) exponen ciertos aspectos para emprender un negocio, como la parte económica e información sobre tendencias del mercado, para poder identificar necesidades en el mismo que se conviertan en ideas que puedan vender. Por otro lado, y como ya se analizó, las estadísticas muestran que muchos negocios se van quedando en el camino, cifras que definen un panorama poco alentador para muchos jóvenes emprendedores y un reto para otros.

En los resultados de la investigación se define que la institución educativa en la que el joven estudia, dado que es un instituto tecnológico, enfocado más a la parte de las ingenierías, el estudiante presenta interés en que se le muestre la parte de emprendimiento, así mismo, dentro de la recomendación que se hacen es proporcionar información actualizada sobre los diversos apoyos económicos y de asesoría a los jóvenes, ya que hay mucho desconocimiento sobre ello.

En relación a la parte generacional, estudios han revelado que esta generación z es más ambiciosa que la generación pasada millenial, pues la z tiene sueños y cree en cumplirlos, aun cuando esto signifique riesgo, y esto es parte de lo que se dejó ver en los resultados, en donde se muestra que estos jóvenes son conscientes de todo aquello que implica emprender, sin embargo no tienen miedo, a hacerlo, por el contrario esa seguridad les permite aprender de aquellas personas que han tenido éxito en los negocios, y motivarse para emprender algo, no tienen fronteras en experimentar cosas completamente nuevas, siempre y cuando tengan interés en ello, y sobre todo les apasione. Para ellos todo es parte de la actitud que se muestre frente a las diversas situaciones.

La familia aún sigue jugando un papel importante en la toma de decisiones del joven, muchos de ellos exhiben que han tenido familiares que han emprendido algún negocio y que inclusive ellos mismos han vendido algo. Esto muestra que los jóvenes siguen tendencias impulsadas por el factor familiar.

El que ellos definan que en tiempo de crisis económica no es muy recomendable emprender, expone, que los jóvenes son sabedores de las consecuencias que esto implica, más aún siendo sobrevivientes de lo acontecido por la pandemia en la que estuvieron inmersos, y llama la atención que asocian el tiempo de crisis con la delincuencia, pues si bien es cierto tanto en la región de procedencia de los jóvenes, como en el país, se han vivido situaciones relacionadas con grupos delictivos. Entonces, los jóvenes no emprenden, según los resultados obtenidos, porque conocen lo que conlleva una decisión de esta magnitud, por lo que para ellos, emprender es responsabilidad y riesgo que aún no están dispuestos a afrontar, es por eso que muchos jóvenes refieren que para ellos es mejor primero trabajar en una empresa, pues aún no tiene la suficiente experiencia para emprender un negocio, además de que a su edad les cuesta trabajo hacer cambios en su vida, y es de los aspectos por los cuales consideran que es difícil emprender, asimismo, dentro de los resultados expuestos, la motivación que se proporcione al empleado es fundamental en los negocios, y este es un aspecto complejo para el joven universitario, desde el punto de vista de manejo de personal.

La tendencia para los jóvenes es estar informado sobre aspectos económicos, el mercado, productos, modas que sean de interés para él y sobre todo en donde vea un beneficio propio, y el reto es enfrentarse a desafíos de índole económico, familiar, y hasta político con el tema de inseguridad social. Desde la perspectiva del joven, la actitud, deseo y motivación que se tenga es fundamental para poder pensar en emprender.

V. AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, por permitir realizar la investigación, y por el apoyo proporcionado. También se extiende el agradecimiento a los estudiantes que participaron en la investigación proporcionando su información, así como a los docentes, compañeros que hicieron posible la misma.

VI. REFERENCIAS

Asociación Mexicana de Agencias de Investigación de Mercado. (4 de enero de 2024). *NSE Niveles Socioeconómicos*. https://www.amai.org/NSE/index.php?queVeo=niveles

Brutti, F. (24 de septiembre de 2023). *Thepower.education*. https://thepower.education/blog/generacion-z-quienes-son

Esteban, J. L. (2014). *Vive tu sueño, emprende.* UOC.

Hernández R., Fernández, C., & Baptista P. (2014). *Metodología de la Investigación.* Mc Graw Hill

III, E. J. (2019). *Generación Z La generación con derechos: cómo educar para llegar a sus mentes y a sus corazones.* Narcea ediciones.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (7 de febrero de 2024). *Demografía de los Negocios (DN) 2019-2023*. https://www.inegi.org.mx/programas/dn/2023/

Lozano, C. A., Camelo Rusinque, C., Huertas Trujillo, M., Rodriguez Serrano, C., Sánchez Peña, C., Sánchez Riaño, V., & Sojo Gómez, J. (2019). *Centennials: generación sin etiquetas.* Utadeo.

Martin, D. (2008). *Éxito para emprendedores.* ediciones i.

Molina, I. D., & Guillén, J. L. (2021). *El emprendimiento desde sus protagonistas.* RIL editores.

Pizcueta, P. (25 de marzo de 2024). *Next International Business School*. https://www.nextibs.com/5-emprendedores-mexicanos-exitosos/

Real Academia Española. (14 de enero de 2024). *Diccionario de la lengua española*. https://dle.rae.es/emprender?m=form

Ripollés, M. (2011). Aprender a Emprender en las Universidades. *ARBOR Ciencia, Pensamiento y Cultura*, 83-88.

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

VII. AUTORES

Laura Georgina González Pérez

https://orcid.org/0009-0002-3443-3990

Luis Díaz Aguilera

https://orcid.org/0009-0006-1424-1720

Antonio Sánchez García

https://orcid.org/0009-0009-2859-4537

Nancy Victoria Torres Ramos

https://orcid.org/0009-0003-8419-4841

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

Presencia de Microplásticos en Playas de una Región Semiárida de la Costa de México

Rosales-Grano, P.[1]; Ochoa-Castro, A.[1]; Villicaña-Aguayo, J. D.[1]; Castro-Hernández, F.[1]; Vega-Valverde, L. J.[1]

Datos de Adscripción:
[1] Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Guaymas; Av. Tecnológico km 4 Sector las Playitas C. P. 85480, Guaymas, Sonora, México.
✉ pedro.rg@guaymas.tecnm.mx

Resumen **- Se analizaron muestras de sedimentos colectadas durante el otoño de 2023 en 3 playas de la región de Guaymas-Empalme, Sonora, México, el objetivo fue determinar la presencia de microplásticos (MPs), en total fueron 32 muestras:10 para la playa El Cochorit, 10 para la playa Miramar y 12 para la playa San Francisco. Las 32 estaciones de muestreo fueron georreferenciadas mediante equipo topográfico y posicionadores satelitales y colocadas en mapas elaborados con un sistema de información geográfica. Las muestras fueron analizadas en laboratorio, la metodología empleada fue la separación por densidad, esta consiste en un procedimiento que incluye el pesado y secado de las muestras, posteriormente se sumergen en una solución de agua destilada con cloruro de sodio, se colocan en una probeta, se dejan reposar por un periodo de 48 horas para permitir que los plásticos floten en la superficie y los sedimentos se depositen en el fondo. Pasado el periodo de asentamiento el sobrenadante se filtra y se coloca en una placa Petri para el conteo de partículas, este se realiza empleando un microscopio estereoscópico, los resultados se capturan con una cámara fotográfica de alta resolución. Se encontraron partículas de MPs y fibras en las 3 playas (Cochorit 479; Miramar 501 y San Francisco 391). Los resultados demuestran la presencia de MPs en las playas analizadas, lo que genera riesgos para la salud humana. Se sugiere realizar campañas de educación ambiental para dar a conocer este tipo de contaminación y sus consecuencias sobre el medio ambiente.**

Palabras Clave - Empalme, Guaymas, Microplásticos, Playas, Sedimentos.

Abstract **- Sediment samples collected during the fall of 2023 on three beaches in the Guaymas-Empalme region, Sonora, Mexico were analyzed to determine the presence of microplastics. A total of 32 samples: 10 for El Cochorit beach, 10 for the Miramar beach and 12 for San Francisco beach. The 32 sampling stations were georeferenced using topographic equipment and satellite positioning systems and plotted on maps created with a geographic information system (GIS). The samples were analyzed in the laboratory using density separation. This methodology involves weighing and drying the samples, then immersing them in a solution of distilled water and sodium chloride, which is placed in a test tube and left to rest for 48 hours. During this period, plastics float to the surface while sediments to settle to the bottom. After settling, the supernatant is filtered and placed in a Petri dish for particle counting using a stereoscopic microscope, with results captured by a high-resolution camera. Microplastic particles and fibers were found on the three beaches (Cochorit 479; Miramar 501 and San Francisco 391). The results confirm the presence of microplastics on the analyzed beaches, posing potential risks to human health. Environmental education campaigns are recommended to raise awareness of this type of pollution and its consequences for the environment.**

Keywords **- Beaches, Empalme, Guaymas, Microplastics, Sediments.**

I. INTRODUCCIÓN

Los plásticos son de los materiales más utilizados en la vida diaria, la mayoría de estos tienen su origen en el petróleo, la producción a nivel mundial de plásticos se ha incrementado en los últimos 70 años, García-Regalado et al., (2024) mencionan que esta ha alcanzado las 400.3 millones de toneladas en 2022. Barceló y Picó (2019) señalan que por su abundancia y el tratamiento inapropiado de los desechos plásticos estos contaminantes están distribuidos por todo el planeta, aguas residuales, aguas superficiales, suelos, sedimentos, aire y en especial en los océanos. Los plásticos que son arrojados en la zona costera en forma de macroplásticos (botellas, bolsas, contenedores) se degradan por el efecto de la radiación solar y por acción mecánica provocada por las olas, las corrientes y el viento, al degradarse se fragmentan en pequeñas partículas denominadas MPs que miden menos de 5 mm, según Mejía-Estrella et al., (2023) estas partículas liberan sustancias nocivas relacionadas con su composición química como los plastificantes, retardadores de fuego y colorantes, estas se filtran al ambiente contaminando el suelo, el agua y el aire. Bak et al., (2021) aluden que los MPs son ingeridos y acumulados por diversas especies marinas, tales como peces, moluscos, almejas y crustáceos, lo que representa un riesgo para la salud humana a través de las interacciones físicas como la ingestión de organismos marinos principalmente. De acuerdo con Wright y Kelly, (2017) los efectos sobre la salud humana se desconocen. Torrez-Pérez et al., (2021) mencionan que los MPs son una forma de contaminación marina, por lo que se debe identificar su presencia en ecosistemas como las playas que son activos ambientales de valor económico que ofrecen diferentes servicios a la población. Bornstein y Steinhaus, (2024) señalan que estas micropartículas se encuentran en todo el medio marino, alcanzando los lugares más remotos del planeta. Los factores físicos que regulan la dinámica oceánica como las mareas, las corrientes, el oleaje y el viento distribuyen los MPs y los hacen

llegar y acumularse en la zona costera en especial en playas formadas por arena, donde se integran con los sedimentos, esto constituye un problema de contaminación importante, especialmente en áreas protegidas. A pesar de la creciente conciencia del problema de la contaminación por plástico, estos materiales continúan produciéndose, consumiéndose y desechándose a un ritmo acelerado, Rochman et al., (2013) señalan que esto provoca graves problemas para la biosfera ya que los plásticos pueden absorber y transportar contaminantes o pueden ser tóxicos por sí mismos, afectando gravemente a la naturaleza.

En México se han realizado varios estudios que documentan la presencia de MPs, en playas, entre los más recientes está el de Flores-Ocampo y Armstrong-Altrin, (2023) quienes documentan la abundancia y composición de MPs en los sedimentos de una playa de Tampico, Tamaulipas, en el Golfo de México, la determinación la realizan con el método de separación por densidad, utilizan una solución de NaCl (cloruro de sodio) y $ZnCl_2$ (cloruro de zinc) la clasificación de los MPs la hacen en base a su forma color y tamaño, encuentran en promedio una abundancia de ~13392 partículas de MPs por kg de sedimentos los tamaños de las partículas variaron de 1.76 mm a 3.92 mm, se identificaron seis tipos de polímeros y los colores de las partículas fueron variables (azul, negro, amarillo, etc.), una de sus conclusiones fue que el alto grado de degradación indica un nivel extremo de riesgo para lo biota marina. Otro de los estudios recientes es el de Mejía-Estrella et al., (2023) quienes determinan las características físicas y químicas de los MPs en sedimentos costeros de tres playas de Puerto Vallarta, Jalisco, la información la consideran útil para definir políticas en el manejo de los desechos plásticos y evitar la contaminación en playas de la región por estas sustancias, la clasificación la hicieron de acuerdo al color, tamaño y forma, para determinar el tipo de polímeros utilizaron la técnica de la transformada de Fourier mediante espectroscopia infrarroja. El mayor número de partículas detectado en una de las playas fue de 97.5 partículas por metro cuadrado. Una de sus conclusiones es que la presencia de los MPs está relacionada con la alta actividad turística y con la cercanía de las playas a la desembocadura de los ríos.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

2.1 Área de estudio

Este trabajo tiene como objetivo documentar la presencia de MPs en playas de la región Guaymas-Empalme, Sonora, México, para ello se seleccionaron 3 de las principales playas turísticas de la región (El Cochorit, Miramar y San Francisco), la localización geográfica de las playas se muestra en la Figura 1 panel a (puntos en rojo). La playa El Cochorit se localiza en el municipio de Empalme, Sonora en las coordenadas 27° 55’ 4’’ de latitud norte y 110° 46’ 20’’ de longitud oeste tiene una extensión aproximada de 1.3 km (Figura 1 panel b). García-Morales et al., (2017) mencionan que en la playa El Cochorit la temperatura atmosférica anual promedio es de 25°C, la precipitación es de ~300mm y la evaporación de ~2600mm, las lluvias ocurren de julio a octubre con mayor magnitud en agosto, la playa se ubica en la porción sur de un valle tectónico aluvial, la arena de la playa se deriva de los sedimentos que rellenan el valle, la playa es somera, de poca pendiente y está limitada por dunas activas de baja altura y planicies de inundación, la energía del oleaje es baja y desarrolla bermas con elevación menor a un metro, los principales usuarios son los habitantes del municipio de Empalme, se usa principalmente con fines recreativos, aunque también sirve para el desembarco de productos de pesca ribereña. Las playas de Miramar y San Francisco se localizan en el municipio de Guaymas, el clima local es semiárido, su temperatura, precipitación, evaporación y periodo de lluvias son similares a los asociados con la playa El Cochorit, la amplitud de la marea astronómica es de 0.85 m y las alturas de las olas son menores a 1 m la mayor parte del año. La playa Miramar tiene una longitud aproximada de 1.5 km, se localiza en las coordenadas geográficas 27° 55’ 20’’ de latitud norte y 110° 57’ 5’’ de longitud oeste (Figura 1 panel c), está formada por la barra del estero Bacochibampo, en la boca del estero se ha construido una escollera en el límite de la playa, en el extremo opuesto el límite de la playa es una formación rocosa, es una playa somera formada principalmente de arena y con poca pendiente, cuenta con infraestructura turística como palapas, estacionamiento y baños, García-Morales et al., (2018) describe la morfología de la playa Miramar. La playa San Francisco se localiza en las coordenadas geográficas 27° 58’ 00’’ de latitud norte y 110° 00’ 0’’ de longitud oeste (Figura 1 panel d), tiene una longitud aproximada de 3.5 km, está formada en parte por la barra del estero El Soldado, la cual se une a la playa como parte de la línea costera, limita al este con la boca del estero El Soldado hacia el oeste la playa termina en una formación rocosa, su pendiente es intermedia, está formada por arena de cuarzo y cuenta con infraestructura turística limitada, por lo que de acuerdo con García-Morales et al., (2018) se considera una playa semiurbana

Figura 1
Panel (a) localización geográfica de las playas seleccionadas (puntos en rojos); panel (b) localización de las estaciones de muestreo (puntos en rojo) en playa El Cochorit; panel (c) localización de las estaciones de muestreo (puntos en rojo) en playa Miramar; panel (d) localización de las estaciones de muestreo (puntos en rojo) en playa San Francisco.

2.2 Trabajo de campo

Para la recolección de las muestras de sedimentos fue necesario localizar geográficamente las estaciones de muestreo, para ello se utilizaron posicionadores satelitales de alta precisión (GPS, Global Positioning System). De acuerdo con la ficha técnica el equipo utilizado fue un GPS diferencial RTK S82V integrado a un radio transmisor y con capacidad de intercambio de información entre el GPS base y el móvil, se requirió de entre 10 y 20 minutos para que el GPS base captara la señal de los satélites necesarios (al menos 10) para obtener una precisión de 1 cm, con la corrección diferencial. Para la extracción de los sedimentos se utilizó un nucleador para muestras de suelo (Figura 2) el cual permitió extraerlas sin alteración y hasta una profundidad de 40 cm. El método fue utilizar un marro y un objeto (madera gruesa) que amortiguara los golpes del marro con el nucleador metálico mientras este se introducía en el sedimento, se necesitaron entre 10 y 15 golpes para que el nucleador penetrara completamente en el sedimento, una vez extraído el nucleador se procedió a introducir las muestras en bolsas debidamente etiquetadas con plumones indelebles, las bolsas permiten conservar la humedad de las muestras. Las estaciones de muestreo se seleccionaron de tal forma que cubrieran la totalidad de la longitud de la playa y que la distancia entre estaciones fuera uniforme.

Figura 2
Nucleador metálico utilizado para la extracción de las muestras de sedimentos.

2.3 Localización de las estaciones de muestreo

Una vez que las estaciones de muestreo fueron georreferenciadas la información recabada por el equipo GPS fue capturada en un sistema de información geográfica para la elaboración de mapas en coordenadas de latitud y longitud y tablas de localización en coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator). Se colectaron 10 muestras para playa El Cochorit, 10 para playa Miramar y 12 para playa San Francisco, sumando un total de 32 muestras. La localización de las estaciones de muestreo se puede apreciar de forma gráfica en la Figura 1 paneles (b), (c) y (d) para las playas El Cochorit, Miramar y San Francisco respectivamente, mientras que las Tablas 1, 2 y 3 muestran las coordenadas de localización de las estaciones de muestreo, se considera particularmente importante está información por si se desea en futuras investigaciones reproducir el experimento para determinar parámetros no contemplados en el presente trabajo. Se hace notar que en playa San Francisco se tomaron dos muestras aisladas hacia el oeste de la playa (Figura 1 panel d) pues en este sitio, en años recientes hay gran afluencia de turistas durante la mayor parte del año.

Las muestras recabadas no son superficiales, pues con el uso del nucleador fue posible extraer núcleos de entre 40 y 50 cm de longitud. Los sitios de muestreo se seleccionaron en todos los casos en la pendiente de la playa, que es una zona dinámica donde la rompiente del oleaje mueve los sedimentos y por acción mecánica fragmenta los plásticos.

Tabla 1
Coordenadas UTM de las estaciones de muestreo de playa El Cochorit.

Cochorit		
No. de estación	**Coordenadas**	
	x	y
C-1	522418.058	3088027.842
C-2	522465.849	3088022.722
C-3	522510.988	3088016.863
C-4	522559.169	3088010.661
C-5	522607.472	3088002.111
C-6	522655.79	3087993.243
C-7	522702.963	3087988.81
C-8	522346.21	3088036.638
C-9	522221.373	3088055.777
C-10	522176.24	3088062.528

Tabla 2
Coordenadas UTM de las estaciones de muestreo de playa Miramar.

Miramar		
No. de estación	**Coordenadas**	
	x	y
M-1	504818.002	3089112.189
M-2	504897.042	3089092.251
M-3	504954.872	3089041.367
M-4	505012.702	3088990.482
M-5	505046.358	3088938.399
M-6	505085.22	3088864.861
M-7	505130.378	3088785.022
M-8	505201.919	3088640.293
M-9	505234.266	3088558.569
M-10	505266.057	3088469.305

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

Tabla 3
Coordenadas UTM de las estaciones de muestreo de playa San Francisco.

San Francisco		
No. de estación	**Coordenadas**	
	x	y
SF-1	501822.811	3092460.514
SF-2	501690.273	3092548.824
SF-3	501551.923	3092630.694
SF-4	501408.33	3092692.295
SF-5	501249.407	3092760.921
SF-6	501095.682	3092808.394
SF-7	500924.711	3092850.887
SF-8	500788.382	3092877.962
SF-9	500631.748	3092929.334
SF-10	500468.638	3092986.768
SF-11	498349.321	3093163.52
SF-12	498206.982	3093151.278

2.4 Trabajo de laboratorio

Existen diferentes métodos de laboratorio para la determinación de los MPs en muestras de sedimentos, no se ha estandarizado una metodología que permita hacer comparaciones a nivel global. Una revisión de las técnicas y metodologías más utilizadas para la determinación de MPs la realiza Calvo-Anglada y Morales, (2020) en su trabajo las clasifica en técnicas de preconcentración, separación, identificación y caracterización entre otras. Las técnicas de preconcentración incluyen la centrifugación la cual es una técnica que emplea la fuerza gravitacional mediante la centrifugación de la muestra, una variante de esta es la ultracentrifigación que emplea fuerzas centrífugas superiores, necesarias para aislar las partículas más pequeñas, tiene el inconveniente de que procesa volúmenes pequeños de muestras de entre 10-100 ml, además de formar agregados y dañar las partículas de plástico. Dentro de las técnicas de preconcentración también está la filtración, esta se basa en el paso de las muestras a través de membranas para el aislamiento de los MPs, utiliza membranas con diferentes tamaños de poros que van desde varios µm hasta decenas de nm, tiene la desventaja de que si se utilizan membranas compuestas por polímeros estas podrían introducir contaminación plástica. En muestras con diferentes tamaños de partículas se pueden realizar filtraciones secuenciales para separar partículas por rangos de tamaños, tiene la desventaja de que si se obstruyen los poros el proceso de filtrado se ralentiza. El procedimiento más utilizado para la separación de MPs es por diferencias de densidad, este procedimiento cae también dentro de las técnicas de preconcentración, se utiliza para muestras ambientales como los sedimentos de las playas, emplea soluciones salinas saturas (NaCl, $ZnCl_2$, $ZnBr_2$), la densidad de los polímeros varía entre 0.8 y 1.7 g/cm^3, y la densidad de muestras como sedimentos, superan los 2.6 g/cm^3 lo que permite la separación de plásticos por flotación y separación del sobrenadante. El pretratamiento de muestras también es importante, Lee et al., (2023) hace una revisión de las técnicas de pretratamiento para muestras de suelo y sedimento en agua dulce (ríos, lagos, presas), menciona que el método más común es la separación por diferencias de densidad mediante una solución de NaCl o $ZnCl_2$.

En este trabajo se utilizó una combinación de las metodologías de separación por densidad y por filtración que pertenecen a la técnica de preconcentración de acuerdo con la clasificación hecha por Calvo-Anglada y Morales, (2020). El trabajo de laboratorio consistió en extraer 200 gramos de las muestras de sedimento recolectadas (el peso total de cada muestra fue de ~ 1 kg), la submuestra se colocó en un horno a 60 °C para su secado durante un periodo de 48 horas, en algunas muestras el tiempo de secado no fue suficiente debido al alto contenido de humedad por lo que permanecieron más tiempo en el horno, hasta que estuvieron completamente secas. Posteriormente las muestras se dejaron enfriar a temperatura ambiente.

Una vez secas las muestras se procedió a preparar una solución de agua destilada con cloruro de sodio (NaCl), la proporción utilizada fue: por cada litro de agua destilada se añadieron 60 gramos de cloruro de sodio, el método para prepararla fue el calentamiento suave y constante del agua destilada sin llegar a la ebullición, una vez caliente se le vertió el cloruro de sodio y se agitó constantemente hasta que se obtuvo una solución homogénea. Posteriormente la solución preparada se pasó por un filtro de micro celulosa de 0.45 µm de diámetro de poro, con el objetivo de que el cloruro de sodio sobrante no interfiera con los resultados.

Una vez enfriadas las muestras y la solución preparada, de los 200 gramos de cada muestra seca se extrajeron 50 gramos, necesarios para la elaboración de los ensayos, de la solución se colocaron 200 ml en una probeta de 250 ml, para después verter los 50 gramos del sedimento a analizar y agitarlos durante 2 minutos, una vez transcurrido el tiempo, se dejaron reposar las muestras durante un periodo de 48 horas (Figura 3), con el fin de que las partículas plásticas queden en la parte superior de la probeta (sobrenadante) y los sedimentos libres de MPs se depositen en el fondo de la probeta.

Figura 3
Separación de los MPs por el método de diferencias de densidad. En el fondo de las probetas se observan las muestras de sedimento.

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

Pasado el tiempo de asentamiento se procedió a retirar el sobrenadante utilizando filtros de micro celulosa de 0.45 µm de diámetro, con el fin de evitar que se contaminaran las muestras con el sedimento depositado en el fondo. Este procedimiento se repitió para cada muestra (se realizaron dos ensayos por estación), con el fin de obtener la cantidad aproximada de MPs presentes en cada una de las muestras.

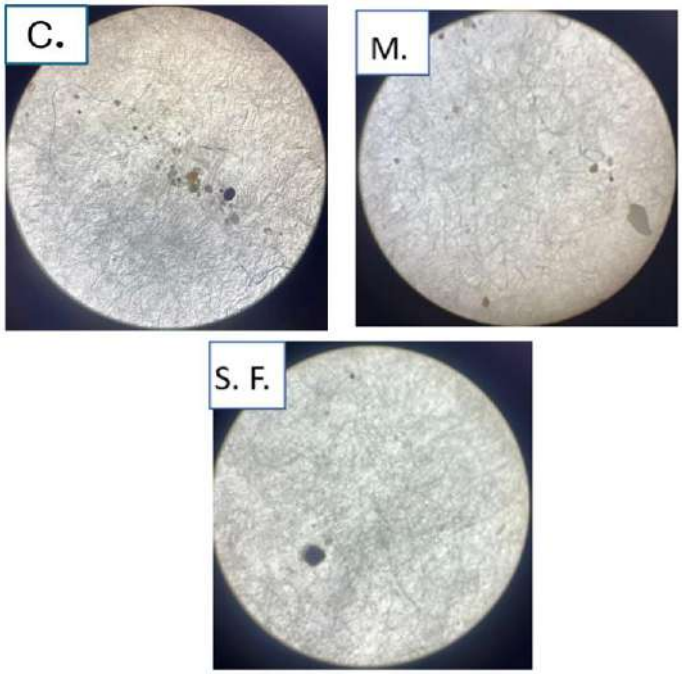
Para el conteo de los MPs se utilizó un microscopio estereoscópico X10 aumentos, y una cámara fotográfica de alta resolución para captar y apreciar de la mejor forma todas las partículas y fibras presentes en el sobrenadante, incluso fue posible apreciar el color de las partículas, así como su forma.

Para determinar el tipo de polímero presente en los análisis es necesario utilizar una metodología más avanzada como la utilizada por Mejía-Estrella et al., (2023) en las playas de Puerto Vallarta México, está técnica es la espectroscopia infrarroja, que utiliza algoritmos de la transformada de Fourier.

En la Figura 4 se aprecia la presencia de MPs para 3 muestras colectadas en: la estación 9 para playa El Cochorit (ensayo 1), la estación 10 para playa Miramar (ensayo 2) y la estación 10 para playa San Francisco (ensayo 2). Se observa que la mayor cantidad de MPs en estas 3 muestras se encontraron en playa El Cochorit, se pueden apreciar partículas de diferentes colores y tamaños, así como algunas fibras (Figura 4.C). En playa Miramar se observa una partícula plástica de color café de tamaño considerable si se compara con las encontradas en playa El Cochorit, así como una fibra (Figura 4.M). En playa San Francisco son pocas las partículas que se observan, aunque una de ellas de tamaño considerable en color gris-azulado y dos partículas pequeñas de color café y azul (Figura 4.S.F.).

Figura 4

Vista de la presencia de MPs en el microscopio estereoscópico X10 aumentos. ***C.*** *Muestra colectada en la estación 9 de la playa Cochorit (ensayo1),* ***M.*** *Muestra colectada en la estación 10 de la playa Miramar (ensayo 2),* ***S. F.*** *Muestra colectada en la estación 10 de la playa San Francisco (ensayo 2).*



III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez concluidos los ensayos de laboratorio y capturadas las imágenes, se procedió a realizar el conteo de las partículas y fibras que se presentan en los filtros donde se depositó el sobrenadante, es importante aclarar que en este trabajo no se hizo distinción entre las fibras y las partículas de MPs, todos los MPs encontrados se reportan como partículas.

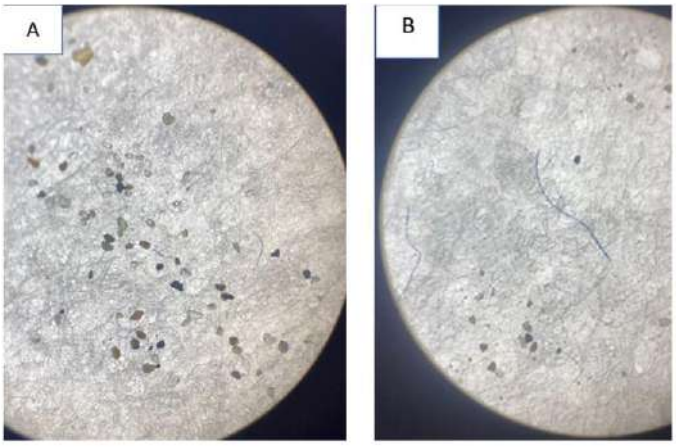
En general en todos los ensayos se encontraron MPs, lo que evidencia que existe contaminación por MPs en las playas de la región Guaymas-Empalme, estos resultados plantean la pregunta ¿cuál es el origen de estos residuos plásticos?

Las playas consideradas se encuentran en una región semiárida por lo que no hay presencia de ríos, los arroyos son ocasionales y presentan escurrimientos solo en época de lluvias, por lo que es poco probable que la presencia de los MPs encontrados sea producto de drenajes terrestres como en otras regiones, por ejemplo Puerto Vallarta donde realizó su estudio Mejía-Estrella et al., (2023) en esta región los ríos acarrean gran cantidad de basura proveniente del continente, entre ella plásticos que se depositan en las playas y allí se degradan por la exposición a la radiación solar o por la acción mecánica de las olas, las corrientes, el viento y las variaciones de temperatura.

Otra fuente del origen de los MPs puede ser por la vía aérea, es decir a través de la atmósfera. Habibi et al., (2024) mencionan que los MPs se pueden transmitir por aerosolización, sin embargo, esta es un área de investigación emergente, por lo que la información espacial y temporal de la presencia de MPs en la atmósfera es inadecuada y escasa. Esta fuente de contaminación de MPs tiene su origen en los sedimentos que provienen de zonas desérticas, estos se suspenden durante tormentas de arena y polvo y se transportan hasta las playas, de tal forma que en el material transportado (arena y polvo) se incluyen partículas de MPs, el riesgo para la salud humana que genera esta fuente de contaminación es que al respirar se introduzcan MPs a las vías respiratorias. El demostrar que el origen de los MPs encontrados provienen de la aerosolización es motivo de otra investigación.

En la Figura 5 se muestran dos ejemplos de las imágenes capturadas, en total se procesaron 64 imágenes ya que se repitió el ensayo en cada estación (32 estaciones para las 3 playas), por cuestiones de espacio no es posible presentar el total de las imágenes. La Figura 5.A corresponde al ensayo 1 de la muestra colectada en la estación 10 de la playa El Cochorit, se aprecian MPs de diferentes colores azul, café, grises y transparentes, también se observan algunas fibras de color azul, la forma geométrica de los MPs es irregular, parecidos a rombos, rectángulos y círculos deformados; la Figura 5.B corresponde al ensayo 1 de la muestra colectada en la estación 1 de playa Miramar, se observan MPs similares a los mostrados en la imagen de la Figura 5.A, aunque en menor cantidad en colores azul, gris y café, también se observan dos fibras en color azul.

Figura 5
*Tipos de MPs encontrados durante los ensayos de laboratorio. El panel **A** corresponde al ensayo 1 de la muestra colectada en la estación 10 de la playa El Cochorit. El panel **B** corresponde al ensayo 1 de la muestra colectada en la estación 1 de playa Miramar.*



En el caso de las playas de la región Guaymas-Empalme es probable que origen de los MPs sea la basura plástica que dejan los turistas en su visita a las playas, ya que no existen programas municipales de limpieza periódica de las playas, ni campañas de concientización a la población, de forma esporádica sociedades civiles, estudiantes de diversas escuelas y ciudadanos realizan limpieza de las playas, lo que no es suficiente pues los plásticos quedan expuestos al medio ambiente que los degrada y desintegra hasta formar MPs que quedan atrapados en el sedimento de las playas. Las fibras por otro lado tienen su origen en la degradación de los artes de pesca que se utilizan en esta región, puesto que gran parte de la economía de la zona se basa en la industria pesquera y en la pesca artesanal, se utilizan diversos artes de pesca fabricados de polímeros, en ocasiones cuando ya no son útiles o por accidente estos artes de pesca son abandonados en el mar, tanto en la costa como en mar abierto, por lo que quedan a la deriva y expuestos a la radiación solar y a los elementos mecánicos del medio ambiente como las olas y las corrientes que los fragmentan y transportan hacia las playas.

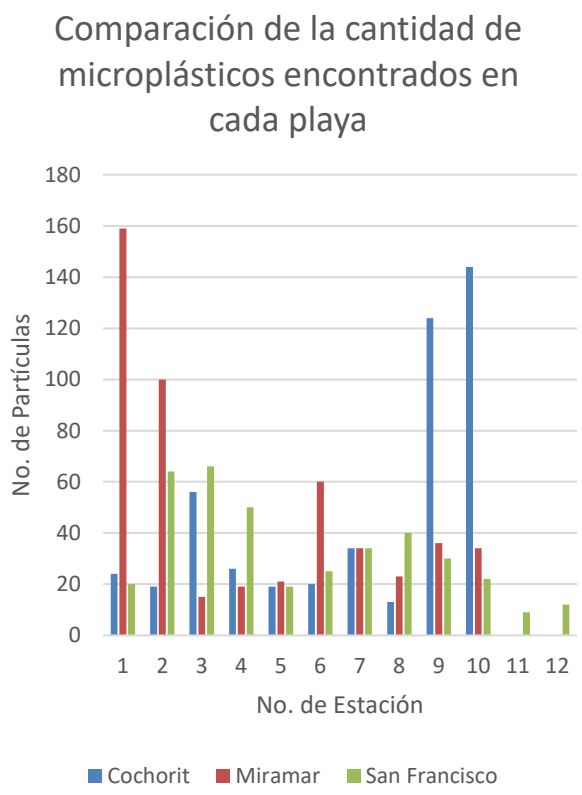
El haber realizado los ensayos de laboratorio dos veces para cada estación de muestreo, permitió determinar con mayor certeza el número de partículas encontradas en cada una de las playas, además de conocer que estaciones de muestreo presentan mayor índice de contaminación por MPs, la Tabla 4 muestra la cantidad de MPs totales que se encontró por estación de muestreo y el total en cada playa. La playa con mayor cantidad de MPs encontrados fue playa Miramar con 501 partículas, seguida por playa El Cochorit con 479 y finalmente playa San Francisco con 391 partículas. En playa Miramar la estación de muestreo con el mayor número de partículas encontradas fue la estación 1 (159 partículas), esta se localiza cerca de la escollera que protege el canal de acceso al estero Bacochibampo (Figura 1.c), esta zona es la de mayor afluencia de turistas, aquí se realiza actividad comercial como la venta de alimentos y bebidas la mayor parte de ellos en envases plásticos. Lo mismo ocurrió para playa El Cochorit, en la estación de muestreo 10, se encontró el mayor número de partículas (144 partículas), esta estación es la más cercana al acceso de la playa (Figura 1.b) por lo que tiene la mayor afluencia de visitantes, además de encontrar palapas y comercios que expenden alimentos en esta estación, otro factor es que en esta zona embarcaciones menores con motor fuera de borda desembarcan productos pesqueros capturados mediante pesca artesanal, esta actividad humana genera basura plástica como envases de bebidas hidratantes, envases de aceite para motores fuera de borda, bolsas de plástico, cajas de plástico donde se transporta el producto de la pesca etc.

En la playa San Francisco se encontró el menor número de partículas en total 391 para doce estaciones muestreadas, de estas, la estación 3 (Figura 1.d) presentó el mayor número de partículas (66 partículas), esta estación está justo frente a edificios habitacionales y es uno de los accesos principales a la playa, por lo que la afluencia de turistas es mayor que en el resto de las estaciones, con excepción de la 11 y la 12 que en años recientes ha recibido un mayor número de visitantes, estas estaciones tuvieron el menor número de partículas. Los resultados encontrados refuerzan la hipótesis de que es la actividad turística la que genera la contaminación por MPs, por lo que es recomendable realizar campañas que den a conocer a la población los peligros para la salud humana que representan estos contaminantes, esto con la finalidad de que las personas dejen de arrojar los plásticos directamente en la playa. Otra medida es la reactivación del comité de playas municipal, que estuvo vigente en administraciones anteriores y que se encargaba de implementar programas de limpieza de playas y concientización de la población. También se sugiere implementar el reciclaje de los plásticos y el evitar en la medida de lo posible su uso. La Figura 6 muestra en forma de histograma los resultados presentados en la Tabla 4, en el eje horizontal aparece el número de estaciones y en el vertical el número de partículas encontradas para las 3 playas.

Tabla 4
Conteo de microplásticos total de cada estación.

Conteo total de microplásticos			
No. de muestra	Cochorit	Miramar	San Francisco
1	24	159	20
2	19	100	64
3	56	15	66
4	26	19	50
5	19	21	19
6	20	60	25
7	34	34	34
8	13	23	40
9	124	36	30
10	144	34	22
11	N/A	N/A	9
12	N/A	N/A	12
total	479	501	391

Figura 6
Cantidad de MPs encontrados en cada estación de muestreo para las 3 playas (Cochorit, Miramar y San Francisco)



La comparación con los trabajos consultados se dificulta debido a la diversidad de técnicas y metodologías que se utilizan para determinar los MPs como las descritas por Calvo-Anglada y Morales, (2020), así como a la diferencia de unidades que se utilizan para reportar los resultados, algunos autores reportan sus resultados en número de partículas por metro cuadrado, mientras que otros en número de partículas por kilogramos de sedimentos. En este trabajo se reporta la presencia de microplásticos por cada 100 gramos de sedimentos en cada una de las estaciones, es decir en las playas El Cochorit y Miramar donde se muestreo en 10 estaciones se analizó 1 kg de sedimentos en total, por lo que es posible concluir que en playa El Cochorit se encontraron 479 partículas por kilogramo de sedimentos; mientras que en playa Miramar la densidad sería de 501 partículas por kilogramo de sedimentos; para playa San Francisco, excluyendo las estaciones 11 y 12 que son las más alejadas y cuyas condiciones dinámicas, tipo de sedimento y de afluencia de turistas es diferente al resto de las estaciones se tendrían 370 partículas por kilogramo de sedimento.

Es importante hacer notar que la cantidad de partículas encontradas es menor en comparación con los resultados obtenidos por Flores-Ocampo y Armstrong-Altrin, (2023) quienes reportan en una playa de Tampico, Tamaulipas un promedio de abundancia de MPs de 13,392 partículas por kilogramo de sedimentos.
En playas de Puerto Vallarta, Jalisco, México, Mejía-Estrella et al., (2023) reporta como máximo 49 partículas por kilogramo, por debajo de las encontradas en Tampico y en el presente trabajo. Es de llamar la atención que, en otro estudio realizado en las playas de Colima y Jalisco, México por Torrez-Pérez et al., (2021), se reporten del orden de 2553 partículas por kilogramo. Considerando los resultados de otros autores en playas mexicanas, se puede decir que las playas de la Región Guaymas-Empalme tienen una contaminación relativamente baja de MPs. Este trabajo se limitó a presentar resultados cuantitativos, es decir número de partículas por muestra analizada, y comparar la densidad de partículas por kilogramo de sedimentos con otros trabajos similares, por lo que no se realizaron pruebas estadísticas.

IV. CONCLUSIONES

Los resultados mostraron que las playas de la región Guaymas-Empalme presentan contaminación por MPs. El origen de la contaminación por MPs está ligada a las actividades turísticas, la hipótesis se refuerza ya que en los sitios de muestreo donde hay más afluencia de turistas se encontró el mayor número de partículas por cada 100 gramos de sedimento en todas las playas. Las fibras encontradas se presumen que provienen de artes de pesca desechadas por las actividades de pesca industrial y ribereña. La presencia de MPs genera riesgos para la salud humana y para los organismos que habitan y se reproducen en la zona costera, los efectos de la ingesta de estas partículas aún están bajo investigación. Los métodos y técnicas para la determinación de los MPs son diversas, por lo que es necesario, para propósitos de comparación, estandarizar la metodología. Otro factor importante es la técnica de recolección de las muestras, pues estas pueden colectarse en la superficie o bien usando nucleadores como en este trabajo, que permiten obtener muestras a mayor profundidad, también es necesario definir la zona de la playa donde se colectarán las muestras, en este trabajo todas las muestras se recabaron en la pendiente de la playa, pero bien pudieran extraerse en las bermas de las playas o bien considerar algún plano de marea (Pleamar máxima, Bajamar mínima etc.), la dinámica de una playa varía en función de la zona considerada (berma, pendiente de la playa, zona de rompiente etc.). La investigación acerca del origen de los MPs por aerosolización está en etapas incipientes, en este trabajo no se evaluó esta posible fuente de MPs. Las unidades de presentación de los resultados también varían entre los autores, las más utilizadas son número de partículas por metro cuadrado y número de partículas por kilogramo, en este trabajo se utilizó la segunda opción, ya que las muestras fueron colectadas mediante un nucleador metálico. En comparación con algunas playas de Jalisco, Colima y Tamaulipas, las playas de la región Guaymas-Empalme muestran una contaminación baja por MPs, por lo que se siguiere a las autoridades municipales encargadas de la ecología, realizar campañas de educación ambiental entre la población para informar sobre la presencia y el riesgo para la salud humana que representa la presencia de los MPs, esto a través de conferencias y folletos, así como generar conciencia en la población para disminuir en lo posible el uso de los plásticos y fomentar el reciclaje. También es recomendable reactivar el comité de playas limpias, a fin de organizar en conjunto con la población campañas de limpieza periódicas para evitar que los

desechos plásticos se degraden y se integren a los sedimentos de las playas. Para complementar este trabajo es necesario analizar las muestras con la técnica de espectroscopia infrarroja en combinación con la transformada de Fourier para determinar a nivel químico los tipos de MPs encontrados en las playas.

V. AGRADECIMIENTOS

A los estudiantes que participaron en los trabajos de campo y de laboratorio. Al Tecnológico Nacional de México por el apoyo económico brindado a través de la convocatoria 2023: Proyectos de Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación y al Instituto Tecnológico de Guaymas por el apoyo administrativo brindado.

1. VI. REFERENCIAS

Bak, J., Kang, H. B., y Choi, Y.-S. (2021). Microplastics in the Marine Environment and Their Impacts on Human Health. *Journal of Life Science*, *31*(4), 442–451. https://doi.org/10.5352/JLS.2021.31.4.442

Barceló, D., y Picó, Y. (2019). Microplastics in the global aquatic environment: Analysis, effects, remediation and policy solutions. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *7*(5), 103421. https://doi.org/10.1016/J.JECE.2019.103421

Bornstein, D., y Steinhaus, J. (2024). The Côte d'Argent, France: Quantification of Plastic Pollution in Beach Sediments. *Sustainability (Switzerland)* , *16*(7). https://doi.org/10.3390/su16072992

Calvo-Anglada, S., y Morales, E. B. (2020). *Detección y Caracterización por Tamaños De Micro y Nanoplásticos En Muestras De Interés Ambiental Trabajo Fin de Grado*.

Flores-Ocampo, I. Z., y Armstrong-Altrin, J. S. (2023). Abundance and composition of microplastics in Tampico beach sediments, Tamaulipas State, southern Gulf of Mexico. *Marine Pollution Bulletin*, *191*. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114891

García-Morales, G., Arreola-Lizárraga, J. A., Mendoza-Salgado, R. A., García-Hernández, J., Rosales-Grano, P., y Ortega-Rubio, A. (2018). Evaluation of beach quality as perceived by users. *Journal of Environmental Planning and Management*, *61*(1), 161–175. https://doi.org/10.1080/09640568.2017.1295924

García-Morales, G., Arreola-Lizárraga, J. A., Mendoza-Salgado, R. A., Rosales-Grano, P., García-Hernández, J., Padilla-Arredondo, G., y Ortega-Rubio, A. (2017). Análisis de la aptitud recreativa orientada a la gestión ambiental de la playa El Cochórit, Sonora, México. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, *33*(Special Issue 1), 35–44. https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.esp02.03

García-Regalado, A., Herrera, A., y Almeda, R. (2024). Microplastic and mesoplastic pollution in surface waters and beaches of the Canary Islands: A review. In *Marine Pollution Bulletin* (Vol. 201). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116230

Lee, H., Kim, S., Sin, A., Kim, G., Khan, S., Nadagouda, M. N., Sahle-Demessie, E., y Han, C. (2023). Pretreatment methods for monitoring microplastics in soil and freshwater sediment samples: A comprehensive review. In *Science of the Total Environment* (Vol. 871). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161718

Mejía-Estrella, I. A., Peña-Montes, C., Peralta-Peláez, L. A., Del Real Olvera, J., y Sulbarán-Rangel, B. (2023). Microplastics in Sandy Beaches of Puerto Vallarta in the Pacific Coast of Mexico. *Sustainability (Switzerland)* , *15*(21). https://doi.org/10.3390/su152115259

Rochman, C. M., Browne, M. A., Halpern, B. S., Hentschel, B. T., Hoh, E., Karapanagioti, H. K., Rios-Mendoza, L. M., Takada, H., Teh, S., y Thompson, R. C. (2013). Classify plastic waste as hazardous. *Nature*, *494*(7436), 169–171. https://doi.org/10.1038/494169a

Torrez-Pérez, K. A., Cervantes, O., Reyes-Gomez, J., y Olivos-Ortiz, A. (2021). Quantification and Classification of Microplastics (Mps) in Urban, Suburban, Rural and Natural Beaches of Colima and Jalisco. México. Revista Costas, 3(1), 207-230. doi: 10.25267/Costas.2021. v2.i3.0903

Wright, S. L., y Kelly, F. J. (2017). Plastic and Human Health: A Micro Issue? *Environmental Science y Technology*, *51*(12), 6634–6647. https://doi.org/10.1021/acs.est.7b00423

VII. AUTORES

Pedro Rosales Grano
https://orcid.org/0009-0006-7911-0780

Arturo Ochoa Castro
https://orcid.org/0009-0000-6319-9721

José Darío Villicaña Aguayo
https://orcid.org/0009-0005-9395-8887

Fidel Castro Hernández
https://orcid.org/0009-0007-6824-1010

Laura Janeth Vega Valverde
https://orcid.org/0009-0005-0770-5710

Regulación de Posición de un Robot Móvil Omnidireccional con Invarianza a Parámetros Intrínsecos

Sáenz-Esqueda, J.A.[1]; Espinoza-Fraire, A. T.[1]✉; Gandarilla-Esparza, I.[1]; Saénz-Esqueda, C.[1]

Datos de Adscripción:
[1] Facultad de Ingeniería, Ciencias y Arquitectura - Universidad Juárez del Estado de Durango. Departamento de Estudios de Posgrado e Investigación. Av. Universidad S/N, CP: 35020 Colonia Filadelfia, Gómez Palacio, Durango, México

✉ atespinoza@ujed.mx

Resumen **- En este artículo se describe cómo se ha ampliado un control servo-visual basado en imagen, diseñado inicialmente para robots manipuladores, para adaptarlo a robots móviles con ruedas omnidireccionales. El enfoque se basa en el uso de una ley de control proporcional-derivativo (PD) para regular tanto la posición como la orientación del robot móvil. Se utiliza una matriz 3x3 generada a partir de tres puntos visibles en la cámara para realizar el cálculo del error. Multiplicando los puntos visibles en el robot por la inversa de esta matriz, se logra una corrección precisa de la trayectoria. Esta metodología brinda una navegación sólida y flexible en ambientes cambiantes. El estudio resalta cómo el control servo-visual es versátil y se puede aplicar tanto en robots manipuladores como en robots móviles con ruedas omnidireccionales, lo que amplía las posibilidades de percepción y movimiento en diferentes aplicaciones robóticas. La inclusión de la tecnología servo-visual en plataformas móviles amplía las oportunidades en áreas como la logística automatizada, la exploración autónoma y el apoyo robótico en entornos complicados.**

Palabras Clave**: Control PD, Control Servo-Visual, Robots Móviles, Ruedas omnidireccionales,**

Abstract **- This article discusses how an image-based visual servo control, originally designed for manipulator robots, has been adapted for mobile robots equipped with omnidirectional wheels. The approach utilizes a proportional-derivative (PD) control law to regulate both the position and orientation of the mobile robot. A 3x3 matrix generated from three visible points captured by the camera, is used to compute the error. By multiplying the robot's visible points by the inverse of this matrix, precise trajectory correction is achieved. This methodology enables robust and flexible navigation in dynamic environments. The study demonstrates the versatility of visual servo control, showing that it can be applied to both manipulator robots and mobile robots with omnidirectional wheels, which expanding the possibilities for perception and movement across various robotic applications. The integration of visual servo technology into mobile platforms enhances opportunities in areas such as automated logistics, autonomous exploration, and robotic assistance in complex environments.**

Keywords**: Mobile robots, Omnidirectional Wheels, PD Control, Visual-Servoing**

I. INTRODUCCIÓN

El control servo-visual es una técnica de control automático que permite generar la señal de control de algún sistema o planta mediante información de un sensor óptico. Mediante una imagen obtenida de una cámara y empleando visión artificial se puede generar una ley de control que calcule el torque, velocidad, corriente o voltaje para controlar un robot. Es posible manejar la información en espacio del mundo (metros) o en el espacio de la cámara (pixeles) para calcular un posible error que al ser ingresado en la ley de control calcule la acción correctiva para que el robot cumpla con la tarea especificada. En los tipos de robots donde se puede encontrar el mayor potencial del control servo-visual son los robots móviles y de manera más específica los robots móviles con ruedas (RMR) (Tzafestas, 2013).

Un algoritmo de control servo-visual, en la mayoría de los casos, comienza ubicando la posición y orientación respecto a un marco inercial o respecto a un objeto de referencia. Mediante los algoritmos de visión artificial, un RMR puede determinar su posición y orientación con base en la ubicación y orientación de la cámara. Esta información es adquirida, comparada y realimentada para calcular una acción de corrección (Espiau et al., 1992). Existen dos enfoques dependiendo del espacio donde es calculada la posición y orientación: el primero es el control Servo-Visual Basado en Posición (PBVS - por sus siglas en inglés) (Al-shanoon et al., 2018), que estima la posición del RMR en unidades del mundo real (por ejemplo, metros, pulgadas, centímetros), y el segundo es el Control Servo-Visual Basado en Imagen (IBVS), que realiza la estimación en píxeles (Ferro et al., 2019). Para un análisis más detallado de estas dos técnicas, se recomienda la referencia (Hutchinson et al., 1996).

Las dos técnicas mencionadas anteriormente han permitido que los RMR operen en entornos más complejos y dinámicos, mejorando su capacidad de navegación y desempeño en tareas específicas. Algunos trabajos recientes sobre control Servo-Visual en RMR incluyen: en (Li et al., 2018), donde se desarrolla un control utilizando la técnica IBVS para un RMR de dos ruedas. En esta propuesta, no se requiere una imagen de referencia para regular la posición; en su lugar, se emplea un algoritmo de control adaptable para alcanzar la posición con mediciones de los objetos en el entorno del robot. Este enfoque innovador permite que el robot se ajuste de manera autónoma a cambios en el entorno, mejorando su adaptabilidad y eficiencia operativa. En (Wang et al., 2020), se describe un control PBVS que considera incertidumbre en los parámetros y aplica una ley de control adaptable para reducir dicha incertidumbre. Un trabajo similar es el de (Sharma et al., 2020), donde se estiman los parámetros extrínsecos mediante el método de gradientes y modos deslizantes. Estas investigaciones reflejan el continuo avance y la diversificación de las estrategias de control Servo-Visual,

destacando la importancia de la adaptabilidad y precisión en la navegación de robots móviles.

El control propuesto se inspira en (Malis, 2004), desarrollado originalmente para robots manipuladores. La metodología presenta un problema que es la estimación de la profundidad. Un robot manipulador puede moverse en el espacio con lo cual la distancia entre la cámara y su objetivo es variable. Por lo cual es necesario de otros sensores además de la cámara, e.g. encoders, o el uso de observadores y filtros para estimar la profundidad. Lo anterior complica su aplicación en robots manipuladores. Por otro lado, expandiendo esta metodología para robots móviles tal estimación puede ser sorteada ya que el robot móvil, al desplazarse sobre un plano, permite conocer su profundidad. El diseño de control propuesto incorpora parámetros como la distancia focal, el centro focal, la resolución del sensor y la distorsión radial, lo que permite un enfoque más robusto y preciso en la navegación y operación del RMR.

La estructura del artículo es la siguiente: la sección II presenta la parte técnica del artículo. La sección comienza por el modelado mecánico del robot que comprende la cinemática y la dinámica. Luego, se añade la dinámica de los motores al modelo para hacerlo más realista. A continuación, se expone el modelo de la cámara, considerando un marco no ortogonal para incluir la distorsión radial. La última subsección de la sección II describe la derivación del control invariante a los parámetros intrínsecos. Los resultados de las simulaciones se presentan en la sección IV y las conclusiones en la sección V.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

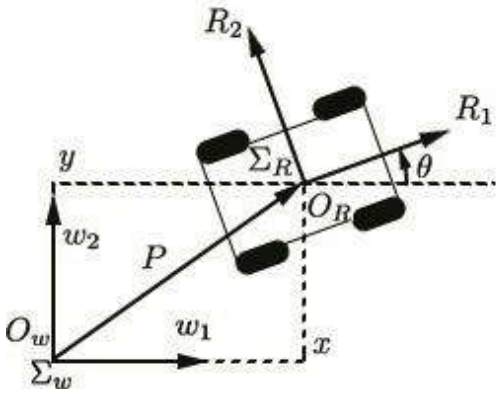
En esta sección se presentan el modelo cinemático y dinámico del robot considerado. La dinámica considera tanto la parte mecánica como eléctrica. Así también se describe el modelo de la cámara para obtener la postura del robot en el espacio de la cámara. En dicho modelo se considera la deformación de la imagen. La parte final de esta sección se presenta la ley de control propuesta y la prueba de estabilidad en el sentido de Lyapunov.

Nota: Las funciones trigonométricas $\sin(\varepsilon)$ y $\cos(\varepsilon)$ serán representadas como s_ε y c_ε, respectivamente.

2.1 Modelo cinemático y dinámico del robot

La obtención del modelo se realizó mediante los procedimientos descritos en (Campion et al., 1996). Para comenzar el análisis es necesario reconocer cada uno de los cuerpos que conforman al RMR. Se tiene un total de 5 cuerpos, lo que viene siendo el cuerpo más grande y pesado corresponde al chasis. En el chasis es conformado enteramente de aluminio y es donde se fija la electrónica, baterías y motores de corriente continua. Los otros 4 cuerpos son las ruedas mecanum o ruedas suecas. Estas ruedas contienen pequeños rodillos en la parte exterior que van a permitir un deslizamiento lateral.

Figura 1
Diagrama de cuerpo libre de un OMR.



La postura de un RMR es la posición y orientación del robot y sirve para describir la ubicación del robot respecto a un marco ortogonal y su orientación, respecto al mismo. El marco respecto al cual se va a medir la postura es al marco inercial Σ_W denotado por $O_W - W_1W_2$ siendo O_W su origen. También se define un marco móvil Σ_R fijado al robot, denotado por $O_R - R_1R_2$ con su origen en O_R (véase la Figura 1). La postura del robot es descrita por las variables x, y para la posición y θ para la orientación:

1. x, y son las variables que indican la posición del origen del marco Σ_R con respecto al marco inercial Σ_W.

$$P = \begin{bmatrix} x & y \end{bmatrix}^T \tag{1}$$

2. θ indica la orientación del marco Σ_R respecto al marco Σ_W.

La posición está considerada en metros y la orientación en radianes. También se definen las matrices de rotación $R_R^W(\theta)$ que rota del marco Σ_R al marco Σ_W y $R_W^R(\theta)$ que rota del marco Σ_W al marco Σ_R:

$$R_R^W(\theta) = \begin{bmatrix} c_\theta & -s_\theta & 0 \\ s_\theta & c_\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{2}$$

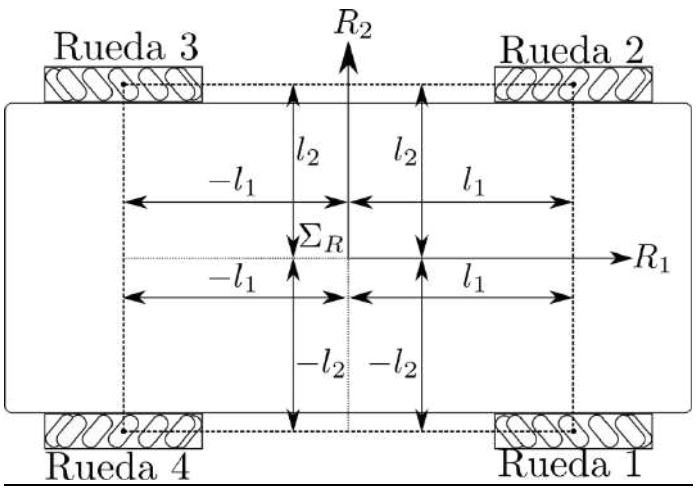
$$R_W^R(\theta) = \begin{bmatrix} c_\theta & s_\theta & 0 \\ -s_\theta & c_\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{3}$$

La distribución de las ruedas y la distancia de cada una de ellas respecto al marco Σ_R está descrito en la Figura 2.

Sea ξ el vector que contiene la postura del robot medida desde el marco Σ_W. La definición del vector es:

$$\xi = \begin{bmatrix} x & y & \theta \end{bmatrix}^T \tag{4}$$

Figura 2
Distribución de las ruedas en el RMR



La derivada respecto al tiempo de $\boldsymbol{\xi}$ corresponde a las velocidades lineales y angular:

$$\frac{d}{dt}(\boldsymbol{\xi}) = \dot{\boldsymbol{\xi}} = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} \tag{5}$$

Para obtener el modelo dinámico es necesario conocer las velocidades del robot respecto al marco Σ_R por lo que es necesario aplicar la siguiente transformación:

$$\boldsymbol{\eta} = \begin{bmatrix} \dot{x}^R \\ \dot{y}^R \\ \dot{\theta}^R \end{bmatrix} = R_W^R(\theta)\,\boldsymbol{\xi} \tag{6}$$

Donde $\boldsymbol{\eta}$ es el vector de las velocidades del robot vistas desde el marco Σ_R. Ahora es necesario calcular las velocidades de las ruedas en función de las velocidades del robot. El vector que contiene las velocidades es $\dot{\boldsymbol{\varphi}}$ que es un vector de longitud 4 y es definido como:

$$\dot{\boldsymbol{\varphi}} = \begin{bmatrix} \dot{\varphi}_1 & \dot{\varphi}_2 & \dot{\varphi}_3 & \dot{\varphi}_4 \end{bmatrix}^T \tag{7}$$

La transformación que calcula la velocidad a la cual deben de girar las ruedas:

$$\dot{\boldsymbol{\varphi}} = \frac{1}{r}\begin{bmatrix} 1 & 1 & L \\ 1 & -1 & -L \\ 1 & 1 & -L \\ 1 & -1 & L \end{bmatrix}\boldsymbol{\eta} = E\boldsymbol{\eta} \tag{8}$$

La matriz E es la matriz jacobiana y tiene la particularidad de ser una matriz constante. Para obtenerla solamente se necesita conocer r que es el radio de las ruedas y L que es la distancia desde el origen de Σ_R al centro de cada una de las ruedas. Para este caso en particular el robot tiene una forma rectangular y el origen de Σ_R corresponde con el centro geométrico lo que hace que todas las ruedas se encuentren a la misma distancia desde el centro. Esto fue seleccionado así con el propósito de simplificar el modelado.

En algunos casos es conveniente conocer cuáles serían las velocidades que se generarían en el robot si tenemos una determinada combinación de velocidades en las ruedas. El método más común sería despejar $\boldsymbol{\eta}$ de (8), sin embargo, se presenta un detalle al momento de que E tiene forma triangular y por lo tanto no tiene inversa. Para estos casos se requiere utilizar la llamada pseudo-inversa izquierda que será representada por E^+ la cual se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$E^+ = (E^T E)^{-1} E^T$$

Al desarrollarla se obtiene:

$$E^+ = \frac{r}{4}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ \frac{1}{L} & -\frac{1}{L} & -\frac{1}{L} & \frac{1}{L} \end{bmatrix} \tag{9}$$

Con el desarrollo anterior ya se puede despejar $\boldsymbol{\eta}$ de (8) obteniendo la siguiente expresión:

$$\boldsymbol{\eta} = E^+ \boldsymbol{\varphi} \tag{10}$$

Con todo el desarrollo anterior ya es posible definir una trayectoria en el marco inercial y obtener las velocidades de las ruedas que cumplan dicha trayectoria. Así como también es posible definir una función de las velocidades de las ruedas y conocer cuál sería su trayectoria resultante en el marco inercial.

Lo siguiente definir el modelo dinámico para conocer el comportamiento del robot en función de sus parámetros físicos que son masas e inercias. La dinámica que gobierna el al OMR es:

$$\frac{k_a}{R_a}E^T\boldsymbol{u} = \overline{M}_v\dot{\boldsymbol{\eta}} + \overline{C}_v\boldsymbol{\eta} + E^T f_m(\boldsymbol{\eta}) \tag{11}$$

donde

$$\overline{M}_v = J_m r_e E^T E + \frac{1}{r_e}\overline{M} \tag{12}$$

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

$$\overline{C}_v = \frac{k_a}{R_a} k_b r_e E^T E + \frac{1}{r_e}\overline{C} \tag{13}$$

$$\overline{M} = R_W^R(\theta)\, M_R R_R^W(\theta) + E^T M_\varphi E \tag{14}$$

$$\overline{C} = R_W^R(\theta)\, M_R R_R^W(\theta) \tag{15}$$

$$M_R = diag\left(m_R,\ m_R, I_{RZ}\right) \tag{16}$$

$$M_\varphi = diag\left(I_{\varphi y}, I_{\varphi y}, I_{\varphi y}, I_{\varphi y}\right) \tag{17}$$

La función $f_m(\boldsymbol{\eta})$ es el modelo con el que se desea aproximar la fricción. En este caso se considera un modelo de fricción de viscosa la cual es definida de la siguiente manera

$$f_{\mathbf{m}}(\boldsymbol{\eta}) = \begin{bmatrix} k_{v1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_{v2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k_{v3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_{v4} \end{bmatrix} \boldsymbol{\varphi} \tag{18}$$

con $k_{vi},\ i = 1,2,3,4$ es el coeficiente de fricción viscosa entre el eje del motor y el rodamiento donde descansa el eje correspondiente. Sin embargo, es posible cambiar el modelo de fricción por uno de Lugre o Coulomb si se aprecia que no es lo suficiente preciso.

La ecuación (11) considera los parámetros mecánicos que son masa e inercia del chasis, la inercia de las ruedas y la fricción existente entre las ruedas y el piso. Así como también considera los parámetros eléctricos que son los parámetros de los motores de corriente continua como la resistencia de armadura, la inductancia, la constante de torque y la constante contraelectromotriz. Es importante mencionar que se considera que los cuatro motores son iguales lo que implica que si bien, los parámetros no son idénticos, hay muy poca diferencia entre los valores de cada uno. La consideración es importante ya que permite que la $\overline{M}_v$ y $\overline{C}_v$ cumplan con las siguientes propiedades:

- La matriz de inercia $\overline{M}_v$ es constante, i.e.

$$\frac{d}{dt}\left(\overline{M}_v\right) = 0 \tag{19}$$

- La matriz $\overline{C}_v$ es de fuerzas giroscópicas con lo cual es una matriz antisimétrica.

$$\xi^T \overline{C}_v \xi = 0 \tag{20}$$

Cada uno de los parámetros utilizados en el modelo es descrito en la Tabla 1.

Tabla 1
Tabla de parámetros del robot

Parámetros	Símbolo
Masa del robot	M_R
Inercia del robot	I_{RZ}
Inercia de las ruedas	I_φ
Resistencia de armadura	R_a
Constante contraelectromotriz	k_b
Constante de torque	k_a
Inercia en el eje	J_m
Distancia 1	l_1
Distancia 2	l_2
Fricción en el eje	$f_m(\cdot)$
Reducción de engranes	r_e
Radio de la rueda	r

2.2 Modelo de la cámara.

En esta sección se plantea un método para transformar las coordenadas de un punto en el espacio de la imagen a un espacio invariante a los parámetros intrínsecos de la cámara.

Para poder modelar una cámara es necesario establecer dos espacios en los que se va a trabajar. En visión artificial un objeto puede representarse en dos espacios distintos. El primero es conocido como espacio del mundo y es postura de un objeto (i.e. posición y orientación) respecto a un cualquier marco ortogonal, que generalmente se describe respecto al marco inercial o marco del mundo. El segundo espacio es el espacio de la cámara y este representa la postura en las mediciones de la cámara que suelen ser pixeles para la posición.

Los modelos de las cámaras pueden considerar distorsión de la imagen o no. En algunos casos la distorsión es tan grande como en las cámaras GoPro donde no es posible ignorarla, pero existentes lentes como los Fujifilm Tipo C de 13 mm que presentan una distorsión tan pequeña que puede ser ignorada. Dependiendo de si se considera distorsión en la imagen o no, la orientación puede tener la misma representación en ambos espacios. Si no se considera distorsión en la imagen, los marcos en ambos espacios son ortogonales, la orientación es idéntica pudiendo ser obtenida por las funciones $\tan^{-1}(\cdot)$ o $\tan 2^{-1}(\cdot,\cdot)$. En cambio, si se considera distorsión, el marco en el espacio de la imagen es no ortogonal existiendo un ángulo diferente de 90 grados entre sus ejes y teniendo que compensar dicha diferencia de ángulo.

Considerando dos marcos y un punto como los que se muestran en la Figura 3. Sea Σ_W el marco del mundo, Σ_C el marco asignado a la cámara. El origen de Σ_C es llamado *centro focal* y es donde todos los rayos de luz que entran por la lente

convergen. Sea $\chi = \begin{bmatrix} x & y & z \end{bmatrix}^T$ las coordenadas desde el marco Σ_W de un punto visible por la cámara. Para obtener las coordenadas desde el marco Σ_C (i.e. χ^C) se realiza la siguiente transformación

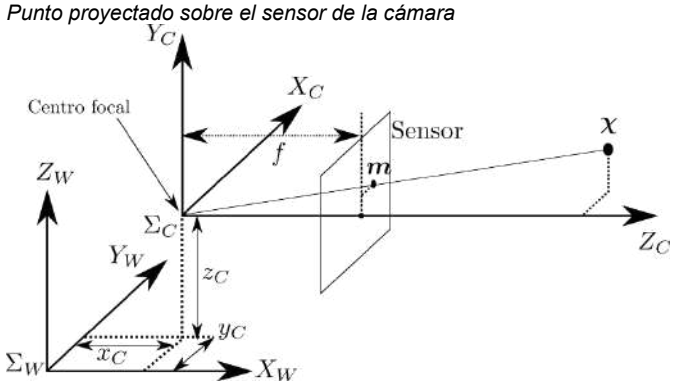
$$\chi^C = \begin{bmatrix} x^C \\ y^C \\ z^C \end{bmatrix} = R_W^C \chi - t^C \tag{21}$$

con

$$R_W^C = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad t = \begin{bmatrix} x_C \\ y_C \\ z_C \end{bmatrix} \tag{22}$$

La ecuación (21) también es conocida como transformación de homografía (Cuevas et al., 2010). Para convertir un punto en coordenadas del mundo (i.e. χ^C) a coordenadas en el espacio de la imagen es necesario conocer los parámetros intrínsecos de la cámara. Estos parámetros varían en cada cámara, incluso aunque sean del mismo modelo. De acuerdo con lo reportando en (Cuevas et al., 2010; Malis, 2004).

Figura 3
Punto proyectado sobre el sensor de la cámara



Los parámetros de una cámara no son fijos, estos pueden variar en el tiempo, aunque de una manera muy lenta por lo que pueden considerarse constantes en un periodo de tiempo relativamente corto. Los parámetros considerados pueden observarse en las Figura 3 y Figura 4. La Figura 3 muestra los parámetros extrínsecos y un parámetro intrínseco: los parámetros extrínsecos son la posición y orientación de la cámara respecto al marco inercial, y el parámetro intrínseco es la distancia focal. En la Figura 4 se pueden apreciar otros dos parámetros intrínsecos que son el centro focal y un marco no ortogonal para modelar la distorsión radial. Por último, faltaría un parámetro intrínseco que corresponde a las contantes que convierten las coordenadas en el espacio del mundo (i.e. metros) a las coordenadas en el espacio de la cámara (i.e. pixeles). En la Tabla 2 se menciona cuáles son las variables que se utilizan para definirlos y una descripción de cada uno.

La conversión de un punto en coordenadas del mundo a coordenadas en el espacio de la imagen se realiza de la siguiente manera. La selección de una técnica u otra depende de la precisión que se desea obtener. Si se desea corregir errores pequeños lo recomendable es el PBVS ya que se estima la distancia en el espacio del mundo con lo cual la cámara es localizada cerca del objetivo para obtener una precisión. Por otro lado, si se desea corregir grandes errores se recomienda el IBVS ya que en esta técnica se recomienda que la cámara esté alejada para poder observar toda el área de trabajo pudiendo hacer correcciones, aunque el robot se encuentre relativamente alejado del objetivo deseado.

Figura 4
Parámetros intrínsecos de la cámara

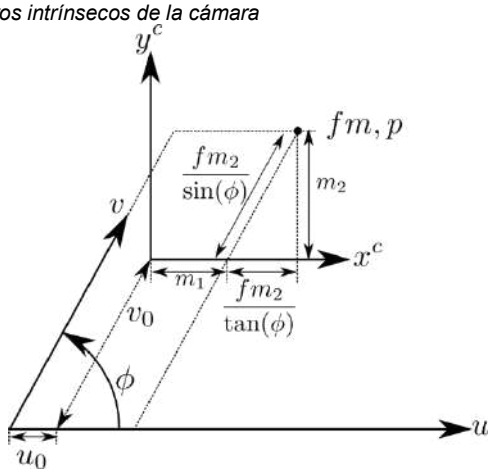


Tabla 2
Símbolos para los parámetros intrínsecos

Parámetros	Símbolo
Distancia focal	f
Constante de conversión de metros a pixeles en el eje u	k_u
Constante de conversión de metros a pixeles en el eje v	k_v
Ángulo existente entre los ejes u y v	ϕ
Distancia desde el centro focal hasta el marco Σ_f a lo largo del eje u	u_0
Distancia desde el centro focal hasta el marco Σ_f a lo largo del eje v	v_0

2.3 Formulación del problema

Sea $m \in \mathbb{R}^3$ un vector tal que

$$m = \begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \\ 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{z^C} \chi^C = \frac{1}{z^C} \begin{bmatrix} x^C \\ y^C \\ z^C \end{bmatrix} \tag{23}$$

El vector m son las coordenadas sobre un plano donde z^C es la unidad. Para encontrar la proyección sobre el sensor de la

cámara y pasarlo al espacio de la imagen se realiza la siguiente transformación.

$$\boldsymbol{P} = \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ 1 \end{bmatrix} = K\boldsymbol{m} \tag{24}$$

$$K = \begin{bmatrix} fk_u & \dfrac{fk_u}{\tan(\phi)} & u_0 \\ 0 & \dfrac{fk_v}{\sin(\phi)} & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{25}$$

Suponiendo que existan cuatro puntos $\boldsymbol{P}_1, \boldsymbol{P}_2, \boldsymbol{P}_3, \boldsymbol{P}_4$ en la imagen. Se puede encontrar un vector $q \in \mathbb{R}^3$ que representa al punto P^4 pero las coordenadas se encuentran en un espacio invariante a los parámetros de la cámara. Dicho vector se obtiene de la siguiente manera:

$$Q = \begin{bmatrix} \boldsymbol{P}_1 & \boldsymbol{P}_2 & \boldsymbol{P}_3 \end{bmatrix} \tag{26}$$

$$Q = KM = K\begin{bmatrix} m_1 & m_2 & m_3 \end{bmatrix} \tag{27}$$

$$Q^{-1} = M^{-1}K^{-1} \tag{28}$$

$$q = Q^{-1}\boldsymbol{P}_4 \tag{29}$$

$$q = M^{-1}K^{-1}K\boldsymbol{m}_4 \tag{30}$$

$$\boldsymbol{q} = M^{-1}\boldsymbol{m}_4 \tag{31}$$

Para que el desarrollo anterior sea correcto se debe de demostrar que Q^{-1} existe. Una condición necesaria y suficiente es demostrar que el determinante de Q (i.e. $|Q|$) es diferente de cero. Primero es necesario aclarar que la estructura de Q es la siguiente

$$Q = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} \\ q_{21} & q_{22} & q_{23} \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \tag{32}$$

Puede observarse que el último renglón está conformado únicamente por valores igual a 1. El cálculo del determinante es el siguiente:

$$\begin{aligned} |Q| = {} & q_{11}(q_{22})(1) + q_{12}(q_{23})(1) + q_{13}(q_{21})(1) \\ & - 1(q_{22})(q_{13}) - 1(q_{23})(q_{11}) - 1(q_{21})(q_{12}) \end{aligned}$$

$$|Q| = q_{11}(q_{22} - q_{23}) + q_{12}(q_{23} - q_{21}) + q_{13}(q_{21} - q_{22}) \tag{33}$$

Por lo tanto, se debe de cumplir que:

$$q_{11}(q_{22} - q_{23}) + q_{12}(q_{23} - q_{21}) + q_{13}(q_{21} - q_{22}) \neq 0 \tag{34}$$

La expresión anterior se cumple siempre y cuando los tres puntos no se puedan unir por una misma línea recta. Para que Q^{-1} exista los puntos $\boldsymbol{P}_1$, $\boldsymbol{P}_2$, $\boldsymbol{P}_3$ no deben ser colineales. En caso de que sean colineales, existiría dependencia lineal entre las columnas de Q haciendo que el determinante sea cero e impidiendo la obtención de la inversa.

2.4 Ley de control.

En esta sección se obtiene una ley de control cinemática semejante a la presentada en (Cuevas et al., 2010). La diferencia es que el error se obtiene en el espacio invariante a los parámetros intrínsecos de la cámara. Existen 6 marcas disponibles en la imagen, entonces es posible controlar 3 grados de libertad. Sea $s \in \mathbb{R}^9$el vector que contiene los puntos q_k, $k = 4, 5, 6$.

$$s = \begin{bmatrix} q_4^T & q_5^T & q_6^T \end{bmatrix}^T \tag{35}$$

Sea $\boldsymbol{\eta} \in \mathbb{R}^3$ es el vector de velocidades lineales y rotacionales de la cámara. Para cada punto $\boldsymbol{q}_k$ se tiene

$$\dot{\mathbf{q}} = Q^{-1}\left(\dot{\boldsymbol{P}}_k - q_{k1}\dot{\mathbf{P}}_1 - q_{k2}\dot{\mathbf{P}}_2 - q_{k3}\dot{\mathbf{P}}_3 \right)$$

Para obtener las velocidades de cada punto $\boldsymbol{P}_i$, $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ se emplea la matriz de interacción o Jacobiana de la imagen (i.e. L_i) reportada en (Espiau et al., 1992).

$$\dot{\boldsymbol{P}}_i = \begin{bmatrix} \dot{p}_{i1} \\ \dot{p}_{i2} \\ \dot{p}3 \end{bmatrix} = J_{pi}\boldsymbol{\eta} \tag{36}$$

$$J_{pi} = \begin{bmatrix} -\dfrac{1}{z_i^C} & 0 & 1 + q_{i1} \\ 0 & -\dfrac{1}{z_i^C} & -q_{i1}q_{i2} \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \tag{37}$$

La derivada en el tiempo de (36) es

$$\dot{s} = J_s\boldsymbol{\eta} \tag{38}$$

donde

$$J_s = Q^{-1}\left(J_{pk} - q_{k1}J_{p1} - q_{k2}J_{p2} - q_{k3}J_{p3} \right) \tag{39}$$

Se define el error $\tilde{\boldsymbol{s}}$ como

$$\tilde{s} = \boldsymbol{s}^* - s \tag{40}$$

la derivada con respecto al tiempo del error (i.e. $\dot{\tilde{s}}$) es

$$\dot{\tilde{s}} = \dot{s} \tag{41}$$

Sustituyendo la ecuación (39) en la ecuación anterior se tiene

$$\dot{\tilde{s}} = J_s \eta \tag{42}$$

Proponiendo que la minimización del error sea un decaimiento exponencial

$$\dot{\tilde{s}} = -\Lambda \tilde{s} \tag{43}$$

La ley de control propuesta es

$$u = -\Lambda G J_s^{+} \tilde{s} \tag{44}$$

$$G = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 \end{bmatrix} \tag{45}$$

$$\Lambda = diag\left(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3\right), \quad \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 > 0 \tag{46}$$

Para el análisis de estabilidad se utiliza la siguiente función de Lyapunov

$$V(\tilde{s}) = \frac{1}{2}\|\tilde{s}\|^2 \tag{47}$$

La derivada en el tiempo de $V(\tilde{s})$ es

$$\dot{V}(\tilde{s}) = -\Lambda \tilde{s}^T J_s G^{+} G J_s^{+} \tilde{s} \tag{48}$$

escogiendo valores $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 > 0$ es suficiente para probar estabilidad global

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

Para realizar las simulaciones se seleccionaron las siguientes señales deseadas:

$$s^* = \begin{bmatrix} -0.1\sin(0.1t) \\ 0.1\cos(0.1t) \\ \frac{\pi}{2}\sin(0.02t) \end{bmatrix}, \quad \dot{s}^* = \begin{bmatrix} -0.01\cos(0.1t) \\ 0.01\sin(0.1t) \\ 0.01\pi\cos(0.02t) \end{bmatrix} \tag{49}$$

La trayectoria deseada en la posición representa un círculo con un radio de 10 cm y una periodicidad de 31.4 segundos. La trayectoria en la orientación también es una función del tiempo con una periodicidad de aproximadamente 100 segundos. Lo anterior implica que mientras se realiza la trayectoria del círculo el robot va girando sobre su propio eje. En caso de necesitar que el robot gire en sincronía con el circulo, el argumento dentro de las funciones trigonometrías de x^*, y^* debe de ser la trayectoria deseada de θ^*.

La simulación se realizó usando MATLAB/SIMULINK 2021B. La duración total de la simulación es de 120 segundos. La matriz de ganancias Λ se ajustó a $\Lambda = diag(8, 11, 9)$. En las Figuras 5 y 6 se presentan los resultados de las velocidades del robot obtenidos en simulación. En la Figura 5 se observan las gráficas de las velocidades deseadas y las realizadas por el robot. La curva que se presenta como línea continua es la señal deseada y la línea punteada es la salida. Se puede apreciar que las curvas resultantes están prácticamente empalmadas lo que indica que el error es un valor muy cercano a cero. En la Figura 6 se grafica el error de velocidad, observándose que los errores son valores cercanos a cero, lo que hace concordancia con la Figura anterior. En tiempo cero se puede apreciar un pequeño pico que es natural su existencia ya que el robot parte del reposo. Sin embargo, este es rápidamente compensado por la ley de control llevando al robot a la velocidad indicada. El movimiento del robot es descrito por el robot visto desde el marco inercial que se muestra en la Figura 7.

Figura 5
Grafica de señal deseada y señal de salida

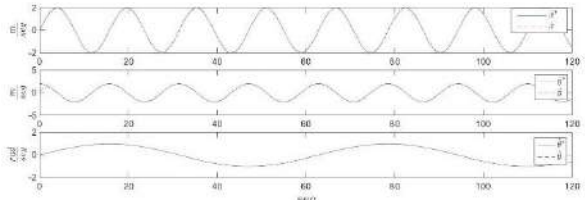


Figura 6
Graficas del error

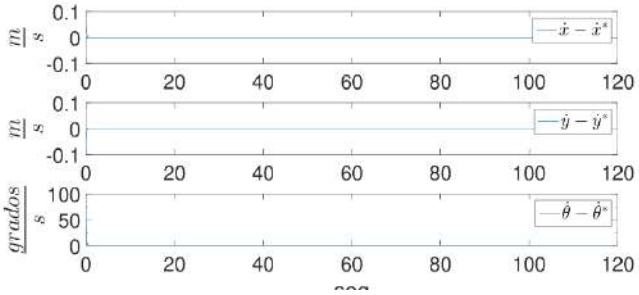
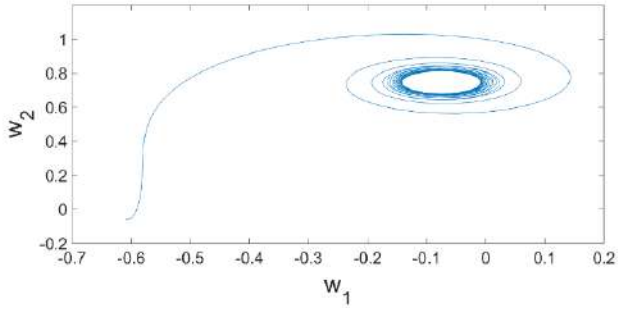


Figura 7
Trayectoria realizada por el robot



V. CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó un control servo-visual para un RMR de 4 cuatro ruedas. El control diseñado permite absorber los parámetros intrínsecos por medio de una matriz que se construye a partir de tres puntos visibles. La única condición es que los tres puntos no sean colineales para que exista la inversa. Los resultados obtenidos en simulación fueron satisfactorios. El controlador calcula el voltaje de armadura de los motores de cada rueda, por lo que no es necesario contar con controles de corriente en los motores ni tampoco encoder ya que no es

requerida la velocidad de las ruedas. La trayectoria propuesta es un círculo con un diámetro de 20 centímetros en el cual se observa que es la trayectoria realizada.

Los resultados muestran que esta ley de control es un buen candidato para aplicaciones prácticas. Dentro de las ventajas técnicas que presenta esta metodología, es el poder utilizar una gran variedad de cámaras, ya que puede absorber las deformaciones radiales de la imagen. Una segunda ventaja es la posibilidad de utilizar un robot con solamente la etapa de potencia y receptor de señales, ya que no se requiere el uso de sensores adicionales como centrales inerciales o encoders. Donde es necesario prestar atención, es en el área de trabajo del robot ya que la cámara requerirá de una mayor altura para poder abarcar un área mayor, lo cual también está relacionado a la resolución de la cámara. Por lo tanto, entre mayor área de trabajo se quiera abarcar, se necesitará una cámara de mayor resolución. Las aplicaciones de este tipo de controles pueden ser tareas para interiores como puede ser traslado de inventario, revisión de zonas, asistencia personal o mapeos de estructuras.

VI. REFERENCIAS

Al-shanoon, A., Tan, A. H., & Wang, Y. (2018). Mobile Robot Regulation with Position Based Visual Servoing. *International Conference on Computational Intelligence and Virtual Environments for Measurement Systems and Applications (CIVEMSA)*, 1–6.

Campion, G., Bastin, G., & D'Andréa-Novel, B. (1996). Structural Properties and Classification of Kinematic and Dynamic Models of Wheeled Mobile Robots. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, *12*(1), 47–62.

Cuevas, E., Zaldívar, D., & Pérez, M. (2010). *Procesamiento digital de imágenes con MATLAB y Simulink*. Alfaomega.

Espiau, B., Chaumette, F., & Rives, P. (1992). A New Approach to Visual Servoing in Robotics. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, *8*(3), 14.

Ferro, M., Paolillo, A., Cherubini, A., & Vendittelli, M. (2019). Vision-Based Navigation of Omnidirectional Mobile Robots. *IEEE Robotics and Automation Letters*, *4*(3), 2691–2698. https://doi.org/10.1109/LRA.2019.2913077

Hutchinson, S., Hager, G. D. D., & Corke, P. I. I. (1996). A Tutorial on Visual Servo Control. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, *12*(5), 651–670. https://doi.org/10.1109/70.538972

Li, B., Zhang, X., Fang, Y., & Shi, W. (2018). Visual Servoing of Wheeled Mobile Robots Without Desired Images. *IEEE Transactions on Cybernetics*, *49*(8), 2835–2844. https://doi.org/10.1109/TCYB.2018.2828333

Malis, E. (2004). Visual servoing invariant to changes in camera intrinsic parameters. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*.

Sharma, R. S., Shukla, S., Behera, L., & Subramanian, V. K. (2020). Position-Based Visual Servoing of a Mobile Robot with an Automatic Extrinsic Calibration Scheme. *Robotica*, *38*(5), 1–14. https://doi.org/10.1017/S0263574719001115

Tzafestas, S. G. (2013). *Introduction to Mobile Robot Control*. Elseiver.

Wang, F., Qin, Y., Guo, F., Ren, B., & Yeow, J. T. W. (2020). Adaptive Visually Servoed Tracking Control for Wheeled Mobile Robot with Uncertain Model Parameters in Complex Environment. *Complexity*, *2020*, 1–13. https://doi.org/10.1155/2020/8836468

VII. AUTORES

José Armando Sáenz Esqueda
https://orcid.org/0000-0002-6567-2946

Arturo Tadeo Espinoza Fraire
https://orcid.org/0000-0001-5619-7744

Isaac Gandarilla Esparza
https://orcid.org/0000-0001-8094-6653

Cristina Sáenz Esqueda
https://orcid.org/0009-0000-5435-1867

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

Desarrollo de Aplicación Móvil como Herramienta para Seguimiento y Análisis Oportuno de la Tutoría Educativa

Aguirre-Mejía, E.T.[1]; Parada-Morado, L.[2] ; Rodríguez-Campos, F.D.[2]; Rodríguez-Chacón, R.L.[2]; Ramírez-Zarate, A.[2]

Datos de Adscripción:

[1] Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de la Laguna. Blvd. Revolución y Av. Instituto Tecnológico de La Laguna, C.P. 27000, Colonia Centro, Torreón, Coahuila, México.

[2] Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Av. Tecnológico No. 1555 Sur, Periférico Gómez - Lerdo Km. 14.5, C.P. 35150 Ciudad Lerdo, Durango, México.

✉ lilia.pm@itslerdo.edu.mx

Resumen **- La deserción escolar a nivel universitario es un problema que genera bajas significativas en cada ciclo escolar, los factores identificados como detonantes son: el académico, económico, familiar y el social; se planteó como objetivo desarrollar un sistema híbrido con aplicación móvil que sirva como herramienta de análisis y apoyo a las sesiones de tutorías para la detección oportuna de posibles casos en riesgo; para utilizarse como medio de prevención y sirva de base para toma de decisiones. Se implementó una metodología mixta, cualitativa para el desarrollo móvil de 7 etapas con implementación de técnica Weiss-Kulikowski y cuantitativa en la aplicación de encuestas diseñadas en escala de Likert y validada por expertos, dirigidas a alumnos mediante técnica cronológica para la obtención y análisis de datos. Como resultado se obtiene una APP móvil Android desarrollada en React Native, contiene un panel de administración en Laravel utilizando PostgreSQL que permite, crear, diseñar, cronometrar, dar seguimiento y consultar el historial, despliega informes por semestre, carrera, tutor y permite la creación de usuarios con asignación de prerrogativas en la visualización y análisis de los datos. Como conclusión, con este desarrollo se logra dar seguimiento a estudiantes, el sistema tiene la capacidad de filtrar encuestas y generar reportes de los resultados. Además, con esta aplicación, se tendrá acceso a la información para ser revisada en el momento, se permite la creación cronometrada de encuestas, utilizando los mejores sistemas de desarrollo de aplicaciones móviles, que pueden ser instaladas en equipos de telefonía móvil con sistema operativo Android.**

Palabras Clave **- APP en ausentismo, APP en Detección de riesgos, Detección abandono escolar, , Seguimiento móvil tutorial, Tecnología tutorial**

Abstract **- University-level dropout is a problem that leads to significant losses in each academic cycle. The key contributing factors identified include academic, economic, family and social challenges. This study aimed to develop a hybrid system with a mobile application to serve as an analytical tool and support for tutoring sessions, enabling the timely detection of students at risk of dropping out. The application is intended as a preventive measure and a basis for decision-making. A mixed methodology was employed: a qualitative approach for the mobile app development, following a 7 stages process using Weiss-Kulikowski technique and quantitative approach through surveys designed on a Likert scale and validated by experts, targeting students. Data collection and analysis were connected chronologically. The result is an Android mobile app developed in React Native, featuring an administration panel in Laravel with PostgreSQL. This system allows users to create, design, schedule, track and review the history, as well as generate reports by semester, program and tutor. It also enables the creation of user accounts with assigned roles for viewing and analyzing data. In conclusion, the system provides the ability to monitor students, filter surveys and generate results reports. The application offers real-time access to information, allows for the timely creation of survey, and is built using state of the art mobile development technologies for Android devices.**

Keywords **- Dropout Detection, Risk Detection APP, truancy APP, Tutoring Technology, Tutoring Tracking for mobil devices**

I. INTRODUCCIÓN

A. Apps para el aprendizaje

Los dispositivos electrónicos como los móviles o tabletas suscita la cimentación de saberes, provocando el aprendizaje mutuo y reciprocidad de saberes, facilita la interacción entre alumnos y profesores (Soto-Guerrero et al., 2018), se considera un recurso indispensable para la educación superior (ES), ofrecer apoyo académico a los estudiantes y constituir un componente fundamental de la acción educativa es su principal objetivo (Escobar-Reynel et al., 2021), se convierten en alternativas de formación independiente, que perfecciona y transforman el aprendizaje por las novedosas características y funciones que proveen (Lemos, 2020), permiten la interacción real que mejora el rendimiento del estudiante y perfecciona su desempeño al aplicar nuevas metodologías (Suárez-Triana et al., 2020).

Diseñar aplicaciones móviles permite a los jóvenes mejorar el tiempo invertido en la construcción del conocimiento y al mismo tiempo reconocer y alertar de dudas entre los estudiantes, promoviendo tutorías más eficientes y efectivas (Soto-Guerrero et al., 2018). Además, es importante desarrollarlas bajo un enfoque integral que combine metodologías ágiles, herramientas accesibles, diseño centrado en el usuario, integración pedagógica, contextualización, permiten el perfeccionamiento docente en el diseño de aplicaciones móviles educativas innovadoras (Escobar-Reynel et al., 2021).

El aprendizaje móvil se basa en nuevas tecnologías donde la inmediatez de la información posibilita que el usuario defina sus propios espacios de aprendizaje en un entorno electrónico (Torres, 2015).

B. Tutoría educativa digital

De acuerdo con los autores Soto-Guerrero et al (2018), la tutoría digital ofrece a los estudiantes apoyo en su progreso académico y mayor acercamiento entre profesores y alumnos, se considera un Tutor Inteligente (TI) encargado de formar habilidades, formar conocimientos nuevos y supervisar la actividad práctica y solución de tareas (Degante, 2020).
Donde los estudiantes manipulan teléfonos inteligentes como herramientas para su aprendizaje (Torres, 2015), este tipo de aplicaciones son de gran apoyo para el desarrollo de métodos de enseñanza, tutoría y seguimiento personalizado (Degante, 2020).

Soto-Guerrero et al (2018) desarrollaron un modelo de acción tutorial móvil híbrida bajo metodología ágil de Scrum. Para los autores Escobar-Reynel et al (2021), desarrollarlas bajo metodología Scrum permite iteraciones rápidas y mejora continua del producto, debido a su flexibilidad, capacidad de adaptación y enfoque en la colaboración y la entrega continua de valor (Molina et al., 2021).

C. Problemas que atiende la tutoría digital

Algunos de los problemas identificados que puede atender un proyecto de tutoría digital son:

- La aplicación móvil facilita la accesibilidad y el compromiso de los estudiantes al permitirles interactuar con los tutores de manera más flexible y conveniente (Soto-Guerrero et al., 2018).
- Proveer al momento contenidos interactivos, flexibles y rápidos, para que los estudiantes tengan opciones necesarias que faciliten su aprendizaje (Torres, 2015), en cualquier lugar y en cualquier momento, para cualquier área (Martínez et al., 2019).
- Al proporcionar una herramienta estructurada y eficiente para la tutoría, se espera que los docentes se sientan más motivados y apoyados en su labor tutorial (Soto-Guerrero et al., 2018), transformar la función conductista para aproximarse a la figura de facilitador del aprendizaje (Domínguez & Olavide, 2009).
- Proporciona un aprendizaje estratégico orientado a la consecución del éxito educativo (Torres, 2015), potencian la constitución y consolidación de equipos de trabajo, facilitan el diálogo e intercambio de ideas, experiencias entre los diferentes miembros de la comunidad universitaria (Domínguez & Olavide, 2009).
- La aplicación móvil mejora la interacción entre alumnos y profesores, facilitando una comunicación más fluida y un seguimiento más riguroso del progreso académico de los estudiantes (Soto-Guerrero et al., 2018).
- Permiten observar resultados cualitativos y cuantitativos para representar el conocimiento (Degante, 2020), identifican problemáticas y coadyuban proporcionando soluciones a necesidades educativas, además de poder identificar con acierto, las distintas formas de aprendizaje de nuestros alumnos (Rodríguez, 2021).

D. Técnicas para Desarrollo móvil

- BootStrap. es un marco de diseño inicialmente creado por Twitter que facilita la construcción de interfaces web usando CSS y JavaScript. Esto ajusta automáticamente la apariencia de la página web según el tamaño del dispositivo, ya sea una PC o una Tablet. A este atributo se le conoce como "diseño responsivo". (Rodríguez - Lainez, 2016)
- Bases de Datos. Según (Pisco-Gómez, et al., 2017), una base de datos es una colección organizada y sistemática de datos que reflejan una realidad concreta. Estos datos están dispuestos de manera que no dependen de aplicaciones específicas, permitiendo que diversos usuarios y programas puedan acceder y compartir la información.
- PostgreSQL De acuerdo con (PostgreSQL Global Development Group, 2023) PostgreSQL es un sistema de bases de datos relacional orientado a objetos de código abierto, distribuido bajo una licencia similar a BSD o MIT. Esta herramienta permite trabajar con diferentes modelos de datos, facilitando el desarrollo de aplicaciones robustas y con capacidad de escalabilidad.
- CRUD. El término CRUD es un acrónimo que significa "Create, Read, Update, Delete" y hace referencia a las acciones de gestión y mantenimiento de datos, generalmente en tablas de un sistema de base de datos relacional. (Amodeo, 2013).
- API. Se puede entender el término API como un método que permite a dos aplicaciones informáticas comunicarse entre sí a través de una red (principalmente Internet) utilizando un lenguaje común que ambas comprenden (Jacobson et al., 2011).
- API REST. Las APIs REST ofrecen una interfaz estandarizada para interactuar y gestionar recursos (Giuliano et al., 2021).
- Framework. Un framework puede definirse como un conjunto preestablecido y entrelazado de estructuras y componentes de software que actúan como cimiento para organizar y desarrollar sistemas de uso amplio (Giuliano et al., 2021).
- Laravel, actualmente, Laravel es el framework PHP más popular. Su enfoque se centra en producir código sencillo y estilizado. (Vazquez, 2019).
- MVC. es un modelo de diseño que propone segmentar una aplicación en tres componentes distintos y con roles específicos: Modelo, Vistas y Controlador. (Pantoja, 2004).
- Aplicación Híbrida, según (Angulo, 2013) se puede entender una aplicación híbrida como el desarrollo de una página móvil la cual puede hacer uso de las funcionalidades nativas de un dispositivo móvil. La implementación de una aplicación híbrida resultó conveniente dado a la gran similitud que tiene con sistemas web, resultando en un desarrollo más intuitivo y rápido.
- React Native, es una herramienta de código abierto, creada principalmente por el equipo de Facebook, para la creación de aplicaciones móviles nativas. (Silva-

Aguacunchi & Coello-Mainato, 2022)

- Android, de acuerdo con Luján-Castillo (2017) nos dice que Android, al igual que Windows y Linux, es un sistema operativo. Estos sistemas operativos actúan como intermediarios entre el hardware y el software, gestionando los recursos del dispositivo y proporcionando servicios esenciales para el funcionamiento de las aplicaciones.
- Admin LTE, según Cisneros et al (2019), Admin LTE es una plantilla web construida sobre Bootstrap que ofrece una amplia gama de funcionalidades y estilos, junto con contenido dinámico. Además, proporciona una experiencia de usuario intuitiva gracias a su interfaz sencilla y comprensible.
- Laravel Permission. Es una librería de Laravel que permite administrar las identificaciones, contraseñas, roles y permisos de los usuarios. Facilita establecer niveles de acceso basados en los roles otorgados a los usuarios (Moreno et al., 2022).
- HTTP o Protocolo de Transferencia de Hipertexto según el Libro “HTTP: The Definitive Guide” de (Gourley et al., 2002) se define como un protocolo de comunicación que sirve como sistema de petición-respuesta en la World Wide Web (WWW). Funciona como un protocolo de solicitud-respuesta entre un cliente (generalmente un navegador web) y un servidor, y se utiliza para transferir páginas web, imágenes, videos y otros recursos desde el servidor web al cliente.
- HTML significa "Hypertext Markup Language" (Lenguaje de Marcado de Hipertexto). Según (Prescott, 2015) HTML es un lenguaje de marcado que se utiliza para estructurar contenido en la web, es decir, define y describe la estructura semántica de documentos web en términos de encabezados, párrafos, listas, enlaces, formularios, entre otros elementos.
- CSS significa "Cascading Style Sheets" (Hojas de Estilo en Cascada), según el libro “Diseño Web con CSS: 2da Edición” de (Durango, 2015), es un lenguaje de diseño gráfico utilizado para describir cómo se debe mostrar el contenido estructurado, comúnmente escrito en HTML o XML. Básicamente, mientras que el HTML define la estructura y el contenido de un documento web, el CSS define su presentación visual.
- Aplicación Web. En el texto "Programación de aplicaciones web: historia, principios básicos y clientes web" de (Mora, 2002), se describe una "aplicación web" como una versión particular de aplicación cliente/servidor. En ella, tanto el cliente (como los navegadores) como el servidor (el servidor web) y la forma en que interactúan (a través del protocolo HTTP) ya están definidos y no necesitan ser desarrollados por el desarrollador de la aplicación.
- Node JS. Es un ambiente de operación que funciona en múltiples plataformas, facilitando que se ejecute de forma autónoma en el lado del servidor para el lenguaje JavaScript. Es de código libre y cuenta con una licencia MIT, lo que posibilita su descarga e instalación sin costo alguno. (Puciarelli, 2020)
- Composer. Es el administrador de paquetes y código de PHP, facilitando la instalación de diversas librerías, frameworks y códigos en el ámbito PHP. Proporciona un acceso ágil a través de la línea de comandos del sistema operativo. (Aguirre, 2021)
- Git. En el texto "Git y GitHub desde cero" de (Moure, 2023), "Git" se presenta como un sistema de control de versiones descentralizado, que brinda a los programadores la capacidad de colaborar en un proyecto sin la obligación de conectarse a un servidor principal.
- GitLab. Según el libro “GitLab Cookbook” de (van Baarsen, 2014) en GitLab es una plataforma de integración continua (CI/CD) basada en web que proporciona una solución de ciclo de vida completo para el desarrollo de software, abarcando desde el alojamiento del código fuente y la gestión de proyectos hasta la integración continua, entrega y monitorización. Facilita la colaboración en proyectos de software y ayuda a los equipos a acelerar la entrega, mejorar la calidad del código y optimizar los flujos de trabajo.
- Docker. Conforme a Docker (Docker Inc, 2023), es una plataforma de código abierto diseñada para el desarrollo, distribución y ejecución de aplicaciones. Docker facilita la desvinculación de las aplicaciones de la infraestructura, permitiendo una entrega de software más eficiente.
- Visual Studio Code. Con base en lo señalado por (Cabezas-Granado & González -Lozano, 2021) Visual Studio Code es una herramienta creada por Microsoft que sirve para editar código fuente disponible para sistemas operativos como Windows, Linux y macOS. Esta herramienta proporciona capacidades para resaltar la sintaxis y ofrece sugerencias inteligentes en la escritura de código, también integra funciones para la depuración y ayuda al control de versiones con Git.
- Ubuntu. Como lo menciona (Pérez-Tavera, 2013) en su artículo Software libre (Ubuntu), Ubuntu es un sistema operativo cuyo núcleo se basa en GNU/Linux. Se originó a partir de Debian, otra distribución de Linux, lo que le otorga una base sólida y una amplia comunidad de apoyo. Estas características lo vuelven el predilecto para montar el servidor que dará vida al proyecto.
- NGINX. Según el artículo de (Palma-Pérez, 2020) podemos entender NGINX como un software de servidor web que puede actuar como un servidor proxy inverso, balanceador de carga y servidor de correo. Su diseño permite diferenciar entre contenido estático y dinámico. Cuando se utiliza en combinación con otros servidores, como Apache, NGINX se encarga de gestionar las solicitudes para contenido estático, optimizando la velocidad de entrega, mientras que puede reenviar las solicitudes de contenido dinámico a un servidor back-end.
- DataGrip. Según JetBrains (2023) DataGrip es una herramienta avanzada para la gestión y administración de bases de datos desarrollada por JetBrains. Esta herramienta proporciona a los desarrolladores y administradores de bases de datos una interfaz intuitiva y funcionalidades robustas para trabajar con múltiples sistemas de gestión de bases de datos (DBMS).
- SQLite. Como nos menciona el doctor Hipp (2023) SQLite es una biblioteca de lenguaje C que facilita una base de

datos relacional autónoma, sin servidor y sin configuración. A diferencia de los sistemas tradicionales de gestión de bases de datos, SQLite no requiere un servidor separado para funcionar, lo que lo convierte en la opción ideal para aplicaciones móviles, aplicaciones de escritorio, y otros escenarios donde se requiere una solución ligera y autónoma.

- SSH. Según Hostalia (2013) SSH o Secure SHell, es un protocolo de red que permite a los usuarios conectarse y administrar computadoras de forma remota a través de un canal seguro. Fue diseñado para ofrecer una alternativa segura a los protocolos inseguros tradicionales, como telnet y rlogin.
- Native Base. Según GeekyAnts (2023) en el sitio oficial de NativeBase, lo definen como una biblioteca de componentes de interfaz de usuario (UI) para React Native, diseñada para permitir a los desarrolladores construir aplicaciones móviles nativas en ambas plataformas, iOS y Android, con una base de código común. Proporciona un conjunto de componentes de UI listos para usar que se asemejan a los componentes nativos de ambas plataformas, lo que facilita la creación de aplicaciones con una apariencia y sensación nativa.
- JSON, cuyo nombre completo es "JavaScript Object Notation", representa un formato estándar de intercambio de datos basado en texto plano. Derivado de un subconjunto de la sintaxis de JavaScript, se destaca por su simplicidad y legibilidad, características que han impulsado su adopción masiva en diversas aplicaciones, especialmente en el ámbito de la web. (Pompa-Sourd, 2022).
- Postman, en base a lo planteado por (Cuervo, 2019) en su sitio “¿Qué es Postman?” Podemos entenderlo como una plataforma de colaboración para el desarrollo de API (Interfaz de Programación de Aplicaciones) que facilita a los desarrolladores y equipos la creación, prueba, documentación y monitoreo de APIs.
- Tailwind CSS, según la Fundación Universitaria San Pablo CEU, (2022) Tailwind es un marco de diseño (framework) de utilidad para la creación rápida de interfaces de usuario. Permite a los desarrolladores componer interfaces a través de clases de utilidad de bajo nivel, proporcionando una mayor flexibilidad y control sobre el diseño sin salir del HTML.
- Vite, es una herramienta de construcción o "build tool" y un entorno de desarrollo que busca mejorar la eficiencia y el rendimiento en el proceso de desarrollo de aplicaciones web modernas.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

Se implementó una metodología mixta, cualitativa para el desarrollo móvil de 7 etapas con implementación de técnica Weiss-Kulikowski y cuantitativa en la aplicación de encuestas diseñadas en escala de Likert y validada por expertos, dirigidas a alumnos mediante técnica cronológica para la obtención y análisis de datos.

2.1. Método de desarrollo para la APP móvil

Etapa 1: Planificación y requisitos desarrollada en los siguientes pasos: a) reunión de Kick-off, para reunirse con los stakeholders y entender sus expectativas y necesidades. b) definición de requisitos, para identificar y documentar las funcionalidades principales: crear, diseñar, dar seguimiento, consultar historial, desplegar informes, gestión de usuarios. c) planificación del proyecto (Ahmad et al., 2018).

Etapa 2: Análisis y diseño desarrollada en las siguientes fases: análisis del Sistema que incluye la arquitectura Cliente-Servidor y especificación de API para la comunicación entre React Native y Laravel; el diseño de la DB que incluye el esquema de la base de datos en PostgreSQL y la definición de tablas, relaciones y claves; el diseño de la interfaz de usuario que contiene los prototipos de las pantallas principales de la aplicación móvil y del panel de administración y Experiencia de usuario (UX) coherente y fluida y el diagrama Weiss-Kulikowski, que contiene, el diagrama de flujo de trabajo detallado para las funcionalidades clave y la identificación de puntos críticos y dependencias (Hassan & Hassan, 2017).

Etapa 3: Desarrollo de la aplicación móvil, desarrollado en los siguientes pasos: configuración del entorno de desarrollo, para instalar y configurar React Native, Node.js, y otras dependencias necesarias; desarrollo de funcionalidades, para implementar funcionalidades de creación, diseño, cronometrar, y seguimiento y la integración con la API de Laravel para la gestión de datos; pruebas unitarias, para escribir pruebas unitarias para cada componente y funcionalidad; integración continua para configurar pipelines de CI/CD para pruebas y despliegues automáticos (Aldave et al., 2019)

Etapa 4: Desarrollo del Panel de Administración desarrollada en los siguientes pasos: configuración del entorno de desarrollo, para Instalar y configurar Laravel, Composer, y PostgreSQL; desarrollo de funcionalidades, para implementar CRUD (Create, Read, Update, Delete) para las diferentes entidades (usuarios, proyectos, tareas), implementar control de acceso basado en roles y desarrollar la funcionalidad para generar informes por semestre, carrera, y tutor; pruebas unitarias y de integración, para escribir pruebas para asegurar la funcionalidad y la integridad de los datos.

Etapa 5: Integración y Pruebas desarrollada en los siguientes pasos: pruebas de integración para verificar que la aplicación móvil se comunique correctamente con el backend; pruebas de Sistema, para realizar pruebas end-to-end para asegurar que todo el sistema funcione como se espera; pruebas de usuario para realizar pruebas con usuarios reales para obtener retroalimentación y ajustar según sea necesario (Al-Baik & Miller, 2015).

Etapa 6: Despliegue desarrollada en los siguientes pasos: preparación del entorno de producción, para configuración de servidores y servicios necesarios (AWS, Heroku, etc.), despliegue de la aplicación móvil, para publicar la aplicación en Google Play Store; despliegue del panel de administración para desplegar el panel de administración en un servidor web seguro u migración de la base de datos, para ejecutar migraciones de base de datos en el entorno de producción (Amorim, et al., 2020).

Etapa 7: Mantenimiento y Mejora Continua desarrollada en los siguientes pasos: monitoreo y soporte para configurar herramientas de monitoreo para detectar y resolver problemas; actualizaciones y mejoras para implementar mejoras continuas y nuevas funcionalidades basadas en feedback de usuarios, documentación para mantener documentación actualizada del sistema para facilitar el mantenimiento y la escalabilidad futura y revisión periódica para realizar revisiones periódicas del sistema para identificar áreas de mejora y asegurar la calidad continua (Ananjeva et al., 2020)

Metodología para el Diagrama Weiss-Kulikowski para la implementación

Inicio
Identificación del Proyecto y Objetivos.
Planificación
Definición de Recursos y Cronograma.
Desarrollo de la App Móvil
Creación de Interfaces y Funcionalidades.
Desarrollo del Panel de Administración
Implementación de CRUD y Control de Acceso.
Integración y Pruebas
Verificación de Comunicación y Pruebas de Sistema.
Despliegue
Publicación en Google Play Store y Despliegue del Backend.
Mantenimiento

2.2. Diagrama entidad relación

En la figura 1. Diagrama entidad-relación se muestran las tablas que componen la base de datos del sistema TeContesta, entre las que se destacan las entidades Programación, Encuesta y Encuestas Contestadas.

La entidad Programación gestiona las fechas de publicación, inicio y fin de las encuestas, asegurando una correcta planificación y ejecución de las mismas. Por otro lado, la entidad Encuesta contiene los datos relevantes de las preguntas formuladas en las encuestas, permitiendo una adecuada estructuración y categorización de la información recopilada. Finalmente, la entidad Encuestas Contestadas almacena las respuestas proporcionadas por los alumnos, facilitando el análisis y seguimiento de los resultados obtenidos. Como dato final, es importante mencionar que las encuestas pueden tener varios estatus, los cuales son: publicada, programada, cancelada, guardada y finalizada.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como resultado se obtiene una APP móvil Android que contiene un panel de administración, permite, crear, diseñar, cronometrar, dar seguimiento y consultar el historial, despliega informes por semestre, carrera, tutor y permite la creación de usuarios con asignación de prerrogativas en la visualización y análisis de los datos.

El acceso al sistema requiere autenticación; por tanto, para interactuar con él es imprescindible contar con las credenciales adecuadas, lo cual se gestiona a través de una pantalla de inicio de sesión, tal como se ilustra en la figura 2.

Figura 1.
Diagrama entidad-relación

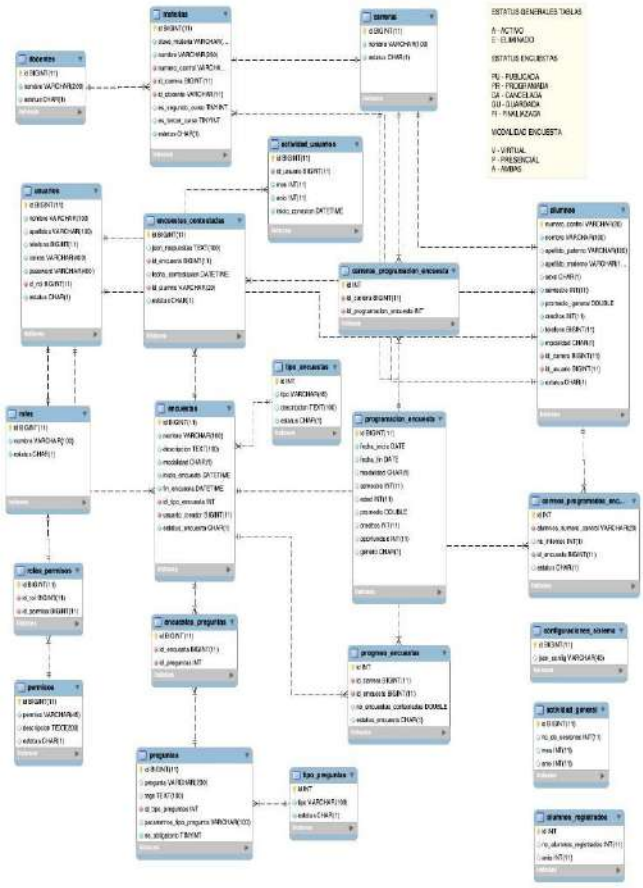


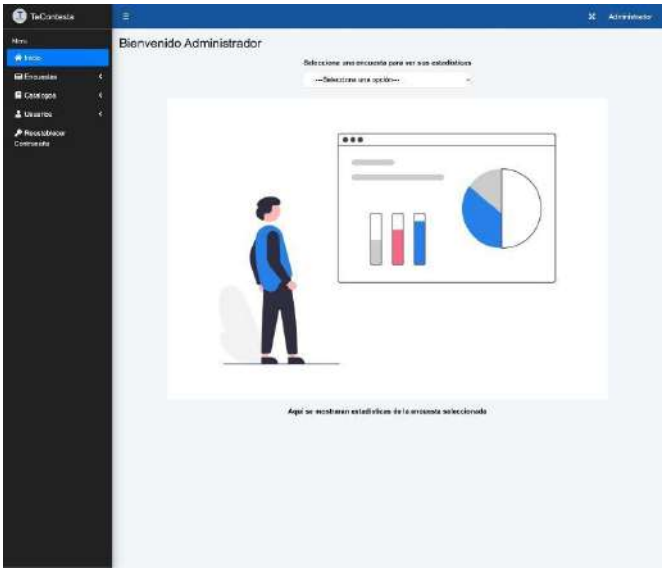
Figura 2.
Pantalla de autentificación de la APP móvil

Si un usuario olvida su contraseña, tiene la opción de restablecerla, seleccionando un enlace en la pantalla de inicio de sesión. Este enlace lo dirigirá a un formulario donde deberá proporcionar su correo electrónico, una vez enviado, recibirá un enlace para establecer una nueva contraseña.

También se diseña el Panel de administrador, este panel incluirá diversas opciones para ejecutar acciones tales como: Encuestas, dentro de este panel, el administrador tendrá la capacidad de crear nuevas encuestas y acceder a un registro histórico de encuestas ya cerradas y no disponibles para respuestas. Asimismo, podrá visualizar las encuestas actualmente activas y pendientes de finalizar, como se muestra

en la figura 3. Crear encuesta, esta funcionalidad permite al administrador no solo generar nuevas encuestas, sino también reutilizar encuestas previas como plantillas, las cuales requieren ser configuradas antes de su uso.

Figura 3.
Panel de Encuesta y crear encuestas



El módulo de Diseñar Encuesta Nueva sirve para que el administrador deba seleccionar la opción correspondiente, lo cual abrirá el diseñador de encuestas, tal como se ilustra en la figura 4. El usuario puede modificar el título, la descripción y el contexto de la encuesta, un proceso que se visualiza en la figura 4.

Para generar una nueva pregunta el usuario deberá presionar el botón de agregar como se muestra en la figura 5, el usuario encontrará un campo de configuración donde podrá definir la pregunta, su categoría y el formato de respuesta que se presentará al encuestado. Si desea eliminar una pregunta, podrá hacerlo seleccionando el icono del bote de basura, lo cual eliminará tanto la pregunta como sus ajustes asociados.

Figura 4.
Módulo de seleccionar y diseñar encuesta

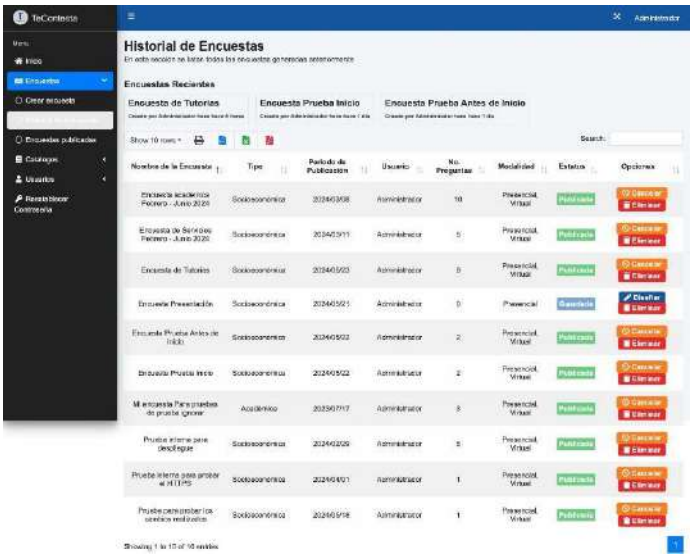
Una vez completado el diseño de la encuesta, el paso siguiente es definir el público objetivo. Esto se realiza mediante un formulario que habilita la configuración de diversos filtros previamente mencionados.

Figura 5.
Generación de nuevas preguntas

El sistema también cuenta con un apartado para presentar las encuestas generadas anteriormente, ofreciendo un vistazo a sus características clave. Aquí se puede consultar información general, como el título de la encuesta, su contexto y el número total de preguntas. También se proporcionan detalles sobre el estatus actual y la modalidad de la encuesta. Además, en este apartado es posible generar reportes del historial de encuestas utilizando los botones que se muestran en la figura 6a. Opciones de descarga, y en la figura 6b es posible conocer el historial de encuestas aplicadas, para su reutilización, o descarga de las respuestas para su análisis.

Figura 6a.
Opciones de descarga

Figura 6b.
Presentación de encuestas generadas



En esta sección se pueden observar las encuestas que se encuentran activas, proporcionando acceso a información más detallada, como el periodo de publicación y la población objetivo. Además, se incluyen botones de acceso directo a secciones

adicionales donde se puede profundizar en estos datos. Los botones que se presentan a continuación facilitan la revisión del avance de las encuestas y la descarga de informes detallados del progreso y las respuestas actuales. Estos elementos interactivos se ilustran en la Figura 7. El botón "Consultar" redirige al usuario a la sección "Avance por encuesta", mientras que la opción "Descargar CSV" permite la descarga directa de los archivos que contienen la información descrita.

El sistema también permite mostrar el avance por encuesta, este apartado permite visualizar la relación entre la población de cada carrera y el número de encuestas respondidas. Esta función representada en la figura 8a, facilita el proceso de identificar aquellas carreras que podrían no estar avanzando adecuadamente en términos de participación como se muestra en la figura 8b. El apartado también ofrece la opción de consultar el progreso de las encuestas por semestre, permitiendo analizar la relación entre el número de estudiantes que han contestado y los que aún no lo han hecho, segmentado por semestre, como es posible observar en la figura 8c.

Figura 7.
Presentación de encuestas activas

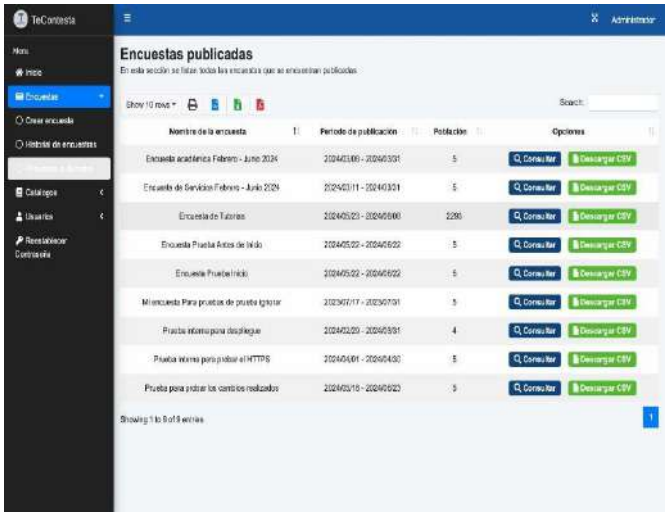


Figura 8a.
Avance de encuestas

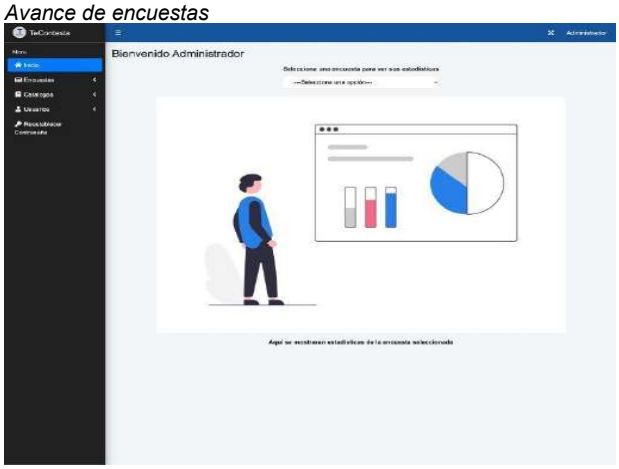


Figura 8b.
Avance de encuestas, gráfico por carrera y por fecha

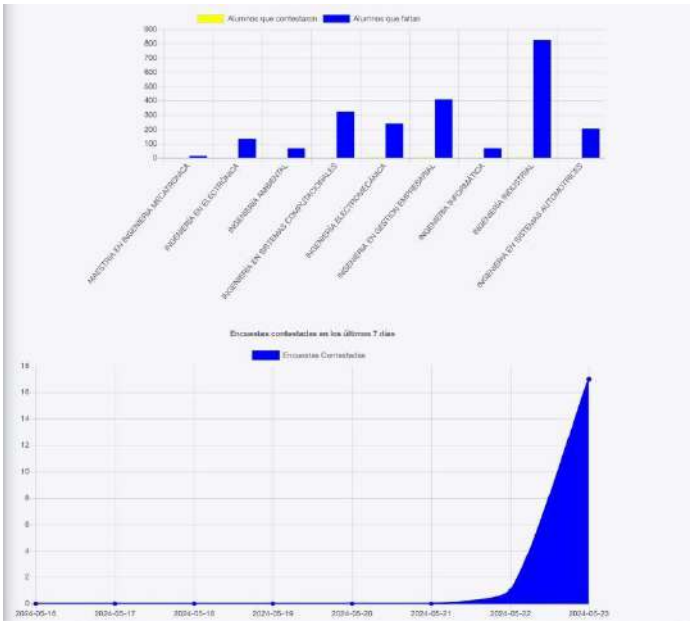


Figura 8c.
Avance de encuestas, lista por carrera con barra de progreso

Adicionalmente el sistema contiene para el estudiante una forma amigable de responder las encuestas como se presenta en la figura 9a y figura 9b, ofrece diversos apartados relacionados con las encuestas y presenta una interfaz completa y desarrollada.

Para su aplicación en el programa Institucional de tutorías, las preguntas de la encuesta han sido minuciosamente revisadas por el departamento de Desarrollo académico, y diseñadas con participación del departamento de Psicopedagogía y responsable institucional del programa de Tutorías. Al promover la participación de los estudiantes de todos los programas educativos, es posible obtener respuestas de manera eficiente que permita a Tutores, Jefes de programas educativos, y Dirección académica establecer mecanismos de apoyo pertinentes que coadyuven a disminuir el índice de deserción por abandono o reprobación.

Figura 9a. y Figura 9b.
Imágenes de la Interfaz de usuario de la App TeContesta

El uso de la aplicación, busca promover el acercamiento y participación de los estudiantes en el programa de Tutorías, mediante una APP de fácil uso, preguntas sencillas y encuestas breves.

IV. CONCLUSIONES

La construcción de un sistema de encuestas mediante tecnología móvil ha resultado accesible para todos los usuarios. El desarrollo, permite crear encuestas de diferente índole y con distintos propósitos, el módulo de crear encuesta permite la creación, monitoreo y seguimiento de encuestas, se contempla un módulo de programación de las encuestas para darle seguimiento por alumno de forma individual, por carrera y por semestre. Dentro del programa institucional de Tutorías, el uso de esta aplicación permite obtener de manera temprana las respuestas de los estudiantes sobre su desempeño académico en las asignaturas, así como reflejar su sentir en el ámbito socioemocional y económico, concentrando sus respuestas para la interpretación e implementación de acciones oportunas para disminuir las altas tasas de reprobación y deserción.

● V. AGRADECIMIENTOS

El equipo de autores agradece a Secretaría de Educación Pública por el financiamiento brindado para el desarrollo del presente proyecto, agradece también el apoyo de Dirección General, el respaldo de Subdirección de Posgrado e Investigación, Departamento de Desarrollo Académico, así como al personal académico y administrativo de TECNM Campus Lerdo por las facilidades brindadas para la realización de la aplicación. Así como reconocer la participación de Víctor Hugo Carreón Pulido egresado del ITSL de la carrera de Ingeniería informática y exintegrante del equipo de programación en este proyecto.

VI. REFERENCIAS

Aguirre, S. (2021). FRAMEWORK TOTAL - Vol.1: Crea APPs desde Cero con Laravel + Booststrap + MySQL (Primera ed., Vol. I). (RedUsers, Ed.) Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina: Plandos. Recuperado el 07 de Septiembre de 2023.

Ahmad, M. O., Dennehy, D., Conboy, K., & Oivo, M. (2018). Kanban in software engineering: A systematic mapping study. Journal of Systems and Software, 137, 96-113. https://doi.org/10.1016/j.jss.2017.11.045

Amodeo, E. (2013). Principios de diseño de APIs REST. Madrid, España: Leanpub. Recuperado el 10 de Septiembre de 2023.

Amorim, A. C., Mira, M., Pereira, R., & Gonçalves, M. (2020). Using agile methodologies for adopting COBIT. Information Systems, 101496. https://doi.org/10.1016/j.is.2020.101496

Ananjeva, A., Persson, J. S., & Bruun, A. (2020). Integrating UX work with agile development through user stories: An action research study in a small software company. Journal of Systems and Software, 170, 110785. https://doi.org/10.1016/j.jss.2020.110785

Angulo, R. (2013). Aplicaciones móviles híbridas: lo mejor de dos mundos. (D. IESA, Ed.) Recuperado el 10 de Septiembre de 2023, de https://cmapspublic2.ihmc.us/rid=1NTQ9NMKD-R1SKBP-24M4/Aplicaciones%20moviles%20hibridas%20lo%20mejor%20de%20dos%20mundos.pdf

Al-Baik, O., & Miller, J. (2015). The kanban approach, between agility and leanness: A systematic review. Empirical Software Engineering, 20(6), 1861-1897. https://doi.org/10.1007/s10664-014-9340-x

Aldave, A., Vara, J. M., Granada, D., & Marcos, E. (2019). Leveraging creativity in requirements elicitation within agile software development: A systematic literature review. Journal of Systems and Software, 157, 110396. https://doi.org/10.1016/j.jss.2019.110396

Cabezas-Granado, L. M., & González-Lozano, F. J. (2021). Curso de PHP 8 y MySQL 8 (Primera ed.). Madrid: Difusora Larousse - Anaya Multimedia. Recuperado el 07 de Septiembre de 2023.

Cisneros, L., Garcia Ortiz, G. V., Interiano Segura, H. J., & Lissette, J. (Abril de 2019). Biblioteca UTEC. Obtenido de http://biblioteca.utec.edu.sv/siab/virtual/tesis/941001169.pdf

Cuervo, V. (14 de Febrero de 2019). ¿Qué es Postman? Obtenido de https://arquitectoit.com/postman/que-es-postman/

Degante, E. (2020). Implementación de sistema tutor inteligente para reducir el Índice de reprobación en ingeniería informática. [Maestría, Instituto Tecnológico Superior de Teziutlán]. http://51.143.95.221/bitstream/TecNM/2693/1/Tesis%20Maestria%20Edgar%20Degante%2018TE00010P.pdf

Docker Inc. (2023). docker docs. Recuperado el 07 de Septiembre de 2023, de Descripción general de Docker: https://docs.docker.com/get- started/overview/

Domínguez, G., & Olavide, P. (2009). La educación social y la web 2.0: nuevos espacios de Innovación e interacción social en el espacio Europeo de educación superior. Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación, 06(35), 105–114. tp://hdl.handle.net/11441/22600

Durango, A. (2015). Diseño Web con CSS. IT Campus Academy. Recuperado el 03 de Octubre de 2023.

Escobar-Reynel, J., Baena-Navarro, R., Giraldo-Tobón, B., Macea-Anaya, M., & Castaño-Rivera, S. (2021). Modelo de desarrollo para la construcción de aplicaciones móviles educativas. TecnoLógicas, 24(52), 1–26. https://doi.org/10.22430/22565337.2065

Fundación Universitaria San Pablo CEU. (2022). II Congreso CEU de Innovación Educativa y Docente 2021. Madrid: CEU Ediciones. Obtenido de http://digital.casalini.it/9788419111258

GeekyAnts. (03 de Octubre de 2023). NativeBase: Universal Components for React & React Native. Obtenido de https://nativebase.io/

Giuliano, M., Lopez, A. M., Segura, S., Cabrera, L. V., & Cortés, A. R. (2021). idus. Inferencia Automática de Dependencias Inter-Parámetro en APIs REST. Recuperado el 10 de Septiembre de 2023, de https://idus.us.es/handle/11441/133638

Gourley, D., Totty, B., Sayer, M., Aggarwal, A., & Reddy, S. (2002). HTTP: The Definitive Guide. O'Reilly Media, Inc. Obtenido de https://github.com/oxidation99/MyBooks-1/blob/master/HTTP%20The%20%20Definitive%20Guide.pdf

Hassan, S., Shang, W., & Hassan, A. E. (2017). An empirical study of emergency updates for top android mobile apps. Empirical Software Engineering, 22(1), 505-546. https://doi.org/10.1007/s10664-016-9435-7

Hipp, D. R. (29 de Septiembre de 2023). SQLite: el motor de base de datos relacional más utilizado del mundo. Obtenido de https://www.sqlite.org/index.html

Hostalia. (29 de Mayo de 2013). White Paper: Cómo configurar el protocolo SSH. Obtenido de https://blog.hostalia.com/white-papers/white-paper-protocolo- ssh/

Jacobson, D., Brail, G., & Woods, D. (2011). APIs: A Strategy Guide. (M. Treseler, Ed.) Estados Unidos, California: Evolved Media. Retrieved Septiembre 10, 2023.

JetBrains S. (29 de Septiembre de 2023). DataGrip: el IDE multiplataforma para bases de datos y SQL, de JetBrains. Obtenido de https://www.jetbrains.com/es-es/datagrip/

Lemos, K. (2020). Implementación de una estrategia pedagógica que haga uso de aplicaciones móviles, para el fortalecimiento de las competencias de lectura y pronunciación del idioma inglés, en los estudiantes de 6° y 8° [Maestría, Universidad de Santander]. https://repositorio.udes.edu.co/entities/publication/78a9830a-7711-4e56-ae02-e4257ba768bf

Luján-Castillo, J. D. (2017). ANDROID STUDIO - Aprende a desarrollar aplicaciones. Madrid, España: Alfaomega. Recuperado el 10 de Septiembre de 2023, de https://itslerdo.bibliotecasdigitales.com/read/9786075380261

Martínez, M., Flores, M., Cruz, R., & Soberanes, A. (2019). Propuesta de arquitectura para un sistema tutorial inteligente móvil. Revista Iberoamericana de Las Ciencias Computacionales e Informática, 8(16), 1–27. https://www.reci.org.mx/index.php/reci/article/view/97/411

Molina, J., Honores, A., Pedreira-Souto, N., & Pardo, H. (2021). Estado del arte: metodologías de desarrollo de aplicaciones móviles. 3C Tecnología. Glosas de Innovación Aplicadas a La Pyme, 10(2), 17–45. https://doi.org/10.17993/3ctecno/2021.v10n2e38.17-45

Mora, S. L. (2002). Programación de aplicaciones web: historia, principios básicos y clientes web. (Primera ed.). San Vicente: Editorial Club Universitario. Recuperado el 07 de Septiembre de 2023.

Moreno, F., Moreno Arrieta, J., & Sánchez Gonzáles, Á. (26 de Mayo de 2022). Gamificación: Desarrollo de herramienta tecnológica para fortalecer la competencia de lectura crítica. Investigación Aplicada e Innovación, 75. Recuperado el 26 de Septiembre de 2023, de https://revistas.sena.edu.co/index.php/edia/article/view/4849

Moure, B. (2023). Git y GitHub desde cero. Amazon Digital Services LLC - Kdp. Recuperado el 07 de Septiembre de 2023.

Palma Pérez, N. (2020). Solución informática para la selección del servidor web durante la migración. Revista Cubana de Ciencias Informáticas, 49-69. Recuperado el 29 de Septiembre de 2023, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2227-18992020000200049&script=sci_arttext

Pantoja, E. B. (Diciembre de 2004). Acta Nova. Obtenido de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S1683-07892004000100005&script=sci_arttext

Pérez-Tavera, I. H. (2013). Software libre (Ubuntu). Vida Científica Boletín Científico de la Escuela Preparatoria,. Obtenido de https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/prepa4/article/download/1 785/5756?inline=1

Prescott, P. (2015). HTML 5. (Á. G. Sánchez, Trad.) Babelcube Inc.

Pisco-Gómez, A., Regalado Jalca, J. J., García, J. G., Sánchez, O. Q., Parrales, K. M., & Merino, J. M. (2017). FUNDAMENTOS SOBRE LA GESTIÓN DE BASE DE DATOS. 3Ciencias. Recuperado el 10 de Septiembre de 2023.

Pompa-Sourd, F. (2022). XML, JSON y el intercambio de información. Anuario Ciencia En La UNAH, 18. Recuperado el 03 de Octubre de 2023, de https://ojs.edicionescervantes.com/index.php/ACUNAH/article/view/1532

PostgreSQL Global Development Group. (3 de Febrero de 2023). PostgreSQL: The world's most advanced open-source database. Obtenido de https://www.postgresql.org/

Puciarelli, L. (2020). Node JS: instalación, arquitectura, node y npm (Primera ed., Vol. I). (RedUsers, Ed.) Buenos Aires, Argentina: Plandos. Recuperado el 07 de Septiembre de 2023

Rodríguez, M. (2021). Sistemas de tutoría inteligente y su aplicación en la educación superior. Revista Iberoamericana Para La Investigación y El Desarrollo Educativo, 12(22), 1–25. https://doi.org/10.23913/ride.v11i22.848

Rodriguez-Lainez, J. C. (2016). Repositorio Dspace. Recuperado el 12 de Septiembre de 2023, de https://repositorio.upse.edu.ec/xmlui/handle/46000/250

Silva-Aguacunchi, G. A., & Coello-Mainato, J. G. (7 de Enero de 2022). Repositorio Digital UNACH. (Riobamba, Ed.) Obtenido de http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/8561

Soto-Guerrero, F., Quezada–Sarmiento, P., Condolo–Herrera, L., Santiago, A., Moreno-León, D., & Rey-Mendoza, I. (2018). Desarrollo de un framework metodológico para la innovación

educativa en el contexto de la acción tutorial basado en metodologías ágiles y estándares de conocimiento de ingeniería de software. Santiago, 04(E15),233–242. https://www.proquest.com/openview/9d55e02570adeebd894e678cfaef840b/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1006393

Suárez-Triana, Y., Rincón-Durán, R., & Niño-Vega, J. (2020). Application of Web 3.0 Tools for the Development of Investigative Skills in Middle School Students. PyA Pensamiento y Acción, 3(29), 1–17. https://doi.org/10.19053/01201190.n29.2020.11069

Torres, R. (2015). Diseño, implementación y validación de un ambiente de aprendizaje móvil para el desarrollo de competencias informacionales [Maestría, Universidad Libre]. https://hdl.handle.net/10901/8306 *en Nanociencias y Nanotecnología*, *7*(12), 45-49. https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2014.12.49710

Van Baarsen, J. (2014). GitLab Cookbook. Packt Publishing Ltd. Recuperado el 03 de octubre de 2023.

Vázquez, M. (2019). Introducción a Laravel: Aplicaciones robustas y a gran escala. Barcelona, España: RedUsers. Recuperado el 10 de Septiembre de 2023.

VII. AUTORES

Elena Tzetzángary Aguirre Mejía

https://orcid.org/0000-0003-4472-6025

Lilia Parada Morado

https://orcid.org/0000-0003-2169-0533

Francisco Eduardo Rodríguez Campos

https://orcid.org/0000-0001-5276-3681

Rocío Lorena Rodríguez Chacon

https://orcid.org/0009-0001-0842-1585

Alberto Ramírez Zarate

https://orcid.org/0009-0005-7416-749X

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

Liderazgos y Comunicación Efectiva en Universitarios para el Desarrollo de las Organizaciones

Huizar-Vargas, O.[1]✉ ; García-Hernández, V.C [1].

Datos de Adscripción:

[1]Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Ingeniería en Gestión Empresarial; Av. Tecnológico N°1555, periférico Gómez-Lerdo Km. 14.5, C. P.35150, Lerdo, Durango, México.

✉ oscar.hv@itslerdo.edu.mx

Resumen **– La dificultad de identificar y desarrollar las competencias de comunicación y liderazgo como desarrollo de habilidades blandas durante la universidad que a mediano plazo impactarán en las organizaciones de la región con bajos desempeño de los profesionistas recién egresados. En la presente investigación se estudia el ámbito personal, el liderazgo, la sociedad, el entorno y la familia de 268 alumnos de universidad, para ello se tomó una muestra estratificada y se considera a cada carrera con el fin de identificar los elementos del desarrollo de la comunicación, expresión oral y liderazgo en los universitarios. El estudio se basó en la aplicación de un instrumento de 103 variables de intervalo y 6 variables nominales, atendiendo cinco ejes que tienen estrecha relación con el tema. Los resultados mostrados en esta investigación se obtienen primeramente aplicando una prueba piloto y posteriormente se aplica a los 268 alumnos en todas las carreras. Se utilizó varios estadígrafos para el análisis de datos como: análisis descriptivo (univariable) donde se analizaron límites y medias de las variables, Análisis de factores, Correlaciones, Comparativo T y ANOVA. Estas herramientas estadísticas permitieron mostrar la falta de habilidades en la comunicación y tipo de liderazgo en los universitarios, impactando a futuro en las organizaciones de la región.**

Palabras Clave: Característica, Comunicación, Liderazgo, Organizaciones.

Abstract **- The challenge of identifying and developing communication and leadership competencies as part of sort skills training during university is significant, as it impacts the performance of recently graduated professionals. This research examines the personal sphere, leadership, society, environment and family of 268 university students. A stratified sample was taken, considering each major, to identify the elements related to the development of communication, oral expression and leadership skills in these students. The study employed an instrument with 103 interval variables and 6 nominal variables, addressing five key areas closely related to the topic. Results were first obtained through a pilot test and then applied to the full sample of 268 students across all majors. Statistical analyses, including descriptive (univariate) analysis, factor analysis, correlations, Comparative T-tests and ANOVA were conducted. These analyses revealed deficiencies in communication skills and leadership styles among university students, which are expected to impact regional organizations in the future.**

Keywords - Characteristic, Communication, Leadership, Organizations

I. INTRODUCCIÓN

El liderazgo como habilidad blanda es una necesidad de aprendizajes nuevos a desarrollar en la universidad, el universitario tiene características de liderazgo, habilidades que le facilitan la gestión de situaciones en su entorno, los alumnos buscan el crecimiento profesional constante, además son serviciales con las personas de su entorno y les gusta dirigir personas. Es por ello la importancia de identificar en el universitario la facilidad de dar órdenes por carrera, tomar decisiones con facilidad, controlar emociones y desarrollar habilidades lingüísticas (Barbosa 2016).

Se define el liderazgo Sánchez-Reyes (2015), como una acción ejercida por un líder, este llamado líder debe de contar con habilidades, así como capacidades específicas que le ayudan a desarrollar una función y/o rol y un factor muy importante para hacer la sinergia, debe de contar con credibilidad y reconocimiento de sus seguidores.

Esta investigación se enfocó en analizar la relación entre los aspectos familiares, escolares y sociales del desarrollo del liderazgo, debido a la falta de habilidades de liderazgo antes y después del egreso de una educación superior que impactan en las organizaciones.

Esta investigación se propuso como proyecto debido a la necesidad del sector empresarial en reuniones de grupos de interés, cámaras (empresarios destacados, docentes, egresados), donde empleadores de diferentes empresas de la región comentan la falta de habilidades de liderazgo efectivo y la ausencia de un desarrollo actual en los planes de estudio sobre el tema de liderazgo. Actualmente no se está potenciando este tipo de habilidades o competencias en las universidades, podemos considerar que para el alumno y a las empresas la habilidad de liderazgo en un profesionista impacta en la productividad de las organizaciones.

Por otro lado, el desarrollo humano del día a día como docente de universidad se observa la falta de un liderazgo eficaz, que contagie la generación de nuevos líderes y futuros egresados en un ámbito laboral que les demanda habilidades blandas. Ser un líder desde el interior, sin tener un nombre importante socialmente, pero con características desde el entorno escolar, así como la formación de nuevos líderes demandados por las empresas, es aquí donde surge la necesidad de formar líderes desde el ámbito escolar que genere compromiso, que haga sinergia en su entorno (Ospina, 2013).

Al egresar, el nuevo profesionista tiene que atender puestos de mando medio en organizaciones locales , nacionales e internacionales y actualmente asiáticas, el egresado va a dirigir personas que estarán a su cargo, debe de cumplir objetivos, por ende, es ahí donde empieza a aplicar esas habilidades blandas (Palomo, 2017).

Una buena disciplina de liderazgo es un ejercicio de apoyo y entrega hacia los demás de tal forma, que, mediante su apropiada aplicación, permita permear un comportamiento hacia todos e influir positiva o negativamente en un grupo específico con la finalidad de alcanzar los objetivos propuestos a través de las de metas previamente establecidas en las organizaciones (Ospina, 2013).
El liderazgo se ha desarrollado y evolucionado con el transcurso de los tiempos y los triunfos registrados desde los grandes líderes de la historia al dirigir a otros hombres en combate y administrando legiones o países, planeando y controlando guerras y exploraciones de civilizaciones antiguas, como Roma, China, los Hebreos, Egipto y Grecia, por mencionar algunos, y mostrar una influencia o contribución militar o de los dogmas de la iglesia católica pasando por diferentes épocas de la historia como la edad media, el renacimiento y hasta llegar a la época moderna y nuestros tiempos. Debemos resaltar que en el transcurso del tiempo este tipo de actividad era visible y no llamada liderazgo, más sin embargo era elemental como jefe de un grupo, alguien que los influenciará, ordenará o simplemente con quien socializar una idea en común (Ospina, 2013).

Estilos de liderazgos

Se define el liderazgo Sánchez-Reyes (2015), como una acción ejercida por un líder, este llamado líder debe de contar con habilidades, así como capacidades específicas que le ayudan a desarrollar una función y/o rol y un factor muy importante para hacer la sinergia, debe de contar con credibilidad y reconocimiento de sus seguidores.
Del liderazgo, en el transcurso de la historia, se han presentado diferentes tipos y clasificaciones de estilos de liderazgo con el objetivo de identificar estilos de liderazgo mostrados por Sánchez y Barraza (2015), dónde se pueden encontrar a Kurt Lewin (1939) (citado por Veciana, 2002) quien destaca tres estilos de ejercicio:

a) Autoritario. En este tipo de liderazgo el líder tiene el poder y la toma de las decisiones solo en un sentido y es donde los seguidores siempre obedecen las órdenes del líder.
b) Democrático. Este tipo de liderazgo es donde todos los miembros participan y colaboran en el grupo.
c) Laissez faire. En este liderazgo el líder no ejerce su función y no se responsabiliza del grupo, dejando a que el grupo tome su iniciativa (Sánchez, 2015).
d) Servicial. Este tipo de liderazgo al líder lo describe sirviendo y coloca a las personas como prioridad (Blanchard, 2018).

Parte de la justificación de la investigación en México hay una población de 119,938,472 personas según el censo realizado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía en 2019, de las cuales el 49% son hombres y el 51% son mujeres. En el Estado de Durango hay 1,759,848 personas y en el Estado de Coahuila 2,961,708 personas de acuerdo con el anuario estadístico 2019 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

Para la obtención de los resultados mostrados en esta investigación, donde se aplicaron estadígrafos diferentes: análisis de estadística descriptiva, univariable, se analiza la media en límite inferior, límite medio y límite superior, análisis integracional de factores, correlaciones, comparativo, con una prueba t y ANOVA, estos resultados se analizan con el programa STATISTICA 10. El análisis de los estadígrafos mostró la falta de habilidades en la comunicación, expresión oral y ejecución de un tipo de liderazgo en los universitarios que impactan a futuro en las organizaciones de la región, donde el sector empresarial tiene gran área de oportunidad para la mejora de sus procesos internos.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

La investigación consistió en identificar analizar diferentes variables que impactan en un tipo de liderazgo y comunicación en las organizaciones desde que el alumno está en educación superior, la investigación se desarrolló con ejes y variables ejes, así como la población, la muestra, considerando como objeto de estudio al alumno y el impacto del tipo de liderazgo en las organizaciones de la región.

A. Ejes y variables

Se definen cinco ejes dentro de la investigación, la tabla 1 muestra los ejes y la cantidad de variables por eje.

Tabla 1
Variables de investigación

Eje	*Nombre*	*Número de variables*
1	Ámbito Personal	26
2	Liderazgo	50
3	Sociedad de un líder	9
4	Entorno de un líder	5
5	Familia de un líder	13
	Total	103

B. Población

La investigación se lleva a cabo en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo del Tecnológico Nacional de México Campus Lerdo. La población que se estudió son 2622 alumnos, 1858 hombres y 764 mujeres.
El instituto ofrece 8 carreras de ingeniería y un posgrado en mecatrónica: ingeniería electromecánica con 276 alumnos, 23 Mujeres y 253 hombres; ingeniería Industrial con 988 alumnos, 268 Mujeres y 720 hombres; ingeniería en sistemas computacionales con 271 alumnos, 52 Mujeres y 219 hombres; ingeniería electrónica con 146 alumnos, 16 Mujeres y 130 hombres; ingeniería ambiental con 135 alumnos, 82 Mujeres y 53 hombres; ingeniería en informática con 72 alumnos, 18 Mujeres y 54 hombres; ingeniería en gestión empresarial con 479 alumnos, 290 Mujeres y 189 hombres, ingeniería en sistemas automotrices con 230 alumnos ,12 Mujeres y 218 hombres; maestría en mecatrónica 25, 3 mujeres, 22 hombres. Del total de alumnos, el 75 % proviene de la zona metropolitana de Lerdo, Gómez Palacio y Torreón, un 25 % proviene de zonas rurales de la laguna de Durango.

C. Muestra

Para definir el tamaño de la muestra nos apoyaremos de Krejcie, RV y Morgan, DW (1970). Definamos las variables de la fórmula y apliquemos la para determinar el tamaño de la muestra.

X^2 = El valor de tablas de Chi cuadrada para un grado de libertad relativo al nivel de confianza deseado, el cual fue de 3.841 para el 0.95 de nivel de confianza representando.

S= Tamaño de la muestra.
N= Tamaño de la población.
P= Proporción de la población que por la construcción de la tabla se asume que es de 0.50
d= El grado de precisión reflejado como la cantidad de error que puede ser tolerado en la fluctuación de una proporción de la muestra p en relación con la proporción de la población P menos el valor para d, siendo 0.05 en los cálculos para entradas en la tabla, una cantidad igual a ± 1.96 S.P.

Tabla 2
Datos

	Datos
Población (N)	2,622 alumnos
P =	0.30
d =	0.05

Fórmula:

$$S = \frac{X^2 NP(1-P)}{d^2(N-1)+X^2 p(1-P)} \quad (1)$$

$$S = \frac{2114.93}{7.90} = 268 \text{ alumnos}$$

En la investigación se decidió hacer un muestreo estratificado para considerar a todas las carreras, ya que la población estudiantil es muy grande. De la muestra (1) se selecciona un muestreo estratificado (2), dónde se clasifica por carreras.

Muestra estratificada:

$$ksh = \frac{nh}{Nh} = \frac{268}{2{,}622} = 0.1022 \quad (2)$$

La tabla 3 define el muestreo estratificado, resultando una muestra de 268 alumnos de todas las carreras del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo.

Tabla 3
Muestreo estratificado.

Carrera	***Población por estrato***	**Proporción**	**Muestra** **Pe * P**
Ingeniería electromecánica	276	0.1022	28
Ingeniería Industrial	988	0.1022	101
Ingeniería en sistemas computacionales	271	0.1022	28
Ingeniería electrónica	146	0.1022	15
Ingeniería ambiental	135	0.1022	14
Ingeniería en informática	72	0.1022	7
Ingeniería en gestión empresarial	479	0.1022	49
Ingeniería en sistemas automotrices	230	0.1022	24
Maestría en mecatrónica	25	0.1022	3
Total	2622	0.1022	268

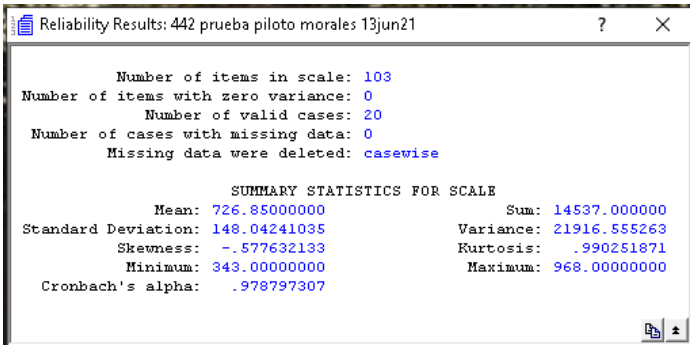
D. Instrumento de investigación

Para la realización de esta investigación se implementó un instrumento que contiene 6 variables nominales y 103 variables de intervalo, con una escala de 0 a 10, divididos en 5 ejes de investigación, eje ámbito personal, que contiene 26 variables, eje liderazgo, con 50 variables, eje sociedad de un líder, que incluyen 9 variables, eje entorno de un líder, con 5 variables y eje familia, con 13 variables.
La construcción de los ítems trata de cubrir los aspectos principales de la muestra a la que se aplicó, se conformó con redacción simple, entendible, accesible y clara. Estos fueron diseñados de forma que no inviten a respuestas sesgadas. Las instrucciones se aplicaron de forma escrita.

E. Prueba Piloto

La prueba piloto se realizó en una ocasión con una muestra de 20 estudiantes de diferentes carreras ajenos al grupo de muestra elegido, para aportar mayor confiabilidad, el instrumento con 103 variables de intervalo y 6 variables nominales, el instrumento fue aplicado vía electrónica por medio de la herramienta Google Formularios en un horario de 08:00 A.M. a 18:00 P.M., dentro del horario de clase de los estudiantes y con el apoyo de algunos docentes que imparten en la carrera. El tiempo de respuesta de los sujetos encuestados fue en promedio de 10 a 15 min. De acuerdo con Cohen, Ronald y Swerdlick, Mark (2001), el valor de fiabilidad en una investigación debe de estar en los rangos 0.7 a 0.8. El Alpha de Cronbach obtenido de la prueba piloto fue de 0.9787, el instrumento se considera válido para su aplicación total como se muestra en la figura 1.

Figura 1
Alpha de Cronbach



F. Procedimiento

Para la aplicación del instrumento, se solicita permiso a la dirección general, a dirección académica, jefatura de división y desarrollo académico del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Con la aprobación de las diferentes autoridades se lleva a cabo la aplicación al final del semestre, sin ningún problema se desarrolla la aplicación del instrumento a los alumnos.
La aplicación del instrumento se llevó a cabo en primera instancia a los alumnos de diferentes carreras con una prueba piloto, los sujetos hacen algunas observaciones de ítems que no se entendieron y se hacen las correcciones pertinentes, el

instrumento fue aplicado en electrónico mediante la herramienta Google formularios, con la base de datos obtenidos se captura en Excel y posteriormente se analiza en el programa STATISTICA 10, que es donde se obtiene el Alpha de Cronbach. Posteriormente a la prueba piloto se aplica el instrumento a los 268 alumnos calculados del procedimiento de estratificación de la muestra. Por los inconvenientes de la pandemia que se tenía por el virus SARS-CoV2 el instrumento fue aplicado en línea utilizando la herramienta de Google Formularios con el apoyo de docentes de la universidad para gestión por grupos de cada carrera previamente calculados.

Con los datos obtenidos como primer análisis se realizó el análisis univariable utilizando la estadística descriptiva con el objetivo de obtener los valores de la media de cada variable, para posteriormente clasificarlos por: límite superior, límite medio y límite inferior, para el cálculo de los límites fue necesario sacar la media de medias y la desviación estándar para el cálculo del límite superior e inferior.

Posteriormente se desarrolló un análisis factorial exploratorio integracional, para el análisis de las variables por factores, con una carga factorial de α=0.05 y 103 variables de intervalo. En el análisis de este estadígrafo se aplicó una rotación de variables con varimax normalizado, de aquí resultaron 11 factores, estos factores permitieron dar respuesta a los resultados encontrados. Después de los factores se desarrolló una correlación con un valor de significancia de α= 0.05, en este estadígrafo hay una relación entre las 103 variables de intervalo midiendo la relación y pertinencia de las variables entre sí en el fenómeno de investigación.

Se hace un comparativo para terminar, donde se utiliza la prueba T y ANOVA, en este comparativo se obtuvieron las tablas de Prueba T con un nivel de significancia de α= 0.05 y la tabla de Género de los alumnos con α= 0.05. Se tienen como variables independientes en este estadígrafo a: el género de los alumnos, edad de los alumnos, procedencia de los alumnos, para finalizar se desarrolló el comparativo ANOVA con dos ejercicios, con un nivel de significancia de α= 0.05, comparando las siguientes variables: aprendo habilidades de los demás con relación al semestre y la variable das órdenes con facilidad y su relación por carrera.

Con la descripción anterior se muestran los resultados obtenidos; posteriormente se hicieron las conclusiones y discusiones necesarias de acuerdo con los objetivos. Después de haber hecho el análisis, se hicieron recomendaciones pertinentes al fenómeno estudiado.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados que se muestran se organizan en cuatro apartados de estadígrafos aplicados: estadística descriptiva-univariable, Integraccional por factores, correlacionales, prueba T y ANOVA. Para el análisis de la información y de los estadígrafos se utiliza el programa STATISTICA 10, permitiéndonos la exploración de los datos.

A. Univariable

En el análisis de las medias se definen como valores medios o centrales de una distribución recopilada y esta ayuda en ubicarla dentro de la escala de medición de la variable analizada, se desprende la moda, mediana y media (Hernández, Mendoza, 2018).

Las medias de variabilidad van indicando la dispersión de los datos con escala de cierta medición de cada variable, utilizando así la desviación estándar. La desviación estándar es la diferencia respecto a la media a la medición, y cuan mayor es la distancia respecto a la media mayor es la desviación estándar (Hernández, Mendoza, 2018).

Para la descripción de los datos obtenidos de las 103 variables que se midieron en el estudio. En este apartado se muestra la distribución de los datos a partir de la media, donde se obtienen límite superior, límite medio y límite inferior, también se indican otras medidas como la desviación estándar.

En la tabla 4 del límite superior se encuentran los alumnos que en mayor medida buscan el crecimiento personal, así como les gusta cumplir con sus compromisos y aprenden haciendo algo práctico, usan la tecnología para informarse además la familia es primero y se sienten protegidos por la misma, les gustaría trabajar para tener una empresa exitosa como también escuchan a sus compañeros y de igual medida son serviciales con las demás personas como también tienen objetivos a largo plazo logrando cumplir con sus obligaciones como casa, trabajo, hogar, sociedad; de la misma forma se les enseña y aprenden. En el límite superior en mayor medida el alumno muestra actitud positiva dispuesto a aprender y con unos objetivos claros, mostrando el lado de lucha y trabajo para lograr algo en la vida, donde se prepara continuamente y muestra una persona con crecimiento personal constante.

Tabla 4
Límite Superior

Variable	**N**	**X**	**Mín.**	**Máx.**	**S**
Busco el crecimiento personal	268	9.35	0.00	10.0	1.31
Me gusta cumplir con mis compromisos	268	9.29	0.00	10.0	1.28
Aprendes haciendo algo práctico	268	9.07	0.00	10.0	1.44
Tu familia es primero	268	9.07	0.00	10.0	1.78
Usas la tecnología para informarte	268	9.02	0.00	10.0	1.43
Aplicas tus valores personales	268	9.00	0.00	10.0	1.39
Te protege tu familia	268	8.90	0.00	10.0	1.87
Me gustaría trabajar para tener una empresa exitosa	268	8.86	0.00	10.0	2.01
Escuchas a tus compañeros	268	8.82	0.00	10.0	1.42
Eres servicial con las demás personas	268	8.81	0.00	10.0	1.54
Tienes objetivos a largo plazo	268	8.76	0.00	10.0	1.90
Cumples con tus obligaciones (Casa, trabajo, hogar, Sociedad, personales)	268	8.71	0.00	10.0	1.59
Te enseñan y aprendes	268	8.65	0.00	10.0	1.65

B. Límite Medio

La mayor parte de las variables se concentran en el límite medio (Huizar, 2023) en este límite se encuentra 75 de 103 variables de esta investigación en donde se puede resaltar el aprender habilidades de los demás teniendo pasión por lo que hacen que a su vez se sienten en familia estando en casa sintiéndose responsables y alegres, por otro lado los siguen sus amigos donde ven la facilidad de negociar sus ideas con facilidad ya que consideran que lo que estudian les desarrolla habilidades de don de mando ganándose la autoridad con su actuación, de igual medida por el gusto de delegar haciendo está actividad felizmente al convivir con sus compañeros, le es importante la confianza con sus compañeros y el aprender el don de mando de sus familiares les hace dar órdenes con facilidad mencionando un gusto por tener el control.
Resalta el trabajo en equipo y relación con otras personas fuera de la escuela con gran seguridad, son responsables con objetivos a mediano plazo, al proceder son empáticos con las personas en su entorno, se consideran de un actuar constante que tienen amor propio y un gusto por los desafíos, por otro lado, se consideran de buena actitud ante los cambios, saben dar solución a los problemas que se les plantea destacando una buena comunicación.

C. Límite inferior

En la tabla 5 límite inferior se puede observar a los alumnos que se identifican en menor medida al imponer su decisión que a la vez desarrollan lecturas de diferentes temas por los hábitos que poseen, además sienten independencia de su familia, igualmente desarrollan actividades de pasatiempo al aire libre también y creen que buenas calificaciones les garantizan mayores habilidades. Por otra parte, han pertenecido a equipos deportivos, de igual forma tienen problemas personales, en sus comunidades desarrollan habilidades del don de mando por otra parte se sobresaltan cuando hay que dirigir grupos, así como sentirse jefe de un grupo.

A los alumnos los cultos le desarrollan el don de mando, por otro lado, ellos hacen ejercicio en la semana y muestran habilidad para tocar un instrumento.

Tabla 5
Límite Inferior

Variable	**N**	**X**	**Mín.**	**Máx.**	**S**
Impones tu decisión	268	6.42	0.00	10.0	2.78
Desarrollas lecturas de diferentes temas	268	6.40	0.00	10.0	2.75
Te sientes independiente de tu familia	268	6.23	0.00	10.0	2.84
Desarrollas actividades de pasatiempo al aire libre	268	6.18	0.00	10.0	3.08
Tienes hábitos de la lectura	268	6.18	0.00	10.0	2.58
Buenas calificaciones me garantizan mayor habilidad	268	5.88	0.00	10.0	2.95
Has pertenecido a equipos deportivos	268	5.81	0.00	10.0	4.20
Eres buen orador	268	5.69	0.00	10.0	3.28
En tu comunidad desarrollas habilidades dedon de mando	268	5.62	0.00	10.0	2.97
Tienes problemas personales	268	5.61	0.00	10.0	3.29
Te sobresaltas cuando hay que dirigir un grupo	268	5.59	0.00	10.0	2.96
Te sientes jefe de un grupo	268	5.43	0.00	10.0	3.36
Los cultos te desarrollan don de mando	268	5.29	0.00	10.0	3.00
Haces ejercicio en la semana	268	4.79	0.00	10.0	3.10
Muestras la habilidad al tocar un instrumento	268	4.19	0.00	10.0	3.51

En el límite inferior nos denota varios hallazgos del liderazgo y de comunicación.

- De liderazgo: En menor medida no sabe imponer su decisión, no desarrolla lecturas de diferentes temas, no tiene hábitos de lectura, no se sobresalta cuando hay que dirigir a un grupo, no se sienten jefes de un grupo, no hace ejercicio esto como el auto cuidado de un líder.
- De comunicación: En menor medida no es buen orador.

D. Integracional

El análisis de factores es una técnica de reducción y agrupación de datos, que es utilizado para dar una explicación e interrelación donde existe un conjunto de variables o factores. En este análisis se aplica la rotación de Varimax normalizado, el análisis de factores busca maximizar ponderaciones a nivel de factor, por lo que podemos decir que cada variable que aparece en un solo factor minimizando al máximo cada grupo (Martínez, Sepúlveda, 2012).
Se muestran en la tabla 6 después de un análisis de factores con 103 variables de intervalo y 268 alumnos considerados en la investigación, se utilizó el método de extracción factorial de componentes principales con rotación de varimax normalizada, con una carga factorial de $\alpha = 0.05$, un porcentaje de explicación acumulada Eigenivalue del 87.21%

Tabla 6
Liderazgo de los alumnos

Variable	Carga factorial	X
Das órdenes con facilidad	0.80199	6.96
Aplicas el don de mando	0.77425	6.97
Te hace feliz dirigir personas	0.76308	7.01
Te sientes jefe de un grupo	0.75992	5.43
Se te facilita organizar eventos	0.70708	6.83
Se te facilita la gestión en situaciones adversas	0.66996	7.20
Te gusta tener el control	0.66157	7.76
Te ganas la autoridad con tu actuación	0.57964	7.01
Ejerces seguimiento de las actividades encargadas	0.57718	7.89
Te siguen tus compañeros	0.53560	7.41
Impones tu decisión	0.53119	6.42
El carisma te hace dirigir mejor ante los demás	0.53107	7.62

Te gusta asignar actividades de forma tradicional	0.52725	6.87
Te gusta participar en las pláticas	0.51527	6.87
Consensas ideas, opiniones	0.51112	7.96

Se puede distinguir en la tabla 6 a un universitario que le gusta dar órdenes haciéndolo con facilidad, donde le gusta tener el control e impone su decisión, le siguen sus compañeros y le gusta asignar tareas de forma tradicional. El tipo de liderazgo del universitario y futuro egresado se ubica con un liderazgo autoritario.

E. Correlaciones

La correlación indica la fuerza y la dirección de una relación de dos o más variables medidas en un nivel por intervalos o de razón (Hernández, Mendoza, 2018).
El estadígrafo de correlaciones es uno de los que se aplicó en esta investigación para medir la magnitud de la relación de las variables del fenómeno estudiado.
En esta investigación el nivel de significancia de las correlaciones fue de α= 0.05, aplicada a 103 variables de intervalo, mostrando los resultados en la tabla 7.

Tabla 7
Das ordenes con Facilidad.

Variable	Das órdenes con facilidad
Se te facilita la gestión en situaciones adversas	0.710709
Te hace feliz dirigir personas	0.659067
Se te facilita organizar un evento	0.595868
Te gusta tener el control	0.593985
Te sientes jefe de un grupo	0.591243
Ejerces seguimiento de las actividades encargadas	0.589417
Te comunicas eficientemente	0.575319
Te ganas la autoridad con tu actuación	0.558422
Negocias tus ideas con facilidad	0.538542
Eres constante	0.402882

En la tabla 7 presenta las correlaciones obtenidas de la variable Das órdenes con facilidad, por lo que se puede observar que a los alumnos que dan órdenes con facilidad también se les facilita la gestión en situaciones adversa, son felices al dirigir personas con facilidad en organizar eventos por lo que les gusta tener el control. Se sienten jefes de un grupo a su vez ejercen seguimiento a las actividades encargadas, el alumno se comunica eficientemente y se puede observar que se gana la autoridad con su actuación, también negocia sus ideas con facilidad y es constante.

F. Comparativo. Prueba T

Dentro de este apartado se lleva a cabo el comparativo aplicando la prueba T, la cual nos sirve para evaluar dos grupos que difieren entre sí, de manera significativa respecto a sus medias en una variable. La prueba T se utiliza para determinar si hay diferencia significativa entre las medias de dos grupos y es utilizada cuando se requiere comparar dos medias (Hernández, Mendoza, 2014).

En este estadígrafo se analizan tablas, de las cuales su nivel de significancia fue α= 0.05. En la variable dependiente se eligieron las 103 variables de intervalo. Y como variable independiente se eligieron para cada tabla las variables nominales: género, edad, procedencia de los alumnos.

En la tabla 8 Género de los alumnos, hace referencia a hombres y mujeres de todas las carreras, por lo tanto, se observa que las respondientes mujeres presentan mejor calificación a diferencia de los hombres, son más responsables y se consideran más sentimentales.
También se observa que los respondientes hombres presentan en mayor medida en comparación con las mujeres el uso de la tecnología para la toma de decisiones y el control de sus emociones. En la escuela desarrollan habilidades lingüísticas, prefiriendo los deportes que se desarrollen en equipo, en la comunidad desarrollan el don de mando, también han pertenecido a equipos deportivos, desarrollando algún ejercicio durante la semana y muestran habilidad al tocar un instrumento.

Tabla 8
Género de los Alumnos

Variables	X Mujer	X Hombre	Valor t	df
Eres responsable	8.775701	8.0869	3.177	268
Te consideras sentimental	7.943925	6.7391	3.861	268
Usas la tecnología para tomar decisiones	7.140187	7.9316	2.795	268
Controlas tus emociones	6.859813	7.6397	2.777	268
En la escuela desarrollas habilidades lingüísticas	6.327103	7.1366	2.698	268

En la tabla 9 procedencia de los alumnos, hace comparativa de alumnos de la ciudad y zonas rurales, por lo tanto, se observan que los respondientes de zonas rurales presentan en mayor medida a diferencia de los de la ciudad, expresan sentirse en familia y sentirse feliz al dirigir personas. Respecto a los alumnos respondientes de la ciudad presentan en mayor medida respecto a los de las zonas rurales el tener suficiencia en los recursos económicos de su familia.

Tabla 9
Procedencia de los Alumnos

Variable	X De la ciudad	X De zonas rurales	Valor t	df	p
Te sientes en familia en casa	8.26	8.9384	-2.008	268	0.04
Son suficientes los recursos económicos de tu familia	7.03	6.0461	2.769	268	0.006
Te hace feliz dirigir personas	6.81	7.6307	-2.132	268	0.033

G. ANOVA (análisis de la varianza)

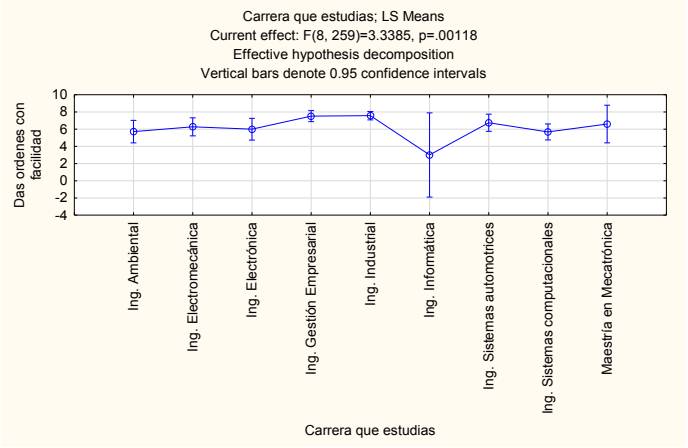
Dentro de este apartado se lleva a cabo el comparativo aplicando ANOVA (análisis de la varianza), este estadígrafo calcula la media de varios grupos de variables y compara la varianza de estas medias (Hernández, Mendoza, 2018).
En la tabla 10 Variable Das órdenes con facilidad en los diferentes grupos o carreras. Como se muestra en la figura 2, visualmente vemos que las medias son diferentes, informática en menor medida da órdenes con facilidad e industrial en mayor medida da órdenes con facilidad.

Tabla 10
ANOVA. Variable Das órdenes con facilidad

Carrera que estudia	Media	Error estándar	- 95.00 %	+95. 00%	N
Ing. Industrial	7.574	0.2476	7.086	8.06	101
Ing. Gestión Empresarial	7.517	0.3268	6.873	8.16	58
Ing. Sistemas automotrices	6.750	0.5080	5.749	7.75	24
Maestría en Mecatrónica	6.600	1.1130	4.408	8.79	5
Ing. Electromecánica	6.272	0.5306	5.227	7.31	22
Ing. Electrónica	6.000	0.6426	4.734	7.26	15
Ing. Ambiental	5.714	0.6651	4.404	7.02	14
Ing. Sistemas computacionales	5.678	0.4703	4.752	6.60	28
Total	-	-	-	-	268

Nota: Da ordenes con facilidad por carreras. Effect: F (8, 259) =3.3385, p=.00118

Figura 2
ANOVA. Das ordene con facilidad



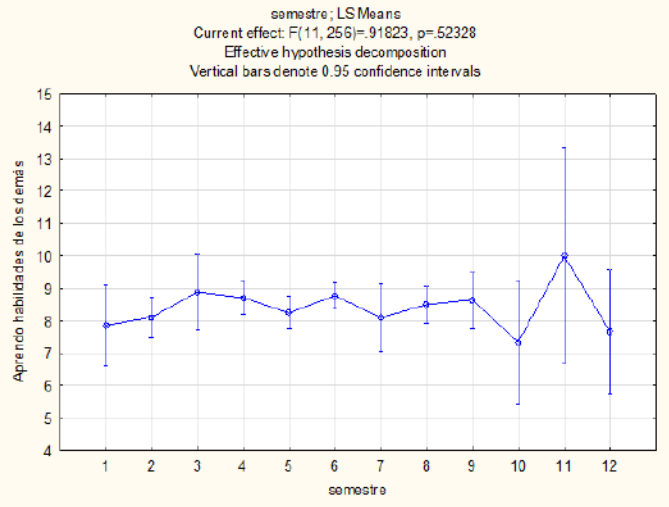
En la tabla 11 ANOVA Aprendo habilidades de los demás y los diferentes semestres. Como se muestra en la figura 3, visualmente vemos que las medias son diferentes, en mayor medida se observa que los alumnos de 11° y 3°semestre aprenden habilidades de los demás y en menor medida 10° y 12° semestre.

Tabla 11
ANOVA. Aprendo habilidades de los demás

Semestre	Media	Error estándar	- 95.00 %	+95. 00%	N
10	7.3333	0.97370	5.415	9.25	3
12	7.6666	0.97370	5.749	9.50	3
1	7.8571	0.63740	6.601	9.11	7
7	8.100	0.53336	7.049	9.15	10
2	8.107	0.31874	7.479	8.73	28
5	8.244	0.25142	7.749	8.73	45
8	8.500	0.28920	7.930	9.06	34
9	8.642	0.45077	7.755	9.53	14
4	8.707	0.26340	8.188	9.22	41
6	8.770	0.19606	8.384	9.15	74
3	8.875	0.5963	7.700	10.0	8
11	10.00	1.68663	6.678	13.3	1
Total	-	-	-	-	268

Nota: *ANOVA. Aprendo habilidades de los demás* por semestre considerando todas las carreras.

Figura 3
ANOVA. Aprendo habilidades de los demás



Al analizar el límite superior en donde el universitario muestra una actitud positiva con crecimiento personal, por otro lado, en el límite inferior muestra hallazgos importantes del estilo de liderazgo (El universitario en menor medida no sabe imponer su decisión) y la comunicación (el universitario en menor medida no es buen orador).
Al analizar el género de los alumnos con el impacto del liderazgo, en el estadígrafo prueba T, se observa más responsable a la mujer y sentimental que a los hombres, por otro lado, el hombre desarrolla habilidades de don de mando en su comunidad, que así mismo utiliza la tecnología para la toma de decisiones, a su vez, el universitario mujer desarrolla habilidades lingüísticas en la escuela. En el análisis de la varianza (ANOVA) donde se comparó la variable dar órdenes con facilidad, los alumnos que mejor lo hacen son los mostrados el siguiente orden: ingeniería industrial, ingeniería en gestión empresarial, ingeniería en sistemas automotrices, maestría en mecatrónica, ingeniería en electromecánica, ingeniería en electrónica, ingeniería ambiental,

ingeniería en sistemas computacionales, ingeniería en informática y este último en último sitio.
Por otro lado, dentro del límite inferior se observa a un alumno que no impone su decisión pero que se siente dependiente de su familia durante la estancia en la universidad, como un hallazgo importante , nos muestra a un alumno que no es buen orador y no se siente parte de un grupo, siendo estas características de un líder.
Para finalizar este punto, basado en lo antes mencionado de los resultados de los estadígrafos, se puede concluir que los universitarios dan órdenes con facilidad, aplican el don de mando, los universitarios de las zonas rurales se sienten felices al dirigir personas, son constantes en sus actividades, no son buenos oradores y no se sienten jefe de un grupo, por otro lado los alumnos de las siguientes carreras son los que muestran mayor facilidad al dar órdenes: Ingeniería Industrial, Ingeniería en Gestión Empresarial, Ingeniería en Sistemas Automotrices.
Dentro de este análisis se observa el impacto por carrera y habilidades proyectadas que impactaran en las organizaciones, donde los alumnos recién egresados se incorporan a laborar. Cabe señalar que los alumnos que aprenden rápido y están en disposición de aprendizaje, son valorados por sus habilidades en las organizaciones como rampa de aprendizaje a los empleados de nuevo ingreso que a su vez es importante manejarlos y conducirles el estilo de liderazgo , orientándose a un liderazgo servicial en mayor medida. En el apartado de correlaciones el estudiante da órdenes con facilidad para gestionar situaciones adversas, negocia sus ideas con facilidad, también es constante, por otro lado, en este apartado se observa al universitario con la necesidad de una comunicación efectiva como hallazgo.
Al mencionar la procedencia de los alumnos, se cuenta con dos zonas específicas: alumnos de zonas rurales y de la ciudad (Torreón, Gómez, Lerdo), del comparativo prueba T, para los universitarios de la zona urbana son suficientes los recursos económicos, para los alumnos de zonas rurales, se sienten como estar en casa como en una familia y les hace feliz dirigir personas, este último como un hallazgo de la investigación al relacionar la felicidad con el liderazgo.

IV. CONCLUSIONES

El objetivo de esta investigación fue la de identificar las habilidades faltantes de comunicación y liderazgo de los universitarios del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo

Las siguientes conclusiones surgen a lo largo de la investigación, con el fin de mejorar el desarrollo del liderazgo de los egresados y alumnos del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo para atender las demandas empresariales de la región.

Dentro de las áreas de oportunidad se observa mejorar la expresión oral, desarrollar un liderazgo servicial y buena comunicación efectiva.

Sugerencias en la institución.

- Diseño de un instrumento que mida el liderazgo y la expresión oral/escrita (comunicación) de forma efectiva y medir el impacto en las organizaciones.
- Integrar talleres permanentes de desarrollo de habilidades de liderazgo y expresión oral con medibles.

Necesidades a cubrir en las empresas

Actualmente las empresas demandan habilidades blandas ó competencias técnicas de un egresado para cubrir sus objetivos a corto, mediano y largo plazo. De tal manera tiene que pagar grandes costos por capacitar al personal para obtener las metas y es aquí donde una desarrollada habilidad en liderazgo, comunicación efectiva y cumplimiento de los objetivos se están volviendo una necesidad importante en la contratación y desarrollo del profesionista actualmente que impulsen el desarrollo de las organizaciones.

V. AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Tecnológico Nacional de México campus Lerdo por las facilidades en la realización de este estudio, así como a maestros y alumnos del instituto por su colaboración en la investigación.

VI. REFERENCIAS

Barbosa Ramírez, D., Contreras Torres, F., & Piñeros Espinosa, R. (2016). *Liderazgo: antecedentes, tendencias y perspectivas de desarrollo.* Editorial Universidad del Rosario.

Blanchard, K., & Broadwell, R. (2018). Servant leadership in action: How you can achieve great relationships and results. *Berrett-Koehler Publisher.*

Cohen, R. J., & Swerdlik, M. E. (2001). *Pruebas y evaluación psicológicas: Introducción a las pruebas ya la medición. In Pruebas y evaluación psicológicas: introducción a las pruebas ya la medición.*

Hernández, S. R., Mendoza T. C. (2018). *Metodología de la investigación*. Edit. McGraw-Hill.ISBN:978-1-4562-6096-5

Huizar, V. O. (2023). *Características de liderazgo en universitarios del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo*.[Tesis Universidad Autónoma de la Laguna].

INEGI (2019). Instituto Nacional de Estadística y Geografía https://www.inegi.org.mx/

Krejcie, R. V., & Morgan, D. W. (1970). Determining sample size for research activities. *Educational and psychological measurement,* 30(3), 607-610.

Lewin, K. (1999). *Experiments in Social Space* (1939). Reflections, 1(1).

Martínez, C. M., & Sepúlveda, M. A. R. (2012). Introducción al análisis factorial exploratorio. *Revista colombiana de psiquiatría*, 41(1), 197-207.

Ospina, R. P. (2013). La adaptación al cambio y el servicio: claves del liderazgo en el mejoramiento de la productividad en las organizaciones. Revista de Estudios Avanzados de Liderazgo (REAL), 1(2), 45

Palomo, M. T. (2017). *Liderazgo y Motivación de Equipos de Trabajo* ESIC. 9 edición. ISBN: 978-607-622-669-8

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

Sánchez-Reyes, J. B., & Barraza-Barraza, L. (2015). Percepciones sobre liderazgo. *Ra Ximhai*, 11(4), 161-170.

Sánchez-Reyes, José Bernardo, & Barraza-Barraza, Laurencia (2015). PERCEPCIONES SOBRE LIDERAZGO. *Ra Ximhai,* 11(4), fecha de Consulta 24 de noviembre de 2019]. ISSN: 1665-0441. Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=461/46142596010.

VII. AUTORES

Oscar Huizar Vargas

https://orcid.org/0009-0001-3708-9315

Violeta del Carmen García Hernández

https://orcid.org/0009-0008-7852-5030

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

Cómo Construir una Cultura de Innovación en una Organización

Sánchez-García, A. [1]; González-Pérez, L.G. [2]✉ ; García-Domínquez, P. [1]

[1] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de la Laguna. Blvd. Revolución y Av. Instituto Tecnológico de la Laguna, Torreón, Coahuila, México. C.P. 27000
[2] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Av. Tecnológico no. 1555 Sur, Periférico Gómez-Lerdo Km 14.5 C.P. 35150 Cd. Lerdo, Dgo. México. ✉
✉ laura.gp@itslerdo.edu.mx

Resumen- **La innovación aplicada a la tecnología en la actualidad se considera un parámetro clave que puede favorecer la competitividad de cualquier empresa, en el entorno global. Es sabido que las empresas líderes, deben mucho de su liderazgo a que le han apostado a mejorar sus productos, así como también a sus procesos y mejora del servicio que proporcionan a sus clientes, a través de la innovación. Por lo tanto, las empresas que aún no se han integrado a la innovación y desarrollo tecnológico pueden perder la oportunidad de aumentar la calidad de sus productos mediante la creación de una cultura de innovación, en este documento se busca identificar los parámetros que influyen en la creación de dicha cultura. En la metodología se realiza una investigación documental de la literatura y el estado del arte referente al tema que nos compete, en artículos y revistas científicas. Se realiza una investigación empírica mediante un instrumento, se selecciona un muestreo al azar de grupos y se aplica dicho instrumento. Los resultados obtenidos identifican cinco parámetros mediante métodos estadísticos como son, un análisis de fiabilidad y un análisis factorial. Por lo que se sugiere la construcción de un modelo que incluye los parámetros que serán la base de una cultura innovadora.**

Palabras Clave: creatividad, desarrollo tecnológico, innovación, organización, producto

Abstract- **Innovation applied to technology is currently considered a key factor that can enhance the competitiveness of any company in a global environment. Leading companies attribute much of their success to their commitment to improving products, processes and customer service through innovation. Therefore, companies that have not yet embrace innovation and technological development risk losing the opportunity to enhance product quality by fostering a culture of innovation. This document aims to identify the parameters that influence the creation of such a culture. The methodology includes a documentary investigation of the literature and the current state of the topic, drawn from articles and scientific journals. An empirical investigation is conducted using a specific instrument; random sampling of groups is selected for this purpose. The results identify five parameters through statistical methods, including reliability analysis and factor analysis. Consequently, the construction of a model that incorporates these parameters is proposed as a foundation for an innovative culture.**

Keywords: creativity, technological development, innovation, organization, product

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes e importancia de la Innovación.

En el actual mundo globalizado donde las necesidades y confort son cada vez más exigentes de parte de la sociedad, que requieren de productos, servicios diferentes que le agreguen valor desde el enfoque tecnológico, ambiental o económico. Un aspecto clave en esta dinámica es el tiempo de respuesta al momento de cubrir la necesidad del mercado, por lo que, al existir una mayor competencia en el entorno global, se deben reducir los tiempos en la producción y distribución. De acuerdo a los antecedentes en el siglo pasado los cambios tecnológicos ocurrían en periodos de varios años, hoy en día esos cambios se llevan a cabo en periodos menores a un año.

En este entorno descrito, se requieren aspectos clave que ayudarán a una empresa a ser más competitiva, como lo es la innovación. Estos aspectos contribuyen a la competitividad y crecimiento de las organizaciones, tal como lo menciona la (OECD, 2010).

1.2 La innovación en el entorno Mundial y en México

En el entorno mundial de las empresas, el día de hoy el tema de la innovación es de gran importancia sobre todo en las empresas u organizaciones de clase mundial que como ya es sabido son líderes en el producto o servicio que ofrecen.
En México que es una economía emergente tenemos a la innovación como una gran área de oportunidad, así como lo muestra los datos que nos proporciona (WIPO, 2022), en donde señalan que en el año 2022 México género 17, 154 patentes, 519 modelos de utilidad y 151, 771 registros de marca. En ese mismo año en el mundo hubo un total de 14 millones de patentes generadas, dónde México aportó con el 0.54 %.

Para una empresa u organización si quiere mejorar en competitividad y se decide por la innovación, es muy importante saber en qué posición se encuentra respecto a ese rubro. Para ello existe un indicador que dimensiona los resultados de una organización en cuanto a la innovación tecnológica.

Este indicador es el índice Mundial de Innovación, que es un indicador de gran utilidad para visualizar el nivel de la innovación en una organización, institución, estado o país. El cual tiene como objetivo apoyar y establecer un punto de comparación entre las economías emergentes con las de primer mundo y por tanto identificar sus fortalezas y

debilidades respecto a la innovación. Algunas acciones importantes para la mejora en la innovación son el aprendizaje e I+D.

Respecto a WIPO (2022), México ocupa el lugar 166, cuyas puntuaciones de sus parámetros se ilustran en la tabla 2. Parámetros del Índice Global de Innovación de México. Anualmente el Índice Mundial evalúa la situación económica de 130 países tomando en cuenta 81 parámetros, algunos como solicitudes de patente y otras que nos proporcionan información que pueden ayudar a mejorar en este punto.

Un dato también importante es lo que señala FORBES México, (2021), en el cual México se ubica en un lugar un poco arriba de la media entre 132 economías, y también nos menciona que la innovación es uno de los pilares con más bajo desempeño (27 %) que tiene nuestro país. Ver Figura 2. Los 7 Pilares del Índice Global de Desempeño de México

Otro parámetro también que nos dice qué país está comprometido con la innovación, es el porcentaje de inversión de dicho rubro respecto al PIB, según la OCDE (2022), el gasto en innovación en México en el año 2020 fue de un 0.3% del PIB, muy por debajo de las economías de primer mundo, como Israel (5.71 %), Estados Unidos (3.47 %), Francia (2.28%), y también de países como Brasil (1.15%), Uruguay (0.45%) y Chile (0.33%), y muy por debajo del promedio mundial que es de 2.71 % del PIB. Por lo que es común observar en dichos países emergentes altos índices de desempleo, carencia de tecnología propia, adquisición de tecnología del extranjero, baja productividad de productos tecnológicos y baja competitividad de empresas nacionales con respecto a las extranjeras. Ver Tabla 1: Gasto en Investigación y Desarrollo 2020 en el mundo

1.3 La creatividad

Es de dominio que la creatividad es la materia prima para que se dé la innovación, ya que nos proporciona las ideas. También se sabe que cuando se trata de generar ideas no es un proceso sencillo ya que se requiere de mucho talento, o de desarrollar habilidades y competencias a través de una estrategia educativa. La generación de las ideas se puede establecer escuchando los requerimientos del consumidor, de las visitas a clientes, “Focus Group” de clientes para la detección de problemas, análisis de usuarios líderes, lluvia de ideas de proveedores y concursos de innovación de Instituciones educativas de educación media y superior, entre otras. También para activar a la creatividad se requieren de métodos tales como la aplicación de los tipos de pensamiento que se explican a continuación.

1.4 Pensamiento Creativo e innovador

Existen diferentes tipos de pensamiento que nos facilitan el manejo adecuado de la creatividad. Uno de ellos es el Pensamiento divergente (Guilford), considerado un pilar de la creatividad debido a que abre posibilidades en una situación determinada y no limita las ideas en una lógica convencional. Otro tipo de pensamiento es el pensamiento lateral creado por (Edward De Bono), que genera ideas a través de una metodología no lógica, como seguir un pensamiento lateral y buscando diferentes opciones para llegar a un objetivo. Se dice que la ciencia avanzó porque alguien hizo diferente las cosas. La originalidad visualiza situaciones en forma lateral. También existe el tipo de pensamiento propuesto por (Taylor), el cual consiste en generar ideas que sean diferentes, pero también que sean originales, para ello se requieren la utilización de las dinámicas de equipos de trabajo. Y el pensamiento es el convergente, aunque parezca contradictorio ayuda mucho a la a complementar una idea ya bien definida, debido a que aporta elementos adicionales mediante un análisis, también ayuda a la toma de buenas decisiones.

1.5 La Innovación

La Innovación y creatividad son dos conceptos que se complementan. La innovación es un efecto de la creatividad como fuente de ideas. Es de dominio que el desarrollo del hombre, el avance en la ciencia, los inventos, descubrimientos, así como la calidad y mejora no son posibles sin la innovación, desarrollo tecnológico y el trabajo en equipo, como también lo señala De La Torre (1997).

El término innovación se debe a Schumpeter (1997), quien lo menciona en sus postulados de su obra denominada: Teoría del desenvolvimiento económico. Y la define como: “introducir un nuevo bien, método o la medición de su calidad o un nuevo mercado, desarrollar convenios con nuevos proveedores, así como la creación de una nueva organización”. Y Peña (2003), nos explica que la innovación es la incorporación e implementación de un nuevo conocimiento tecnológico. Cabe mencionar que en la actualidad existe poco o nulo conocimiento sobre cómo seguir en forma adecuada las acciones innovadoras. Otra definición de innovación es la afirmada por Pavón & Goodman (1981), que la define como “conjunto de actividades inscritas en un determinado período de tiempo y lugar, que conducen a la introducción con éxito en el mercado, por primera vez, de una idea en forma de nuevos productos, servicios o técnicas de gestión y organización”.

“La innovación es el motor del crecimiento en nuestra economía mundial, cada vez más dependiente de los conocimientos, pero son necesarias más inversiones para promover la creatividad humana y el rendimiento económico”, dice Francis Gurry, director general de la OMPI (2008-2020), y también agrega que: “la innovación puede contribuir a transformar el actual auge de la economía en crecimiento a más largo plazo”. Así también señala que hay una diferencia muy grande entre la capacidad innovadora de países líderes en el mercado global y los países emergentes como nuestro país, en los cuales se observa que el indicador en investigación y desarrollo es muy pobre.

Según el Oslo (2005):“las innovaciones tecnológicas comprenden nuevos productos y nuevos procesos y significativos cambios tecnológicos de productos y de procesos. Una innovación ha sido puesta en funcionamiento si ha sido introducida en el mercado (innovación de producto) o usada dentro de un proceso de producción (innovación de proceso), un cambio organizacional (innovación organizacional), o un cambio en la estructura del mercado (innovación de mercado). Las

innovaciones, incorporan una serie de actividades científicas, tecnológicas, organizacionales, financieras y comerciales". Así también Bonilla Blanchar (2011), nos dice que son estrategias que pueden apoyar a la innovación tecnológica.

1.6 Características de la Innovación

Las características de la innovación son: Se aplica tanto a un producto, servicio o proceso, busca siempre buenos resultados y la creación de valor agregado, así como el impulso de la calidad, tal como lo explica Cornejo C.(2009).

Otra característica de la innovación es que se aprende interactuando, debido a que hace participar a todos los niveles de la empresa los cuales también contribuyen a la difusión y aplicación práctica, de acuerdo a Valenti (1999).

Según Oslo (2005): describe a la innovación con lo siguiente: se identifica con la incertidumbre en resultados, inversiones en bienes tangibles y no tangibles, genera grandes avances tecnológicos, involucra conocimientos nuevos, y tiene como objetivo la mejora continua para el logro de una mejor competitividad. La innovación se clasifica en tipo tecnológicas y administrativas Damanpour (1987), y en radicales e incrementales según (Gopalakrishnan & Damanpour, 1997).

La innovación de productos, según la OECD (2010) puede tomar dos formas: a. Producto con tecnología nueva cuyas características son diferentes a productos anteriores, y posee una mejor calidad, y b. Producto que es complejo.
También puede ser efectos de un nuevo conocimiento. Las actividades de innovación son las que contribuyen a la toma de decisiones en aspectos como la investigación y desarrollo tecnológico, en base a sus finanzas, retos comerciales y el aprendizaje de nuevos conocimientos.
Los resultados de la innovación se dan con su aplicabilidad para satisfacer una necesidad social o del mercado. Esto genera alto impacto y competitividad en el mercado. Existe también un marco institucional de la innovación según Abello (2004):

a) Científico. Son los nuevos conocimientos generados a través de la investigación apoyada con centros educativos de nivel superior.
b) Públicos y privados. Son departamentos (I+D), centros de desarrollo tecnológico, así como talleres de especialización y grupos de ingeniería.
c) Financiero, son instituciones privadas que apoyan con capital de riesgo y que invierten en proyectos innovadores, como son los bancos y el gobierno que ofrecen programas de financiamiento compartido.
d) Productivo, que son empresas productivas y de servicios, que requieren de la innovación.

Por tanto si una organización quiere ser exitosa debe adoptar a la innovación tecnológica, ya que existe una relación muy cercana entre economía y tecnología como lo afirma Abello (2004),. Así como en un mundo globalizado, para que una empresa se desarrolle y sea competitiva, requiere del conocimiento y de la innovación, según Porter (1986). Y un objetivo también de la innovación es contribuir a la competitividad de las organizaciones, según Gonzalez (1992).

Para innovar de las organizaciones depende en parte al departamento de I+D y al apoyo de los directivos de la empresa. Según lo indica Quintanilla M. (2021). Por otro lado, hay que considerar que la innovación, no sólo se gestiona a través de un departamento, como lo es I+D, sino que es un proceso puede mejorar mucho a una organización.

La tecnología es importante a la hora de hablar de innovación, ya que como lo menciona Cornejo C.(2009): "la aplicación del conocimiento científico y de ingeniería a la obtención de un resultado práctico", así también Aranda, Solleiro, Castañón y Henneberry (2008), Para el Oslo, (2005): es la "implementación tecnológica", de procesos, productos, mejora en su calidad, y se difunde como conocimiento tecnológico, e Investigación y Desarrollo (I+D).

1.7 El proceso de Innovación.

La actividad innovadora requiere de un sistema que facilite la generación del conocimiento y de la tecnología, según Sánchez (2005) y su posterior aplicación en un proceso que crea nuevas tecnologías y nuevos conocimientos con las que la empresa innova su gama de producto y servicios como también lo respalda Freeman (1975). Actualmente esto se realiza a través de la I+D, que son la investigación básica y aplicada. La organización tiene la opción de comprar tecnología que es muy costosa o de crear tecnología que les puede resultar más rentable. Esta generación de tecnología propia, ayuda a la competitividad.

De acuerdo a diversos autores un proceso de innovación consta de varias etapas como son: los insumos (un diagnóstico, planeación definición de objetivo, financiamiento público o privado, adquisición de tecnología), el proceso (formar personas o equipos multidisciplinarios que generen y seleccionen ideas que se convertirán en proyectos innovadores, así como también la aplicación de la tecnología) y los productos (proyectos, modelo de negocio, patentes, etc.). Para que este proceso funcione de una mejor manera se requiere de departamentos internos como: I+D, I+D+i. También es importante tomar en cuenta la asesoría externa donde se registra el resultado de la innovación como es el caso de las universidades, centros de investigación, la OMPI que protege adecuadamente la propiedad intelectual. Cabe mencionar que la tecnología también es un aspecto clave de la competitividad, según Aranda, Solleiro, Castañón , y Henneberry (2008)

Cuando el proceso de innovación se maneja adecuadamente para la generación de productos innovadores, es un primer paso para la empresa u organización. Para dar un segundo paso sería la creación de una cultura innovadora, que es un reto al cual se puede aspirar, y que nos pondría al nivel de las empresas líderes en el mercado.

1.8 El rol de las universidades en la innovación

La innovación en la industria requiere de individuos que manejen la creatividad e innovación de una manera cotidiana. Pero un inconveniente es que no se nace con esa habilidad, se requiere que en su educación o proceso de formación vaya adquiriendo dichas competencias a lo largo de su período escolar. Es por ello que en las escuelas de educación Media o Superior deben tener programas educativos que integren las competencias como la creatividad y la innovación a su perfil de egreso. A continuación, se comentan aspectos importantes que se señalan en la consulta de diversos artículos. Tal es el caso de: Miranda Zea, García Ponce de León, y Pérez Mora, (2016). Que comentan que los objetivos de las Universidades en cuanto las innovaciones son:

1. Cubrir necesidades de enseñanza y de investigación científica y que las empresas no pueden cubrir, como lo indica Martín y Etzkowitz (2000).
2. Es la de transferir el nuevo conocimiento y la nueva tecnología en la empresa y comunidad, según Laredo (2007) y Molas-Gallart, Salter, Patel, Scott y Durán (2002).
3. Es la aplicación de las nuevas tecnologías que apoyen a la comunidad, como lo sostiene Tarapuez y Parra (2012).
4. Cubrir necesidades de la comunidad, apoyar en la enseñanza e investigación científica y colaborar con empresas, gobierno y comunidades, según Martín y Etzkowitz (2000), y Sheen (1992).

La universidad emprendedora según Clark (1998), contiene las siguientes características. Capacidad de Gestión, Cultura emprendedora, Cuerpo académico motivado, Financiamiento diversificado, Unidades periféricas, tienen como base la capacitación.

1.9 ¿Porqué implementar una cultura empresarial?

El punto ideal para que la innovación se dé, es fomentar una cultura dentro de una organización. Según Cornejo C. (2009): “Una cultura empresarial ayuda a la organización a adaptarse al entorno”, y es la forma en que una empresa interactúa con su entorno. Una cultura es la forma en que la empresa ha aprendido a manipular su entorno, así como la de cumplir con las expectativas y las formas que se realizan de forma sistemática y sincronizadas con su entorno. La cultura definitivamente influye en toda la organización, según Alcaide (2008) y citado en Cornejo (2009). También Tylor (1871), define cultura como “ese todo, complejo que incluye conocimiento, creencia, arte, moral, ley, costumbre y cualquier miembro de la sociedad”.

Una definición muy aceptada es la dada por Sheen (1992) en su libro “Cultura organizacional y liderazgo” donde la define como: “Un modelo de supuestos básicos, inventados, descubiertos o desarrollados por un grupo determinado, conforme va aprendiendo a hacer frente a sus problemas de adaptación externa e interna, que ha funcionado suficientemente bien para ser considerado válido y, por tanto, enseñarlo a los nuevos miembros como, la forma correcta de percibir pensar y sentir respecto a dichos problemas que se plantean en la organización”.

Por tanto, una cultura facilita alcanzar los objetivos de la organización ya que la innovación sería un trabajo habitual. También proporciona directrices que apoyan los esfuerzos sin tener que entrar en conflicto con las demás áreas de la empresa.

1.10 Cultura Innovadora

Para que una empresa u organización se interese en la innovación, es por varias razones, una es que se requiere producir más por la llegada de nuevos clientes, o también con el fin de mejorar la calidad de sus productos con el afán de ser más competitivos. Es por ello que en la innovación se debe de utilizar estrategias en la alta dirección, ya que al igual que cualquier otro proceso, involucra a todas las áreas de la organización.

Por ello para poder crear una cultura innovadora es importante tener una visión global, tener en cuenta diversos factores clave como: las alianzas constructivas con proveedores y también clientes, la compra e instalación de equipos, la calidad y mejora de procesos, los convenios con centros educativos de nivel superior y asesores externos, así como la adquisición de propiedad intelectual, como también lo indica Pulido (2005). Debe tener una buena infraestructura que facilite el desarrollo de la innovación: al igual que un sistema que potencialice y transmita los esfuerzos técnicos, económicos y que esté respaldado con políticas, pero también con apoyos de universidades, redes de aprendizaje, bancos, mano de obra calificada, etc.

De acuerdo a Morcillo (2007), de varios estudios realizados a empresas, se encuentra que las empresas no innovan por lo siguiente:

1. No existen individuos que cuenten con el interés de emprender.
2. Por los altos costos en investigación y desarrollo D y que no se recuperan a corto plazo.
3. Por la alta incertidumbre por los resultados.
4. No se cuentan con recursos suficientes.
5. No se tiene personal especializado para manejar la innovación.
6. No hay disponibilidad de capital debido al riesgo que se corre.

Un punto que es importante para dar el primera acción hacia una cultura de innovación es: identificar las oportunidades de innovar, ya que como lo señala Drucker existen fuentes que nos ayudan a detectar dichas oportunidades como lo son: cuando ocurre lo que no se espera, lo que no es congruente con lo que queremos, cuando se implementa un proceso que se requiere, y también las oportunidades que dejamos escapar cuando hay cambios en la industria, en el mercado, en la comunidad, en conocimientos nuevos, etc. Tal como lo cita Soto Flores y Medellin Cabrera (2010).

Las organizaciones son capaces de crear un ambiente de trabajo que favorezca la creación o la adopción de productos y servicios innovadores. Así como Cornejo C., (2009), nos comparte que los autores Schein (1985), y Quintanilla (2000)], señalan que la cultura de innovación tiene tres dimensiones:

1. Una dimensión que abarca los conocimientos prácticos de un grupo social.
2. Dimensión que abarca los rasgos representativos en cuanto reglas y valores.
3. Y una dimensión relacional.

Por tanto, la cultura de innovación se puede definir como el entorno de una organización dónde se facilita la obtención o adopción de un conocimientos, habilidades y principios, que determinan las formas de hacer las cosas.

Es por ello para que se dé un entorno para la innovación, se requiere de un compromiso, pero también de colaboración, ser solidario y de una buena comunicación entre los grupos implicados (como lo son el gobierno, los centros de educación superior, las empresas, los centros de investigación, agentes sociales, bancos y sociedad).

Una cultura de innovación se refleja en cómo una organización afronta y soluciona los problemas de las empresas, creando y utilizando un sistema que genere ideas, y que a su vez solucione dichos problemas. Esto trae como consecuencia un plus en los productos y servicios que ofrece la empresa comparada con lo que ofrece la competencia. Otro punto clave para que se pueda establecer una cultura de innovación es que la alta dirección apoye este esfuerzo con una política y objetivos estratégicos que favorezcan el camino de esta práctica empresarial.

Según Beber y Trice (1993) señala los roles de una cultura innovadora son:

1. Permite que los individuos se enfrenten a momentos de incertidumbre.
2. Son guías del individuo como formas de expresión o normas de comportamiento.
3. Establece un orden social.
4. La cultura es una propiedad que la organización adquiere a partir de su historia.
5. Construye una propia identidad e imagen.

Las pequeñas y medianas empresas (pyme) se diferencian de las grandes empresas en aspectos como el estilo de gestión, los procesos de la producción, el capital con que se dispone, las compras, los inventarios y el poder de negociación. Así también mencionan que los parámetros que más destacan en las investigaciones son el capital humano, la creatividad, liderazgo, la intención de innovar, la relación con clientes, las políticas y financiamientos públicos que apoyan los proyectos de innovación y desarrollo tecnológico, así como su entorno, de acuerdo a Castillo Malagón y Alvarez Medina (2021)

Según Morcillo (2007), señala que “La cultura de innovación corresponde a una forma de pensar y de actuar que genera, desarrolla y establece valores, convicciones y actitudes propensos a suscitar, asumir e impulsar ideas y cambios que suponen mejoras en el funcionamiento y eficiencia de la empresa, aun cuando ello implique una ruptura con lo convencional o tradicional”. Y también Alosani, M. S. y Al-Dhaafri (2020), nos señalan que en una cultura de innovación se comparten creencias, valores y supuestos.

Una cultura de innovación contribuye a desarrollar dos caminos que refuerzan los procesos hacia la innovación, uno de ellos es la interacción entre las personas y otra es la de gestionar políticas y prácticas que impulsen la innovación. Según De Montreuil, Gómez, y Da Costa, 2020)

Las características que definen una cultura de innovación se visualizan en los procesos como la creatividad, el aprendizaje y de investigación Franco y Garnica (2020)- También Alosani, M. S. y Al-Dhaafri (2020) definen que en una cultura de innovación crea un entorno que fomente: confianza y comunicación. Y Villaluz, y Hechanova (2019) nos dicen que se permite la experimentación, la aceptación de riesgos y la tolerancia a los cambios en vía de lograr buenos resultados. Y según Chávez Hernández (2021) nos señala que, para gestionar la innovación, se toma en cuenta el aspecto humano-social, los componentes estructurales y administrativos.

Hofstede (1999) nos comparte el siguiente modelo:
Modelo de las Cinco Dimensiones para identificar los patrones culturales de un grupo;

1. Distancia al poder: Implica la equidad, la centralización y el tipo de liderazgo.
2. La presencia de estereotipos de género, la integración profesional y respaldar la equidad de género.
3. Ser tolerante a la falta de certidumbre: por los resultados.
4. Colectivismo – individualismo: Interactuar mediante relaciones con el trabajo individual o en equipo.
5. Orientación a corto plazo – largo plazo.

Según Fey & Denison (2003) mencionan en su Modelo cultural, cuatro características que son:

- Involucramiento: Es el desarrollo de capacidades humanas a través de equipos.
- Consistencia: es tener una organización coordinada e integrada en un sistema donde se comparten creencias y valores.
- Adaptabilidad: Es responder a los cambios del entorno de una manera positiva y constructiva, y a las nuevas exigencias de los clientes.
- Misión: Es tener un propósito claro de dirección.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTICULO

Objetivo: Es encontrar los parámetros principales que influyen en la generación de innovación dentro de una empresa u organización, con el fin de establecer mejores estrategias en la integración, formación y desarrollo de equipos de trabajo capaces de manejar proyectos tecnológicos innovadores que dan solución a los problemas de la organización.

2.1 Objetivos Específicos

1. Investigación documental a través de literatura y el estado del arte acerca de la innovación en el entorno laboral.
2. Desarrollar y aplicar un instrumento de medición con escala Likert.

3. Realizar una prueba piloto para definir el nivel de la cultura en la aplicación de la innovación dentro del entorno laboral.
4. Identificar los parámetros clave, identificar las áreas de oportunidad y realizar recomendaciones para mejorar la innovación en el Instituto.

2.2 Preguntas de Investigación

¿Qué es innovación?
¿Qué es una cultura de innovación?
¿Qué áreas de oportunidad tienen las empresas respecto a una cultura de innovación?
¿Qué parámetros debe poseer una organización para marcar el camino hacia una cultura innovadora?

2.3 Metodología

La investigación que se realiza es del tipo documental y empírica. La investigación documental de la literatura y el estado del arte referente al tema que nos compete se llevó a cabo en artículos, revistas científicas, instituciones y organismos internacionales. Las fuentes utilizadas son el Google Académico, Scielo, Redalyc, Revistas de Universidades. En esta investigación documental se buscan respuestas acerca de las preguntas de investigación. Y principalmente los parámetros que afectan significativamente a una cultura innovadora.
La investigación empírica se inicia con el diseño de una encuesta para expertos y a través del método Delphi. Se eligen un grupo de expertos, en el que se les pregunta acerca de los parámetros que afectan una cultura de innovación tecnológica. En este instrumento, se valida un grupo de 30 variables. Con dichas variables se diseña un instrumento de medición con 30 ítems que utiliza una escala tipo Likert y se elige una muestra no probabilística representativa de la población de 71 equipos de trabajo que han trabajado con proyectos innovadores.
Con las respuestas de dicho instrumento, se realiza un análisis de fiabilidad que nos ayuda a dimensionar en qué nivel las variables definidas se correlacionan entre sí, así como también define la confiabilidad y validez del instrumento. Para ello se utiliza el software SPSS, el cual da como resultado un Alfa de Cronbach de 0.940, lo cual es un valor muy aceptable. Ver Tabla 3. *Análisis Fiabilidad SPSS.* Luego, se realiza un análisis factorial con el fin de buscar una reducción de dimensiones en el que existe una correlación fuerte entre dichos parámetros, y con ello nos define la integración de los parámetros en uno o más componentes. Con el análisis de las comunalidades, se obtienen valores en la extracción mayores a 0.430 y valores de la matriz de correlación anti-imagen mayores a 0.685. Ver Tabla 4. *Comunalidades.* Así también se obtiene un valor de KMO de 0.809 y un valor de la Prueba de esfericidad de Barlett de .000, el cual es menor a 0.05, y esto nos permite realizar una reducción de dimensiones mediante el análisis factorial exploratorio. Ver Tabla 5. *KMO y prueba de Barlett.*

En dicho análisis factorial exploratorio se obtiene un total de cinco componentes. Ver Tabla 6. *Matriz de componentes rotados.*

El análisis factorial exploratorio realizado nos sugiere reducir a 5 componentes principales.

5. III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a diferentes autores podemos decir que la Innovación es un proceso que resuelve un problema, mejorar un proceso, producto o servicio, a través de una idea original desarrolla un proyecto innovador, un prototipo original, un modelo de negocio que dé solución a dicha problemática.

Las áreas de oportunidad de las empresas respecto a la innovación se resumen en lo siguiente:

1. La empresa no cuenta con los recursos y conocimientos técnicos para desarrollar proyectos innovadores.
2. Las empresas no tienen el tiempo, ni el personal adecuado para el manejo de proyectos innovadores.

Una cultura de Innovación es un sistema de cómo crear, diseñar y aplicar la innovación en forma habitual en el trabajo,

Las áreas de oportunidad que tienen las empresas para el logro de una cultura de innovación son:

1. Empresas que deseen ser competitivas en el entorno global.
2. Tener apertura ante el cambio.
3. Tener personal creativo y dispuesto a desarrollar proyectos de innovación.

Parámetros para iniciar una cultura innovadora en una empresa u organización.
Del producto de nuestra investigación, y de acuerdo a los valores obtenidos de nuestro análisis de fiabilidad y reducción de dimensiones se identifican cinco parámetros clave (componentes).
En el actual estudio después de hacer el análisis factorial exploratorio, observamos que nos sugiere reducir a 5 componentes principales los cuales se definen así:
Componente 1: Compromiso con la Innovación (Políticas y Directrices). Componente 2: Modelo de Innovación Tecnológica. Componente 3: Sistema de Innovación Tecnológica. Componente 4: Planeación Estratégica. Componente 5: Participación de Equipos Innovadores.

De acuerdo al resultado obtenido se proponen un modelo para construir una cultura de innovación. Con los resultados obtenidos se sugiere el siguiente modelo. Ver Figura 3. El modelo para una Cultura de Innovación Tecnológica.

En el modelo para desarrollar una cultura de Innovación Tecnológica en una organización sería de la siguiente manera.

1. Realizar un diagnóstico organizacional con el propósito de identificar en qué lugar está la organización respecto a la innovación.
2. Revisar mediante una planeación estratégica y tomando en cuenta el diagnóstico realizado la

visión, misión y objetivos estratégicos con el fin de establecer a mediano o largo plazo una cultura donde se maneje la innovación tecnológica como algo cotidiano.

3. Teniendo ya nuestra planeación estratégica, la alta dirección deberá establecer políticas y directrices que apoyen el establecimiento de la cultura de innovación.
4. El siguiente paso es el diseño e implementación de un modelo de innovación tecnológica que contemple la participación de todo el personal de todos los niveles de la organización.
5. Del modelo de negocio y las necesidades de la organización se requiere diseñar un sistema de innovación tecnológica que gestione, integre y guíe todas las actividades de innovación de la organización.
6. Estructurar y capacitar equipos de trabajo innovadores con el fin de generar la participación de todo el personal de la organización.

Los modelos sugeridos por los diferentes autores, son viables para cualquier organización, y sobre todo porque toman en cuanto parámetros clave para la innovación y que hacen funcionar a toda la organización en ese rubro.

El objetivo de nuestro actual documento es aportar en la parte intermedia y operativa de la organización elementos que puedan apoyar con el diseño de un modelo de cultura de innovación.

3.1 Formatos

Tabla 1
Gasto en Investigación y Desarrollo 2020 en el mundo.

Ranking	*País*	*%PIB*
1	Israel	5.71
2	Corea	4.8
4	Estados Unidos	3.47
5	Bélgica	3.4
7	Japón	3.27
8	Austria	3.2
9	Alemania	3.13
14	Reino Unido	2.93
15	Finlandia	2.91
19	China	2.41
23	Francia	2.28
43	Italia	1.15
52	Brasil	1.15
78	Cuba	0.52
82	Uruguay	0.45
86	Chile	0.33
90	México	0.30

Nota: Adaptada de Fuente: (WIPO, Índice Global de Innovación, 2022)

Tabla 2
Parámetros del Índice Global de Innovación de México.

Clasificación general del G11 2022 y por pilar de innovación

País/ Economía	Total G11	Instituciones	Capital Humano e Investigación	Infraestructura
México	58	93	58	63

País/ Economía	Sofisticación del mercado	Sofisticación empresarial	Productos de Conocimiento y tecnología	Resultados creativos
México	54	76	58	50

Nota: Adaptado de Fuente: (FORBES México, 2021).Las cantidades indican la posición del país en el ranking mundial.

Figura 2
Los 7 Pilares del Índice Global de Desempeño de México.

Nota: Adaptada de Fuente (FORBES México, 2021)

Tabla 3
Análisis Fiabilidad SPSS

Estadísticos de fiabilidad

Alfa de Cronbach	Alfa de Cronbach basada en los elementos tipificados	N de elementos
.940	.944	30

Nota: Elaboración propia

Tabla 4
Comunalidades.

	Inicial	**Extracción**
IN11	1.000	.742
IN21	1.000	.550
IN31	1.000	.578
IN41	1.000	.606
IN51	1.000	.662
IN61	1.000	.600
IN12	1.000	.461
IN22	1.000	.718
IN32	1.000	.638
IN42	1.000	.657

IN52	1.000	.743
IN62	1.000	.567
IN13	1.000	.745
IN23	1.000	.710
IN33	1.000	.437
IN43	1.000	.655
IN53	1.000	.748
IN63	1.000	.777
IN14	1.000	.759
IN24	1.000	.618
IN34	1.000	.790
IN44	1.000	.720
IN54	1.000	.635
IN64	1.000	.694
IN15	1.000	.767
IN25	1.000	.623
IN35	1.000	.691
IN45	1.000	.671
IN55	1.000	.608
IN65	1.000	.578

Nota: Elaboración propia

Tabla 5
KMO y prueba de Bartlett.

Medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin.		.809
Prueba de esfericidad de Bartlett	Chi-cuadrado aproximado	1478.857
	gl	435
	Sig.	.000

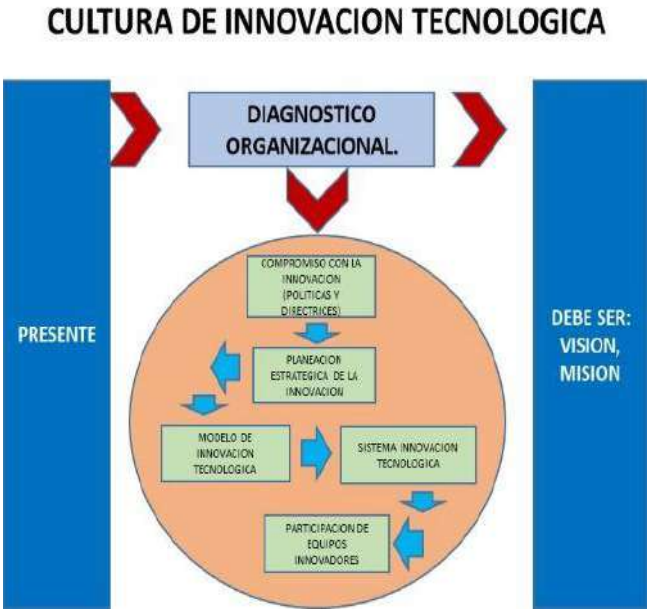
Nota: Elaboración propia

Tabla 6
Matriz de componentes rotados.

	Componente				
	1	2	3	4	5
IN53	.831	.055	-.066	.099	.203
IN14	.828	.223	.038	.064	.134
IN25	.764	.124	.016	.141	.055
IN64	.742	.317	-.004	.160	.131
IN45	.672	.251	.311	.242	-.002
IN23	.667	.134	-.087	.188	.453
IN15	.658	.499	.282	.051	-.055
IN54	.635	.257	.153	.377	.024
IN34	.569	.174	-.129	.365	.534
IN62	.483	.411	.090	.307	.248
IN63	.194	.764	.267	.243	.161
IN55	.272	.674	.122	.155	.201
IN51	.387	.619	-.144	.281	.168
IN44	.269	.606	.319	.400	.131
IN41	.368	.600	.058	-.217	.246
IN52	.203	.079	.823	.134	.008
IN35	-.111	.153	.803	.023	.102
IN21	.024	.077	.703	.210	.075
IN33	-.022	.020	.641	.124	.102
IN61	.121	.479	.556	.199	.081
IN65	-.006	-.075	.318	.674	.133
IN31	.303	.251	.135	.636	.021
IN24	.268	.278	.055	.634	.255
IN32	.218	.293	.253	.630	.209
IN43	.470	.184	-.003	.613	.158
IN12	.085	.032	.389	.523	.170
IN11	-.006	.172	.442	.123	.709
IN22	.264	.145	.276	.315	.672
IN13	.193	.482	.170	.224	.630
IN42	.483	.292	-.040	.159	.558

Nota: Elaboración propia

Figura 3
El modelo para una Cultura de Innovación Tecnológica. Fuente: Elaboración propia.



Nota: Elaboración propia

6. IV. CONCLUSIONES

La innovación en la actualidad es un factor clave para que una organización pueda ser competitiva. Para que la innovación funcione en beneficio de los grupos de interés, se requiere de una vinculación adecuada entre empresa-gobierno-universidad.

Para poder lograr una cultura innovadora y poder ser competitiva en una organización, se sugiere:

1. Personal que posea competencias capaces de mejorar o innovar procesos, productos o servicios. Como primer punto observamos que estas características se encuentran en un individuo en forma natural por un lado y por otro hay empresas donde dichas competencias se van adquiriendo como parte del proceso laboral, así como en Instituciones de Educación Media y Superior donde estas competencias se adquieren a lo largo de su proceso educativo.

2. Crear una cultura no es nada sencillo dado que se requiere el involucramiento y compromiso de toda la organización. Y los primeros que hay que convencer es a la alta dirección de la organización. Lo que conlleva a establecer políticas, una estrategia a largo plazo, objetivos e indicadores estratégicos.
3. Otras acciones como la concientización, la educación, la capacitación y la implementación de proyectos innovadores que den valor agregado a productos y servicios.
4. Establecer un sistema de innovación donde la organización participa con ideas y desarrollo tecnológico para la resolución de los problemas dentro de la organización.
5. La cultura queda establecida cuando en forma cotidiana se buscan soluciones a través de ideas originales e innovadoras y en donde la organización desde la parte alta hasta la parte baja apoyan todo este tipo de soluciones a través del sistema de innovación.

El rol que juega una Institución de educación superior es básico para ello requiere de una adecuada gestión y de un sistema de innovación que sea capaz de generar equipos de trabajo que manejen en forma cotidiana proyectos de innovación y con ello producir desarrollo tecnológico que cubra necesidades de las empresas y de la comunidad.

En las universidades se realiza la investigación científica y desarrollo tecnológico con el fin de generar productos, procesos y servicios innovadores que requieren las empresas con apoyos gubernamentales, esta dinámica se implementa integrando equipos de trabajo con jóvenes estudiantes, los cuales aprenden el conocimiento, y la generación de ideas, así como la aplicación de éstas en la elaboración de proyectos de producción de productos, procesos y servicios innovadores que cubrirán las necesidades sociales y empresariales, con sistemas como el I+D, incubación de empresas, eventos como el ENEIT, INOVATECNM, ferias de mercadotecnia, etc.
Las áreas de oportunidad que tienen las universidades respecto a la innovación son: la integración de necesidades detectadas en las empresas con los programas académicos de las escuelas. Se requiere que exista una gran vinculación, coordinación e interés común por las partes, así como el papel del gobierno como apoyo con sus programas de financiamiento. Otro aspecto donde hay diferencia entre los objetivos de las universidades y la demanda de las empresas es el tiempo de respuesta que existe por parte de las escuelas a las necesidades de dichas empresas. La infraestructura para el manejo de proyectos de innovación es un factor importante para cubrir las necesidades de las empresas.

Áreas de futura investigación.
Este estudio es una prueba del instrumento de medición para aplicarse en un futuro a otras organizaciones del ramo industrial pero también en el ámbito académico para evaluar qué tanto están orientados los perfiles de egreso respecto a la innovación.

V. AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Instituto Tecnológico de la Laguna por el apoyo para la elaboración de este artículo.

VI. REFERENCIAS

Abello. (2004). *Clave para la innovación tecnológica empresarial* . Pensamiento & Gestión, núm. 16. Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia., 28-42.

Alosani, M. S. , M., y Al-Dhaafri. (2020). *Un examen empírico de la relación entre la evaluación comparativa, la cultura de innovación y el desempeño organizacional utilizando modelos de ecuaciones estructurales.* The TQM Journal, 4(33), doi:https://doi.org/10.11, 930-964.

Aranda, H., Solleiro, J., Castañón , R., y Henneberry, D. (2008). *Gestión de la innovación tecnológica en pymes agroindustriales chihuahuenses*. . Revista Mexicana de Agronegocios, julio-diciembre, año/vol. XII, número 023.

Beber, J., y Trice, H. (1993). *La cultura de las organizaciones laborales.* Englewood Cliffs: Prentice Hall.

Bonilla Blanchar, E. E. (2011). *Cultura organizacional e innovación tecnológica en las instituciones públicas de educación superior.* Omnia, vol. 17, núm. 3, septiembre-diciembre., 86-98.

Castillo Malagón , R., y Alvarez Medina , M. (2021). *La Cultura de Innovación en pequeñas y medianas empresas. Una revisión usando indicadores bibliométricos.* 25 Congreso Internacional de Ciencias Administrativas. Universidad de Costa Rica.

Chávez Hernández, N. (2021). *Análisis de la cultura de innovación en Instituciones de Educación Superior*. Ciencia Administrativa, No. 2 ISSN-1870-9427.

Clark , B. (1998). *"Creando Universidades Emprendedoras: Caminos Organizacionales de Transformación.* United Kingdom: Elseiver Science Ltd, United Kingdom, Third Impression, 2001.

Cornejo C., M. (2009). *La cultura de Innovación*.Depósito Legal: M -14226-1995. ISSN: 1135 - 9420. Informes Técnicos Ciemat 1169.

Damanpour, F. (1987). *La adopción de innovaciones tecnológicas, administrativas y auxiliares: impacto de los factores organizacionales.* Journal of Management, 13., 675-688.

De La Torre, S. (1997). *Innovación educativa*. Madrid. Madrid: Dykinson.

De Montreuil, L., Gómez, G., y Da Costa, D. L. (2020). *Elementos de la cultura organizacional que fomentan el desarrollo de la innovación.* Revista de Administración FACES Journal, 19(1),, 8-26.

Fey, C., y Denison, D. (2003). *Cultura organizacional y efectividad: ¿se puede aplicar la teoría estadounidense en Rusia?.* Organization Science, 14(6)., 686-706.

FORBES México. (30 de Septiembre de 2021). Javier López Casarín. *Índice Global de Innovación 2021*. México, México. Obtenido de https://www.forbes.com.mx/indice-global-de-innovacion-2021-mexico-en-el-lugar-55/

Franco, J. A., y Garnica, E. (2020). *Gestión de la innovación en las instituciones de educación superior*. Signos. Investigación en Sistemas de Gestión, 13(1). doi:https://doi.org/10.15332/24631140.6338.

Freeman, C. (1975). *La Teoría Económica de la Innovación Industrial.* Madrid: Madrid, Alianza Editorial, 1975. Primera edición en España. 403 págs.

Gonzalez. (1992). *La Innovación: un factor clave para la competitividad de las empresas.* Confederación Empresarial de Madrid – CEOE. Alfonso González Hermoso de Mendoza (1992).

Gopalakrishnan, S., y Damanpour, F. (1997). *Una revisión de la investigación en innovación en economía, sociología y gestión tecnológica.* Omega. Volume 25, Issue 1, February., 15-28.

Hofstede, G. (1999). *Culturas y organizaciones*. Software of the Mind. New York: MacGraw-Hill.

Laredo, P. (2007). Revisando la tercera misión de las universidades: ¿hacia una categorización renovada de las actividades universitarias? . Higher Education Policy, No. 20., 441–456.

Martín , B., y Etzkowitz, H. (2000). *"El origen y evolución de la especie universitaria".* VEST,13 (3/4).

Miranda Zea, A., García Ponce de León, O., y Pérez Mora, R. (2016). *¿Qué papel juegan actualmente las universidades públicas en la transferencia de conocimiento y la innovación tecnológica?* La agenda emergente de las ciencias sociales. Conocimiento, crítica e intervención. Memorias del 5 Congreso Nacional de Ciencias Sociales.

Molas-Gallart, Salter, Patel, Scott , y Durán. (2002). *"Medición de las actividades de la tercera corriente".* SPRU, Brighton (U.K.).

Morcillo. (2007). *Cultura e innovación empresaria*l. La conexión perfecta.

OECD. (2010). *Estrategia de innovación de la OCDE: llevarle ventaja al mañana.* La Estrategia de Innovación de la OCDE: comenzar con ventaja para el mañana ISBN 978-92-64-084704 .

Oslo, M. (2005). *Directrices para la recopilación e interpretación de datos de innovación.* Manual Oslo: 3rd Edition, ISBN 9264013083,OECD/European Communities.

Pavón, J., y Goodman, R. (1981). *La planificación del desarrollo tecnológico* . Proyecto Modeltec. Madrid, CDTI-CSIC.

Peña, J. (2003). *La innovación como un fenómeno evolutivo: implicaciones para la economía y las políticas públicas asociadas*.Interciencia, 28 (6)., 355- 361.

Pulido , A. (2005). *La Innovación en el Siglo XXI*. (C. d. (CEPREDE), Ed.) Madrid.

Quintanilla, M. (2021). *Factores culturales de la Innovación Tecnológica.* Papeles de la economía española. N.º 169, 2021. ISSN: 0210-9107. «LA INNOVACIÓN, UN DESAFÍO INAPLAZABLE. Instituto ECYT - Universidad de Salamanca.

Quintanilla, M. A. (2000). *"Técnica y Cultura."*. Revista Teorema.

Sánchez , P. (2005). Una perspectiva de capital <intelectual. Universidad Autónoma de Madrid.

Schein, H. (1985). *Cultura organizacional y liderazgo.* . San Francisco: Jossey-Bass.

Schumpeter, J. (1997). *Teoría del desenvolvimiento económico:* Una investigación sobre ganancias, capital, crédito, interés y ciclo económico (Segunda ed.). . México DF: Fondo de Cultura Económica.: J. Prados Arrarte, Trans.

Sheen. (1992). *Barreras a la adquisición de conocimientos científicos y técnicos en I+D industrial.* R&D Management, 22, 135-143.

Soto Flores, M. D., y Medellin Cabrera , E. A. (2010). *La innovación y el empresario innovador en Drucker*. Congreso Internacional de Sistemas de Innovación para la Competitividad 2010, (págs. 1-19). Guanajuato de Salvatierra.

Tarapuez, O., y Parra . (2012). T*arapuez, ChaBurton Clark y su concepción acerca de la universidad emprendedora*,. Revista Tendencias de la Facultad de Ciencias.Consejo Mexicano de Ciencias Sociales.

Tylor, E. (1871). *Cultura primitiva: investigaciones sobre los desarrollos de la mitología, la filosofía, la religión y el lenguaje,* Art and Custom. Londres.

Valenti, P. (1999). *"Políticas para la innovación: algunas reflexiones desde los países en vías de desarrollo".* .Revista OEI. Sala de lectura. Edición electrónica.

Villaluz, V., y Hechanova, M. (2019). *Propiedad y liderazgo en la construcción de una cultura de innovación.* Leadership y Organization Development Journal, 40(2).. doi: https://doi.org/10.1108/LODJ-05-2018-0184, 138-150.

WIPO. (2022). *Índice Global de Innovación (2022).* Obtenido de What is the future of innovation-driven growth?15th Edition: https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo-pub-2000-2022-en-main-report-global-innovation-index-2022-15th-edition.pdf

VII. AUTORES

Laura Georgina González Pérez

https://orcid.org/0009-0002-3443-3990

Antonio Sanchez García

https://orcid.org/0009-0009-2859-4537

Palmira García Domínguez

https://orcid.org/0009-0004-4043-3385

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

Optimización de los Procesos de Capacitación y Operación del Personal del Departamento de Ama de Llaves en Cadena Hotelera

Martínez-Gaucín, M[1]; Ceceñas-Jacquez, M.I.[1]✉ ; Ceseñas-Cordero, M.G.[1]; Cuevas-Zapata, J.I.[1]; Guzmán-Ayala, A.L.[1]

Datos de Adscripción:
[1] Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico Superior Zacatecas Occidente. Avenida Tecnológica No. 2000, 99103, Col. Loma la Perla, Sombrerete, Zacatecas, México

✉ micecenas@itszo.edu.mx

Resumen **- Se desarrolla una investigación de enfoque mixto en un hotel base dentro del departamento de ama de llaves como prueba piloto y de acuerdo con los resultados analizar la pertinencia de reproducir las modificaciones en el resto de los hoteles del grupo. La metodología consistió en realizar un diagnóstico, identificación de problemáticas, elaborar y aplicar instrumentos de recolección de información (DNC y otros) dando como resultado ajustes en los procedimientos y en el programa de capacitación, así como seguimiento de indicadores del área de Ama de llaves. Los cuatro ejes de la investigación se centraron en: 1. Análisis y reestructura de procedimientos, 2. Detección de necesidades de capacitación, 3. Gestión de personal 4. Definición y establecimiento de indicadores clave para medición y seguimiento. El estudio tiene como objetivo la optimización de los procesos de capacitación y operación del departamento de ama de llaves. Se logran resultados significativos, incluyendo la adecuación del programa de capacitación, adecuación de procedimientos deficientes, una mayor satisfacción de los clientes, una reducción en los costos operativos gracias a una gestión de recursos más eficiente, y un aumento en la moral del personal gracias a una capacitación mejorada y procedimientos más claros. La optimización de los procesos de capacitación y operación del departamento de ama de llaves en el hotel ha demostrado ser una inversión valiosa, mejorando la experiencia del cliente y contribuyendo al éxito general del establecimiento.**

Palabras Clave **-** ***Indicadores clave, necesidades de capacitación, optimización de procesos, satisfacción del cliente.***

Abstract **- A mixed-methods research study was conducted in a hotel's housekeeping department as a pilot test and according to the results, the relevance of applying the modifications in the rest of the group's hotels. The methodology involved diagnosing current conditions, identifying problems, and developing information collection instruments (DNC and others). This resulted in adjustments to the procedures and the training program, as well as monitoring of indicators in the Housekeeping area. The four axes of the research focused on: 1. Analysis and restructuring of procedures, 2. Detection of training needs, 3. Personnel management 4. Definition and establishment of key indicators for measurement and monitoring. The study aims to optimize the training and operation processes of the housekeeping department. Significant results are achieved, including the adequacy of the training program, adjustment of poor procedures, increased customer satisfaction, a reduction in operating costs through more efficient resource management, and an increase in staff morale through improved training and clearer procedures. Optimizing the training and operation processes of the hotel's housekeeping department has proven to be a valuable investment, improving the guest experience and contributing to the overall success of the establishment.**

Keywords: **customer satisfaction, key indicators, process optimization, training needs.**

I. INTRODUCCIÓN

La investigación realizada tiene como objetivo la optimización de los procesos de capacitación y operación del departamento de ama de llaves en un hotel a manera de prueba piloto para una cadena hotelera, centrándose en mejorar la eficiencia, calidad y productividad de los servicios de hospedaje.

En el turismo entendido como "fenómeno social, cultural y económico que supone el desplazamiento de personas a países o lugares fuera de su entorno habitual por motivos personales, profesionales o de negocios" (Organización Mundial del Turismo, 2023), se compone en parte de la industria hotelera que juega un papel importante y tiene un impacto en el desarrollo de la economía global. La calidad de los servicios que se ofrecen en un hotel desempeña un papel fundamental en la satisfacción y lealtad del cliente. Para garantizar una experiencia positiva para los huéspedes, es esencial optimizar los procesos de capacitación y operación en el departamento de ama de llaves, que tiene un impacto directo en la limpieza y el mantenimiento de las habitaciones (Pizam & Ellis, 1999). El departamento de ama de llaves juega un papel fundamental en el establecimiento de estándares que permitan garantizar la calidad en los servicios de hospedaje, esto no es fácil derivado del papel del personal operativo y la necesidad de constante capacitación y supervisión como prioridad. La misión del Ama de llaves será atender con auténtico espíritu de servicio y hospitalidad a todos los clientes por igual, manteniendo limpias a conciencia las habitaciones y áreas públicas, y buscando en todo momento la mejor forma de atender las necesidades de los huéspedes durante su estancia en el hotel. (De La Torre García, 2015)

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

La mejora continua en la optimización de procesos en cualquier empresa es siempre necesaria, la hotelería no es la excepción, el ingreso cómodo, habitaciones limpias, ropa de cama impecable, el confort como enfoque principal permiten lograr mayor satisfacción en el cliente (Castañeda & Vázquez, 2023). De lo anterior la importancia de la estandarización y mejora, centrándose en los procesos de supervisión y capacitación para el personal del departamento de ama de llaves, así se generará un alto nivel de competitividad para los hoteles. El servicio es el resultado de la interacción de los tres elementos de base que son el cliente, el soporte físico y el personal. Este resultado constituye un beneficio que debe satisfacer la necesidad del cliente. Es indispensable que se realice una estrategia interna en la cual se identifiquen todos los puntos a mejorar, comunicar todo lo que se va a hacer para que todos trabajen de forma armónica, hacia la consecución del objetivo final (Del Toro, 2022). Es importante profundizar en los procesos de capacitación en el turismo para afrontar los retos de un mundo globalizado y ser competitivos, alcanzar indicadores clave y lograr la satisfacción del cliente (Salinas y Mundet, 2019).

La falta de estandarización de procedimientos, escasez de capacitación y desarrollo, comunicación ineficaz e insuficiente evaluación del rendimiento representan la mayor problemática identificada y se ha presentado a lo largo de varios años en el departamento de ama de llaves, es por lo que se establecen diferentes estrategias para solucionar dicha problemática. De ahí hacer un análisis exhaustivo de los procesos actuales del departamento de ama de llaves del hotel, para partir hacia las demás actividades que contemplan la supervisión de realización de los cursos y certificaciones de la plataforma del hotel, monitoreo constante de la plataforma Medallia (plataforma interna de comentarios, quejas y sugerencias de los huéspedes), aplicar una DNC que se explica como el “Inventario de las necesidades de capacitación que se deben satisfacer, estas necesidades pueden ser pasadas, presentes o futuras” (Chiavenato, 2002), de acuerdo con los resultados elaborar un plan de capacitación mensual, establecer y definir el cronograma de actividades, posteriormente establecer indicadores clave de desempeño (KPI'S) y métricas para evaluar la eficacia de los procesos de capacitación, luego de recopilar toda la información plasmarla en un cuadro de mando de gestión mensual, elaborar calendarios de limpiezas profundas y rotación de colchones y actualizar las plataformas correspondientes, para finalizar hacer un reporte final a manera de exposición y presentar al comité del hotel.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

De acuerdo a la problemática identificada se establece una serie de pasos interconectados que permiten ir desde un diagnóstico hasta el establecimiento y verificación de indicadores para la optimización de los procesos.

2.1 Entrevista a colaboradores y jefa de departamento

El primer paso o etapa consiste en el establecimiento de un instrumento para colaboradores y otro para la jefatura. Se diseñan 8 y 10 elementos de análisis que van desde la claridad de diferenciación de funciones, la equidad en asignación de tareas, el apoyo recibido para mejoramiento del trabajo hasta asignación de recursos y programación de capacitaciones anuales. Eso permitió generar un diagnóstico de partida que permite analizar los procesos actuales.

2.2 Análisis de procedimientos actuales

En reunión con la parte directiva del hotel se identifican los principales procedimientos desarrollados por los colaboradores del departamento de ama de llaves, para su análisis y medición se establece una lista de revisión para conocer el nivel de cumplimiento complementado por la observación directa.

2.3 Seguimiento en el cumplimiento de cursos de liga

La organización al pertenecer a una cadena hotelera debe cumplimentar con una serie de cursos de capacitación que están disponibles en una plataforma especializada, pero no todos los colaboradores han completado su ciclo de cursos obligatorios, así como tres certificaciones con enfoque en servicios.

2.4 Obtención de retroalimentación y monitoreo de satisfacción del cliente

La cadena tiene establecida una plataforma digital donde se concentran las encuestas de satisfacción de los clientes, así como el registro permanente de quejas y sugerencias por parte de los clientes. Esta etapa consistió en sistematizar toda la información de esta plataforma para tener un punto de partida sobre la percepción de los huéspedes respecto del servicio, desglosado en los diferentes procedimientos. Se revisa que se aplique la encuesta a una muestra representativa de los huéspedes de forma permanente para la significancia de los datos.

2.5 Realización de DNC (Detección de necesidades de capacitación)

La DNC puede aplicarse desde tres puntos de análisis: organizacional, de las operaciones y de los recursos humanos, proveyendo información puntual sobre los déficits existentes en los colaboradores que pueden ir desde conocimientos, habilidades y actitudes (Chiavenato, 2007). Se parte de la utilidad de esta herramienta para identificar necesidades de capacitación asociadas al personal del departamento de ama de llaves no contempladas en los cursos de liga y generar un informe para proponer un programa de capacitación complementario.

2.6 Programa de capacitación

De acuerdo con los resultados de la DNC y de forma analítica puede generase un adecuado programa de capacitación y desarrollo (Grados, 2009). Se elabora un programa de capacitación mensual para los colaboradores del departamento, en donde se abordan los cursos de liga, además de capacitaciones prácticas. Dichas capacitaciones son abordadas en conjunto con el gerente y la jefa de departamento.

2.7 Establecimiento de indicadores clave de desempeño para evaluación del resultado de la capacitación

Una adecuada capacitación es el resultado del "proceso que fortalece los conocimientos, habilidades y actitudes de las personas de una organización, a fin de contribuir en el logro de los objetivos de la misma" (Moyano González, 2014). Con base en lo anterior se establecen tres indicadores principales para medir el nivel de desempeño de los resultados de la capacitación: 1. Nivel de satisfacción del colaborador, 2. Cumplimiento de estándares de limpieza, 3. Índice de satisfacción del cliente. El indicador uno mide la reacción de los colaboradores respecto a la utilidad y eficiencia de la capacitación recibida. El indicador dos mide los resultados de la capacitación traducidos en habitaciones limpias y entregadas en tiempo y forma para ser ocupadas por los huéspedes. Finalmente, el indicador tres mide la percepción del cliente respecto a si se siente satisfecho o no con el servicio de hospedaje desde la propia habitación hasta el trato del personal vinculado a la atención al huésped.

2.8 Cuadro de mando de gestión de RH

Se realiza un informe mensual durante un periodo de cuatro meses mediante un cuadro de mando de gestión, en dónde se plasma a grandes rasgos los resultados obtenidos al recabar la información para medir los diferentes indicadores clave de desempeño, este informe se presenta cada mes al gerente del hotel para su revisión y en su defecto ajustes a las acciones de optimización de procesos basados en la capacitación.

2.9 Evaluación y revisión de las acciones implementadas

Como actividad final se revisan y evalúan todas las tareas implementadas durante el periodo de cuatro meses. La finalidad es calibrar las acciones a fin de alcanzar las metas de los indicadores. De esta forma el hotel cuenta ya con una herramienta que puede aplicar de forma sistemática en el resto de los hoteles de la cadena.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan los resultados más representativos partiendo de la metodología. Se toma la totalidad del personal del departamento que son 7 colaboradores por lo que la información contenida es un censo y no requiere un cálculo de muestra. Los softwares utilizados para el tratamiento de la información fueron la plataforma Google Forms y Excel. En cuanto a los huéspedes no se tiene acceso a la información sensible (sólo autorizada para directivos) que implica la cantidad de personas que contestaron las encuestas de satisfacción, pero cabe resaltar que automáticamente al realizar el registro de una habitación el huésped recibe las encuestas de forma digital al registro de su salida (check out) por lo que podría considerarse también un censo, los concentrados de las encuestas se obtiene de una plataforma interna propia del corporativo. Las mediciones que se presentan se realizan con respecto a procedimientos del departamento, conocimiento y dominio de funciones de los colaboradores, satisfacción de la capacitación por parte de los colaboradores y satisfacción general de los huéspedes en función del servicio recibido durante su estancia.

Los procedimientos identificados son: Limpieza de habitaciones, mantenimiento preventivo y correctivo de habitaciones, manejo y seguimiento a mobiliario, entrega de habitaciones y registro de quejas o sugerencias. Los procedimientos no pueden ser modificados derivado del hecho de ser definidos por el corporativo, pero si se puede optimizar y complementar.

3.1 Análisis y reestructura de procedimientos

Como primera etapa del estudio se llevó a cabo una identificación, revisión y evaluación de los procedimientos presentes en las operaciones de ama de llaves. En la Tabla 1 se observa la existencia de ocho procedimientos esenciales basados en la ocupación de las habitaciones, responsable del procedimiento, escala de evaluación que va de 0 a 10 considerando un cuestionario de cumplimiento según la operación. En la última columna se identifica si el procedimiento requiere o no reestructura en función de la calificación, considerando que aquellos procedimientos con calificación menor a 7 requieren de la reestructura al no alcanzar estándares básicos de cumplimiento para la satisfacción del cliente. Se puede observar en esta Tabla 1 que tres de los ocho procedimientos demanda atención de cambios o mejoras.

Tabla 1
Evaluación de procedimientos de ama de llaves

Procedimiento	*Responsable*	*Evaluación*	*Requiere reestructura*
1. Asignación de habitaciones	Jefe de ama de llaves	8.5	No
2. Revisión de habitaciones	Supervisor de ama de llaves	9.3	No
3. Limpieza de habitación VSS (Vacía sucia-salida)	Camarista	9.0	No
4. Limpieza de habitación OS (Ocupada-sucia)	Camarista	9.1	No
5. Limpieza de habitación NO (No ocupada)	Camarista	9.6	No
6. Reporte de incidencia	Camarista	5.9	Si
7. Atención de mantenimiento	Mantenimiento	6.9	Si
8. Revisión y repuesto de blancos	Camarista	6.5	Si

Cabe mencionar que solo existen ocho procedimientos identificados, pero se proponen cuatro nuevos en función de los resultados de las evaluaciones y las necesidades operativas y de satisfacción de los clientes.

A. Asignación y limpieza de áreas públicas.

Realizar una distribución de áreas públicas como baños de lobby, pasillos, lobby, entre otros en función del procedimiento 1 siendo asignado a camaristas con menor volumen de habitaciones en responsabilidad. La forma de abordar el

procedimiento sería con el rol interno mensual de asignación, este rol ya existente agregaría como otro elemento de asignación y limpieza las áreas comunes.

B. Priorización en limpieza.

De acuerdo a las necesidades de ocupación establecer un orden de limpieza que permita hacer más efectiva la limpieza.

- Hotel con alta ocupación:
  1. Habitaciones vacías y sucias
  2. Habitaciones ocupadas con preferencia
  3. Habitación ocupada en el día
  4. Habitación ocupada con orden de salida en el día.

- Hotel con baja ocupación:
  1. Habitaciones ocupadas con preferencia
  2. Habitaciones ocupadas en el día
  3. Habitaciones vacías y sucias
  4. Habitación ocupada con orden de salida en el día

C. Bitácora de sucesos.

Establecer y llenar los formatos de: Reporte de camaristas, reporte de discrepancias, inspección de habitaciones, orden de reparación urgente, conteo de blancos a camarista, reporte de bajas y pérdidas, etiquetado de objetos olvidados. Los formatos mencionados no existen en el hotel, siendo una de las mejoras propuestas, pero que quedan sujetas a la revisión y autorización del corporativo que tarda de dos a tres meses en dar respuesta, es por lo que no se puede presentar un resultado de aplicación y evaluación coincidente con el periodo de desarrollo de la investigación.

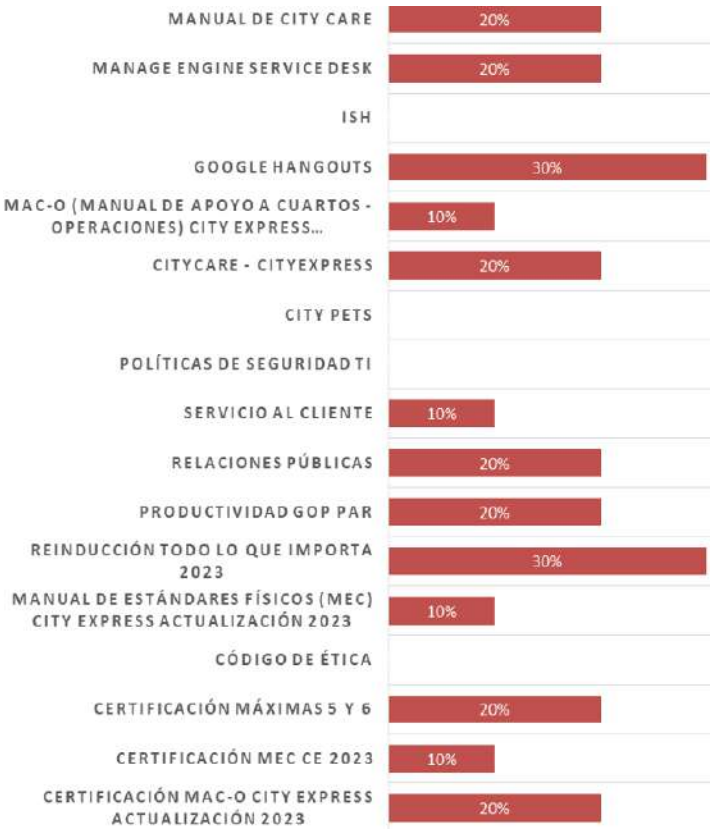
D. Rotado de colchones.

Cada colchón de cada habitación contiene unas etiquetas que marcan los meses que debe de permanecer el colchón por cada lado, asignar roles entre los colaboradores para rotar los colchones. Se propone además del rol de personal asignado a la rotación medir la eficiencia de esta medida en cuanto a ahorro de costos y continuidad o mejoraría de la satisfacción general del huésped.

3.2. Seguimiento en el cumplimiento de cursos de liga

De acuerdo al cumplimiento de los cursos de liga obligatorios se muestra en la Figura 1 el inicio del estudio en el que los niveles de cumplimiento de los cursos y certificaciones son de bajo nivel entre el 10% y 30% como máximo.

Figura 1
Porcentaje de cumplimiento de cursos y certificaciones antes



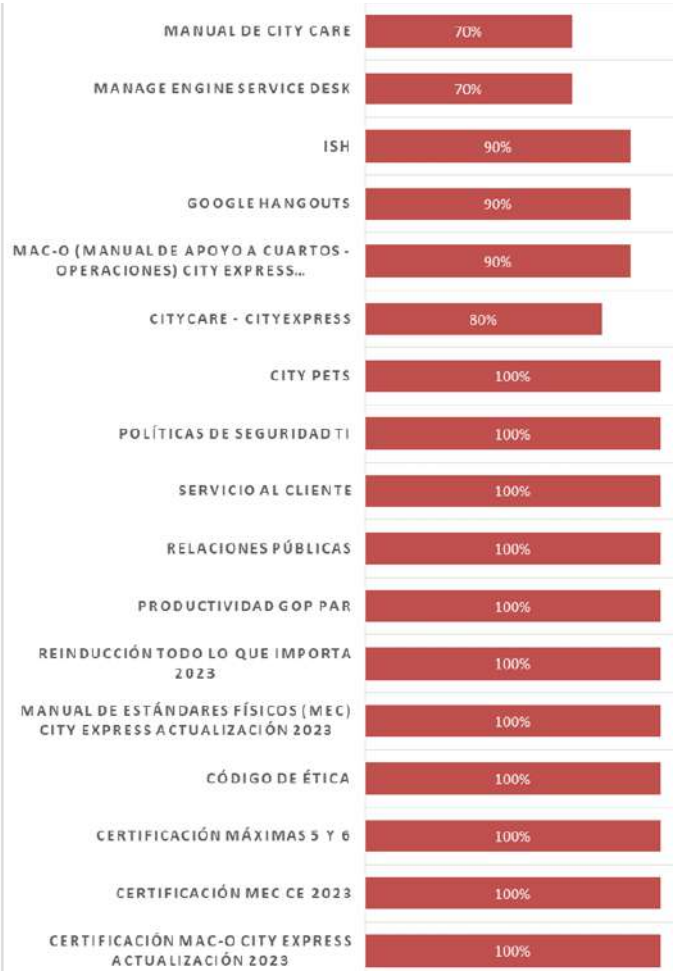
Por otra parte, en un comparativo del antes y el después en la Figura 2 se puede observar el avance en el logro de los cursos de liga pasando de lograr cumplimientos del 10% al 30% a cumplimiento del 70% al 100%, donde la mayoría de estas capacitaciones se han completado en su totalidad.

El logro de este resultado obedece tanto a la DNC como a los requerimientos por parte del corporativo siendo necesario crear un equilibrio entre las necesidades externas e internas.

Es importante resaltar que los últimos resultados que alcanzan el 100% están en función de los cuatro meses que dura el periodo de investigación, pero con mayor cantidad de tiempo disponible y un seguimiento adecuado se logrará que los primeros seis rubros alcancen el 100%. Un de las principales dificultades que no permiten alcanzar la meta, recae en la inconsistencia en la plantilla laboral, eso derivado de un alto índice de rotación de personal, principalmente en los meses de noviembre y diciembre, donde cabe resaltar uno de los motivos de separación del puesto es la deficiencia o falta de capacitación.

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

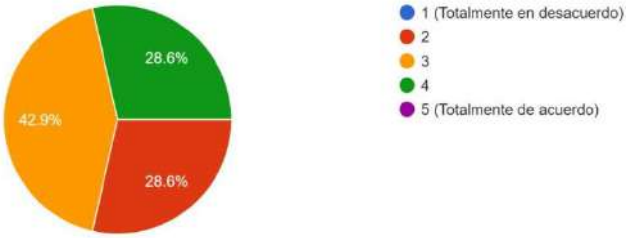
Figura 2
Porcentaje de cumplimiento de cursos y certificaciones después



3.3 Resultados de la DNC

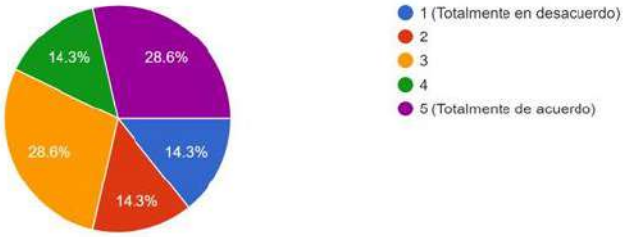
Participaron siete colaboradores directos del departamento de ama de llaves. Como se observa en la Figura 3 que el 42.9% opina que tiene un nivel intermedio en cuanto a conocimiento, el 28,6% tiene un grado más que el puntaje menor y el otro 28.6% está un grado antes que el puntaje mayor. El indicativo es que el nivel de dominio de conocimientos de políticas y procedimientos del departamento de ama de llaves es de medio a poco.

Figura 3
Nivel de conocimientos de las políticas y procedimientos del departamento de ama de llaves.



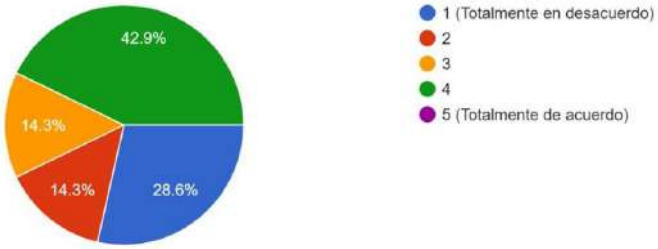
En la Figura 4 se presentan los resultados de la opinión que tienen los colaboradores en cuanto a los conocimientos que poseen de las políticas y procedimientos del departamento. El 42.9% opina que tiene un nivel intermedio en cuanto a conocimiento, el 28,6% tiene un grado más que el puntaje menor y el otro 28.6% está un grado antes que el puntaje mayor. Concluyendo que la mayoría de los colaboradores no tienen los conocimientos necesarios de las políticas y procedimientos del departamento.

Figura 4
Nivel de dominio de habilidades efectivas en el personal de ama de llaves para la limpieza de habitaciones.



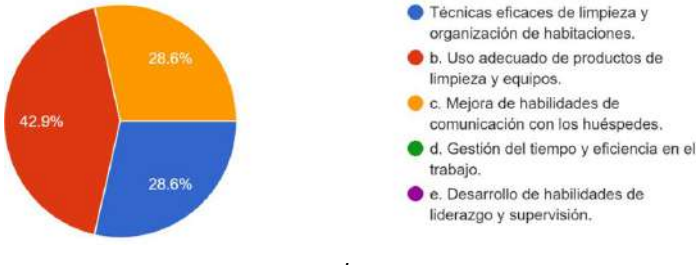
Dentro de la Figura 5 se observa que el 42.9% señala que tiene buenas habilidades de comunicación, pero no son la mayoría, por lo tanto, el 57.1% se encuentra en un nivel medio hacia abajo, lo que hace evidentemente los colaboradores requieren de mejorar sus capacidades comunicativas mediante capacitación.

Figura 5
Nivel de dominio de habilidades de comunicación con huéspedes y miembros del equipo.



En la Figura 6 se muestra los resultados de la opinión de los colaboradores en cuanto a temas de capacitación que necesitan o les gustaría recibir, a lo que el 42.9% menciona que le interesan los temas relacionados con el uso adecuado de los productos de limpieza y equipos siendo su mayor preocupación o necesidad real en el entorno de trabajo, le sigue con el 28.6% el interés por dominar técnicas eficaces de limpieza y organización en las habitaciones así como habilidades de comunicación con los huéspedes, estrechamente relacionados los tres temas resaltan el enfoque a resultados que tienen los colaboradores, esto permite centrar los esfuerzos del plan de capacitación en las necesidades reales tanto del personal como de los propios procedimientos del área.

Figura 6
Temas de interés para capacitación del personal de ama de llaves.



3.4 Programa de capacitación

Tomando como base las necesidades de capacitación y las deficiencias en los cursos de liga se genera una propuesta de programa de capacitación que se realiza de forma mensual para poder medir la eficiencia. Como se observa en la Figura 7 se presenta un ejemplo de programa de capacitación correspondiente al mes de septiembre, esta toma en consideración el curso(s), instructor(es), tiempo estimado de la capacitación junto con su distribución en sesiones, participantes, así como la temática y fines de aprendizaje. En cada mes del periodo se aplica un programa particular que con base en la DNC y revisión de cursos de liga se genera la propuesta de capacitación mensual.

Figura 7
Ejemplo de programa de capacitación mensual

PROGRAMA DE CAPACITACIÓN MENSUAL					
NOMBRE DEL CURSO	Cultura y promesa de marca	**INSTRUCTOR(ES)**	Jefe de departamento Auxiliar de capacitación	**NÚMERO DE SESIONES**	3
PERFIL DE LOS PARTICIPANTES	Camaristas, personal de áreas públicas y lavandería.	**FECHA Y LUGAR**	Septiembre/2023 Aguascalientes, Ags.	**DURACIÓN TOTAL (Horas)**	9
OBJETIVO DE APRENDIZAJE	Retroalimentar conocimientos básicos sobre la cultura organizacional, posición de marca; además de asimilar el conocimiento y habilidades del procedimiento de limpieza a profundidad.				

NUMERO	TEMAS	OBJETIVOS PARTICULARES
1	Certificación MAC-O Hotel Actualización 2023	Validar el grado de dominio, a fin de garantizar el cumplimiento de la promesa de marca en la operación y asesoramiento a los colaboradores
2	Certificación MEC CE 2023	Validar el grado de dominio de los estándares de marca en el área de calidad y servicio.
3	Certificación Máxima 5 y 6	Reforzar los conocimientos de las máximas 5 y 6 como parte de la cultura organizacional del hotel, para lograr entendimiento y aplicación de las mismas en la labor diaria.
4	Código de ética	Conocer las funciones del comité de ética como órgano de consulta y asesoría dedicado a coadyuvar en la aplicación y cumplimiento del código de ética.
5	Manual de estándares físicos (MEC) A. 2023	Dar a conocer la actualización del manual de estándares físicos de la marca, para alcanzar la meta de lograr una atmosfera distinguida y diferente, logrando un cliente altamente satisfecho.
6	Reinducción todo lo que importa 2023	Actualización de los conocimientos referentes a lo más importante e indispensable en todas las áreas y departamentos.
7	Limpieza profunda	Actualizar los conocimientos necesarios para priorización y limpieza profunda de acuerdo a si es baja o alta ocupación.

Con estos programas mensuales se logra obtener el cambio y avance en los indicadores de capacitación que se observan en el comparativo de las Figuras 1 y 2 referente a los cursos y certificaciones de cursos de liga, logrando con esta acción pasar de indicadores del 10% al 30% a indicadores de cumplimiento del 70% al 100% en la mayoría de los rubros de interés para la empresa.

3.5 Establecimiento cuadros de mando de gestión

En función de las actividades desarrolladas desde el análisis y reestructura de procedimientos, revisión y seguimiento de cursos y certificaciones de liga, así como la DNC permiten generar los programas de capacitación mensual, pero para poder medir la eficiencia y guiar las decisiones del área de ama de llaves se proponen los cuadros de mando de gestión mensual que permiten tener el pulso de los principales indicadores establecidos con base en las acciones anteriores.

Como se puede observar en la Figura 8 se presenta la estructura de esta herramienta dividida en conocer el nivel de satisfacción del colaborador en función de la evaluación de la capacitación recibida, se establece un KPI y un instrumento para su medición, en este caso la satisfacción medida por encuestas de reacción-satisfacción, a su vez se contrapone con la meta propuesta y su resultado real. En este ejemplo se revisa un alcance del 42.9% que logra la meta de alcance de aprobar con cinco estrellas y el restante con cuatro estrellas; a pesar de no lograr alcanzar las cinco estrellas por parte de los colaboradores, todos aprueban la capacitación. La siguiente parte del cuadro mide la satisfacción de los clientes, estos se miden mediante plataformas digitales algunas propias de la organización y otras vinculadas, pero en este caso se observa la medición de comentarios en línea que logran un 4/5 cuando la meta era 5/5, pese a no lograr el 100% de la meta el avance está cerca de ello. En el segundo indicador mide la retroalimentación directa quedando evidenciado que 9 de cada 10 clientes se encuentran satisfechos.

Figura 8
Ejemplo de cuadro de mando de gestión mensual

Nivel de satisfacción del colaborador		
	Meta	Resultado
Encuestas de satisfacción	El 100% de los colaboradores califican con 5 estrellas.	El 42.9% califica con 5 estrellas y el 57.1% con 4.
Índice de satisfacción de servicio al cliente		
	Meta	Resultado
Comentarios en línea	5/5 calificados positivamente.	4/5 calificados positivamente.
Retroalimentación directa	10 de cada 10 clientes están satisfechos con el servicio ofrecido.	9 de cada 10 huéspedes están satisfechos con el servicio recibido.
Cumplimiento de estándares de limpieza		
	Meta	Resultado
Auditorías internas	Cumplimiento 100%	Cumplimiento 90%
Inspecciones externas	Cumplimiento 100%	Cumplimiento 90%

En la última parte de este cuadro de mando de gestión se miden los estándares de limpieza que están alineados a los manuales de estándares propios de la organización a nivel corporativo. En este caso las metas son el cumplimiento del 100% comparado

con un resultado del 90%, existiendo aún trabajo por hacer. Es conveniente resaltar que conforme avanzaron los meses la mayoría de los indicadores tuvieron tendencias de crecimiento, este indicador que requiere de atención fue subsanado con el tema 7 del programa de capacitación mensual que contempla la limpieza profunda, respondiendo con ello a la mejora continua.

3.6 Evaluación de los KPI y acciones implementadas

Para identificar el impacto de las acciones implementadas para incrementar la eficiencia de las operaciones y posicionamiento de la organización frente a los huéspedes se realiza una medición en diferentes plataformas de la satisfacción del cliente. En la Figura 9 se muestran el resumen de los comentarios de los huéspedes de todos los sitios web en donde se califica al hotel, donde ya se consideran los procedimientos modificados de Ama de llaves, dicho resumen va del mes de septiembre al mes de diciembre, se puede notar que la mayoría de los huéspedes califican de 4 a 5 estrellas, por lo que se identifica que de cada 5 huéspedes 4 califican positivamente el servicio del hotel, siendo un indicador positivo de la satisfacción general.

Figura 9
Extracto de resumen de comentarios de clientes en plataformas web

En la Tabla 2 se muestran los resultados cuantificables de la calificación del servicio del hotel en todos los sitios web, como se puede observar en los meses de septiembre, octubre y noviembre hay un incremento del 20% en la calificación, sin embargo, en el mes de diciembre disminuye la calificación en un 15% en comparación al mes anterior.

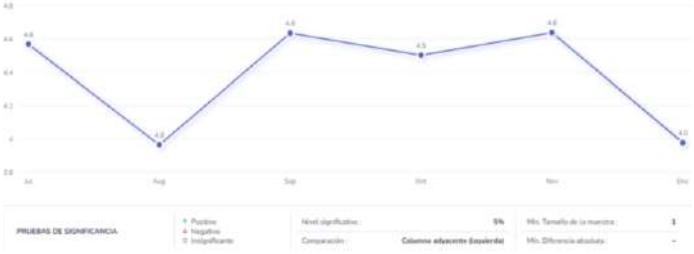
Tabla 2
Resumen de evaluación del hotel en todos los sitios web

Sitito Web	*Jul.*	*Ago.*	*Sep.*	*Oct.*	*Nov.*	*Dic*	*Total*
Booking	4.5	4.1	4.5	4.7	4.3	3.9	4.4
Google	4.7	4.3	4.8	4.2	5.0	4.2	4.4
Expedia	4.7	3.6	5.0	-	5.0	3.6	3.9
Hotels	4.0	1.0	-	-	5.0	-	2.8
Marriot V	-	3.5	-	-	-	-	3.5
TripAdvisor	-	4.0	-	-	-	-	4.0

En la Figura 10 se muestra el resumen de los resultados de la Tabla 2, como se menciona anteriormente se puede observar en los meses septiembre, octubre y noviembre un incremento, pero en el mes de diciembre un decremento.

Esta medición toma en cuenta las páginas de aterrizaje que direccionan al hotel, permiten ver el nivel de aceptación, los meses que aparecen sin calificación obedecen a que durante ese mes no hubo suficiencia de datos para generar la calificación, pero ello no depende del departamento de ama de llaves, sino del área de ventas que no logró colocar suficientes habitaciones con los clientes teniendo una tasa de ocupación baja, esencialmente de septiembre a diciembre que es considerado como temporada baja.

Figura 10
Resumen de resultados de mejoría en satisfacción general de clientes



Los resultados de las figuras y gráficas anteriores permiten generar un informe final en donde se lleva a cabo un análisis de los resultados obtenidos para verificar si los objetivos previstos al inicio se están cumpliendo, a lo que en resumidos términos, los primeros 3 meses se incrementa considerablemente el nivel de satisfacción del cliente, sin embargo, en el último mes disminuye, cabe resaltar que los resultados se pueden ver afectados los últimos dos meses (noviembre y diciembre) por la rotación de personal en el departamento, donde el índice fue de 40%.

De los tres indicadores contemplados para medir el resultado de las acciones de mejora abordadas en esta investigación se considera que el 2 (Cumplimiento de estándares de limpieza) ha logrado representar mejoras al incrementar el porcentaje de los cursos de línea y el fortalecimiento del curso “limpieza profunda” y sobre todo el 3 (Índice de satisfacción del cliente) se ha mantenido y mejorado al evidenciar mediante los propios comentarios de huéspedes sistematizados en tablas y gráficas. Cabe resaltar que solo el indicador 1 (Satisfacción de los colaboradores) desafortunadamente no es posible mejorarlo como se deseaba, las razones son diversas, pero entre las de mayor peso se encuentran las limitaciones que representan las políticas corporativas que no permiten modificar sustancialmente procedimientos o funciones, donde los colaboradores deseaban modalidades de capacitación diferentes para sentirse más cómodos.

IV. CONCLUSIONES

Las acciones implementadas a manera de programa piloto resultaron ser positivas y de importancia para el hotel, se llevan a cabo diferentes actividades que ayudan a incrementar la productividad del hotel, dicho de otra manera, las actividades realizadas e implementadas tienen gran impacto sobre todo en el departamento de Ama de llaves, los colaboradores están satisfechos con la mayoría de las actividades e incluso se les ve animados en algunas de ellas.

Los resultados logrados son positivos y se cumple con el objetivo principal que es cambiar los procesos que se vienen trabajando desde hace años en el departamento, se implementa un plan de capacitación que ayuda directamente en la formación laboral de los colaboradores, además de que se arraiga de alguna manera el uso de la plataformas de capacitación propias del corporativo que es de gran importancia para el aprendizaje de los colaboradores, ya que por medio de dicha plataforma la cadena da a conocer los temas más relevantes que los colaboradores del departamento deben saber y deben estar al tanto, estos temas se están actualizando constantemente, aunado a la DNC desarrollada permite proveer al colaborador de las herramientas necesarias para lograr su máximo potencial, pero también se refleje en la productividad general del hotel y la satisfacción de los clientes.

Algunas limitaciones que se tuvieron a lo largo del periodo fue la falta de acceso a la información sensible que no permite tener un panorama completo, la imposibilidad de modificar procedimientos reglamentados por el corporativo, la alta rotación de personal durante los últimos dos meses, esto trae consigo diferentes escenarios en los cuales no se puede interferir directamente porque no está dentro del alcance, sin embargo y a pesar de dichos obstáculos el plan diseñado desde el inicio se lleva a cabo, y se logran resultados satisfactorios.

Es necesario que el hotel dé seguimiento a las acciones implementadas para garantizar la fiabilidad de los resultados en esta estructura propuesta y lograr su consolidación, poder con ello presentar al corporativo y revisar la posibilidad de reproducir las acciones y modificaciones contenidas en esta prueba piloto que mejoren el resultado global de la cadena.

V. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Tecnológico Nacional de México y al Instituto Tecnológico Superior Zacatecas Occidente, por el acceso a los medios proporcionados para la realización de este estudio, esencialmente los relacionados con los aspectos técnicos y de recursos intelectuales.

De la misma manera agradecer a la cadena de hoteles y su hotel Aguascalientes Sur y al personal colaborador, especialmente al Lic. Cuauhtémoc Cárdenas Morales y colaboradores pertenecientes al departamento de ama de llaves por ofrecer las condiciones para desarrollar esta investigación, atender las solicitudes de información.

VI. REFERENCIAS

Castañeda, G. D. F., & VÁZQUEZ, J. I. C. (2023). *Propuesta de mejora continua en procedimientos de ama de llaves.*

Chiavenato, I. (2007). *Capacitación y desarrollo del personal*. En Administración de los recursos humanos (pp. 385-415). McGraw Hill.

Chiavenato, I. (2002). *Diagnóstico de necesidades en la capacitación*. Gestión del talento humano. Editorial Mc Graw Hill.

De La Torre, M (2015) Manual de funciones camarera [Archivo PDF]. https://conalepmorelos.edu.mx/temixco/actividades/descargas/camareras.pdf

Del Toro Soto, M., & Sánchez, L. J. (2023). *Turismo y capacitación: dinámicas actuales*. Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina, 11(3), 139-149.

Grados Espinosa, J. A. (2009). *Capacitación y desarrollo de personal*. Editorial Trillas.

Moyano González (2014). *Capacitación bajo enfoque sistémico.* Editorial Trillas.

OMT-UN, Turismo (15 de octubre de 2023). *Glosario de términos*. https://www.unwto.org/es/glosario-terminos-turisticos

Pizam, Abraham and Ellis, Taylor (1999). *Customer Satisfaction and its Measurement in Hospitality Enterpreses*. International Journal of Comtemporary Hospitality Management. 1(7), 326-339.

Salinas Chávez, E. & Mundet I Cerdan, L. (2019*). El turismo en Cuba: Desarrollo, retos y perspectivas*. Rosa dos Ventos,11 (1), 23-49.

VII. AUTORES

Maribel Martínez Gaucín
https://orcid.org/0009-0001-3013-0290

Marco Iván Ceceñas Jacquez
https://orcid.org/0000-0001-8545-8798

María Guadalupe Ceseñas Cordero
https://orcid.org/0000-0002-2863-617X

Jessica Ivón Cuevas Zapata
https://orcid.org/0000-0002-0339-5170

Ana Laura Guzmán Ayala
https://orcid.org/0000-0001-6047-5786

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

Vigilancia Estadística: Clave para una Calidad Sólida

De La O-Franco, L.Y.[1]✉ ; Muñoz-Ponce, V.[1].

Datos de Adscripción:
[1] Tecnológico Nacional de México/Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli; Av. Nopaltepec s/n, fracción La Coyotera del Ejido San Antonio Cuamatla, C.P. 54740, Cuautitlán Izcalli, Estado de México, México.
✉ 233111058@cuautitlan.tecnm.mx

Resumen **- El control estadístico de procesos se constituye como un socio estratégico para la industria en la búsqueda de la calidad ideal. Esta herramienta permite detectar y corregir desviaciones en los procesos, garantizando la consistencia del producto final. Así, el estudio sigue al objetivo de demostrar que la búsqueda de la mejora continua mediante la implementación del Control Estadístico de Procesos es de vital importancia para garantizar la calidad de la producción en un caso real.**
La metodología se basa en la revisión sistemática de datos estadísticos primarios y la recopilación exhaustiva de información relevante relacionada con los distintos aspectos del proceso, el estudio emplea cartas de control para evaluar el proceso industrial.
Los resultados señalan que, aunque la tendencia inicial parece controlada, la variabilidad supera lo deseado, lo que afecta la consistencia del producto. Además, el proceso requiere mejoras para cumplir fiablemente con los estándares de calidad. Subrayando que, al implementar un sistema de vigilancia estadística sólida, la empresa puede identificar y corregir desviaciones a tiempo, garantizando la satisfacción del cliente interno y externo.
En definitiva, los resultados sugieren que el proceso podría no estar cumpliendo de manera satisfactoria con las especificaciones dictadas por la dirección y el departamento de calidad. Estas conclusiones destacan la necesidad de tomar medidas para mejorar la estabilidad y capacidad del proceso, garantizando así la calidad y consistencia del producto o servicio final.

Palabras Clave **- Calidad, Desviaciones, Industria, Mejora continua, Metodología, Variabilidad.**

Abstract **- Statistical Process Control (SPC) serves as a strategic partner for the industry in the pursuit of optimal quality. This tool facilitates the detection and correction of deviations in processes, ensuring the consistency in the final product. The study aims to demonstrate that pursuing continuous improvement through the implementation of SPC is vital importance for maintaining production quality in real-world scenarios.**
The methodology is based on a systematic review of primary statistical data and the comprehensive collection of relevant information regarding various aspects of the process. Control charts are utilized to evaluate the industrial process.
Results indicate that while the initial trend appears to be under control, variability exceeds the desired level, which affects the consistency of the product. Additionally, the process requires improvements to reliably meet quality standards. By implementing a robust statistical monitoring system, the company can identify and correct deviations promptly, ensuring the satisfaction of both internal and external customers.
In conclusion, the findings suggest that the process may not be adequately meeting the specifications set by management and the quality department. These results highlight the need for measures to improve the stability and capability of the process, thereby ensuring the quality and consistency of the final product or service.

Keywords **- Continuous improvement, Deviations, Industry, Methodology, Quality, Variability**

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente muchas empresas manejan el término de Mejora Continua como un concepto esencial dentro de su actuar y gestión diaria, las organizaciones saben que el mercado actual es competitivo, por lo tanto, se deben adaptar a los cambios tecnológicos y adoptar metodologías o técnicas internas que les permitan mantenerse o inclusive sobresalir en el mercado.

A lo largo de la historia, el concepto de "empresa" ha experimentado cambios significativos en su percepción y función, lo cual refleja una evolución en la comprensión del término.

En el ámbito laboral, la Ley Federal del Trabajo, en su artículo 16, considera a la empresa como la unidad económica que tiene objetivos propios: "para los efectos de las normas de trabajo, se entiende por empresa la unidad económica de producción o distribución de bienes o servicios" (Congreso de los Estados Unidos Mexicanos, 2022). Dentro de esta definición se incluyen desde pequeños negocios hasta grandes corporaciones, mostrándose como los cimientos para regular las relaciones laborales, los derechos y obligaciones de empleadores y trabajadores dentro de un contexto empresarial.

Para alcanzar sus objetivos, es frecuente que se empleen estrategias y acciones específicas, tales como: la planificación estratégica, la gestión eficiente manejando los recursos, la inversión en tecnología e innovación, el marketing, la atención al cliente; y en los últimos años, a esta lista se ha incorporado el compromiso con la comunidad y el entorno.

Para Zacarías Torres (2014), como para muchos otros autores estratégicos, los objetivos y su alcance suponen un factor determinante para las empresas. "La administración estratégica encuentra una primera crítica de consideración en este apartado

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

encargado de la formulación de objetivos… son los resultados específicos que una empresa intenta lograr para cumplir con su misión básica" (2014, pp. 159) lo que conlleva trabajos con calidad y eficiencia en su productividad.

La perspectiva empresarial actual, independientemente de la especialización de éstas, demandan profesionales especializados que manejen conocimientos en estadística para enfrentar los retos y desafíos que se presentan en sus respectivos campos y que la empresa sea más competente al cumplir con sus objetivos y llevar a buen camino sus estrategias de mejora. Sin embargo, a pesar de los beneficios que ofrece la estadística, su adopción en la mayoría de las empresas enfrenta diversos obstáculos, siendo uno de los principales desafíos a enfrentar: la cultura organizacional, la cual esporádicamente brinda el apoyo necesario para la implementación y desarrollo de herramientas estadísticas.

Es un reto actual, sin embargo, históricamente hablando, fue a partir de la década de 1950 que la estadística aplicada experimentó un auge significativo en el entorno en el que actualmente muchos profesionales se desenvuelven. La figura de William Edwards Deming, físico y profesor universitario fue fundamental en este impulso. Deming propugnó una visión innovadora de la calidad, trascendiendo la mera responsabilidad de los departamentos de producción para convertirse en una filosofía transversal que permeara toda la organización. Su enfoque, basado en el control estadístico, la mejora continua y la participación de todas las áreas, representó un cambio de paradigma en la gestión de la calidad.

En la década de 1980 surge la norma ISO 9000, que define la calidad como "el grado en que un conjunto de características inherentes cumple con los requisitos". En esencia, la calidad se refiere a la capacidad de un producto o servicio para satisfacer las necesidades y expectativas de los clientes, cumplir con los estándares y requisitos establecidos, y ser consistente en su desempeño o resultados. Todas las empresas tienen la responsabilidad de mejorar sus productos y servicios, lo que da lugar a la norma ISO 9001, que define los estándares para establecer un Sistema de Gestión de Calidad, que es una manera estratégica de aplicar soluciones de calidad en cualquier tipo de empresa, independientemente de su área de trabajo, tamaño o características.

Dentro de la última actualización en la norma ISO 9001:2015, que es parte de la familia de normas ISO 9000, se establece el uso de herramientas estadísticas en varios puntos. Específicamente, el requisito para el uso de herramientas estadísticas se encuentra en la cláusula 9.1.3 'Análisis y evaluación de datos', bajo el apartado "Enfoque basado en evidencias para la toma de decisiones".

En esta cláusula se establece que la organización debe analizar y evaluar los datos pertinentes y aplicar métodos estadísticos apropiados, donde sea necesario, para demostrar la idoneidad y la eficacia del sistema de gestión de la calidad y para evaluar dónde se pueden realizar mejoras en el sistema. Esto implica la utilización de herramientas estadísticas para el análisis de datos relacionados con la calidad del producto, el rendimiento del proceso, la satisfacción del cliente, entre otros aspectos relevantes para el sistema de gestión de la calidad.

En el constante avance de los sistemas de gestión, los encargados del área de calidad ya no consideran solo el hecho de estar dentro de un estándar, a nivel industrial se tiene la responsabilidad de proporcionar datos y métricas que respalden la toma de decisiones fundamentadas en las empresas, se deben ver y analizar los procesos dinámicos que implican la revisión constante de los objetivos que persigue la compañía, así como los datos obtenidos, los métodos, los procesos y los resultados del producto final, todo esto con la finalidad de identificar oportunidades de mejora y alcanzar niveles superiores de eficiencia.

La mejora continua de la calidad se ha convertido en la filosofía empresarial cuya esencia radica en el compromiso constante de buscar nuevas formas de hacer que las cosas sucedan de la manera más eficaz y eficiente posibles, lo que conduce a productos y servicios de mayor calidad y, en última instancia, a la satisfacción total del cliente.

A través de la recopilación y el análisis de datos antes, durante y a la terminación del proceso de producción, es fácil lograr la identificación de problemas y la implementación de soluciones. Esta filosofía fomenta la participación de los empleados en la identificación de problemas y en la generación de soluciones, lo que contribuye a un ambiente de trabajo colaborativo.

En este contexto, vislumbrar los principios y las herramientas que históricamente han respaldado la mejora continua de la calidad, como los son el ciclo PDCA (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar) de Deming y la aplicación de técnicas como el Control Estadístico de Procesos (CEP) y Seis Sigma, nos proporciona la capacidad de dar estructura y el enfoque para llevar a cabo mejoras sistemáticas y medibles.

> …aquellas herramientas que requieren de un nivel superior de conocimiento se utilizan con bastante menor frecuencia, encontrándo en este grupo las técnicas más duras, cuantitativas o de tipo estadístico (por ejemplo, el control estadístico de proceso o la metodología 6σ). En cambio, las técnicas más blandas o cualitativas, que podríamos denominar de «recogida de opinión» e «interacción» (como las encuestas o los grupos de mejora) son claramente las más difundidas. (Heras, Marimon, & Casadesús, 2009)

Las contribuciones que se han tenido a lo largo de los años, desde la década de 1920 con Walter A. Shewhart, hasta nuestros días, han llevado al desarrollo y la evolución de la vigilancia estadística de los procesos, lo que ha permitido a las organizaciones mejorar la calidad de sus productos y servicios a lo largo de los años.

El libro Quality Costing valora que grandes empresas han contribuido a la evolución continua del control de datos y se debe tener en consideración que el costo de la ausencia de calidad se convierte en pérdidas de tiempo/actividades, falta de valor agregado y en que el rango de las ineficiencias en la fabricación puede llegar aproximadamente hasta el 20% de las ventas anuales de las empresas, aunque muchos de los datos publicados en los costos de calidad son extensos e incuantificables.

La pregunta se plantea entre "lograr calidad o supervisar calidad". La creciente demanda de especificaciones más estrictas para los proveedores, con sanciones severas por incumplimiento, se enfrenta a la variabilidad natural de los procesos, lo que hace que todas las empresas deban reconocer la importancia de este asunto.

En el contexto de Control Estadístico de Procesos (CEP), alcanzar la estabilidad del proceso significa que el proceso de fabricación ha alcanzado un estado en el cual las variaciones observadas son aleatorias y predecibles dentro de ciertos límites. Cuando un proceso es estable, se dice que está bajo "control estadístico", es posible predecir y tomar decisiones fundamentadas sobre cómo mejorarlo y mantenerlo dentro de los límites de calidad deseados

.

En otras palabras, las fluctuaciones en el proceso son el resultado de causas comunes o inherentes, y no de problemas específicos o factores externos. Al lograr la estabilidad del proceso, es más factible mantener una producción consistente y de alta calidad, ya que las variaciones son predecibles y se pueden gestionar de manera más efectiva.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

Implementar el proyecto de vigilancia estadística nos ha llevado a la realización de la revisión sistemática de datos primarios de proceso y salida del producto en una empresa basándose únicamente en la información proporcionada por el área de calidad.

Se ha realizado una recopilación exhaustiva de información cuantitativa relevante para la producción y su diseño de límites de tolerancias para la obtención de los valores entre los cuales se hallan las características buscadas del departamento y a su vez, se encuentran relacionados con los distintos aspectos vinculados a producción.

Al no disponer de la información de la capacidad de los procesos manejados años posteriores en la empresa, se busca que la estructura de los datos utilizados garantice la obtención de resultados confiables y representativos que permitan optimizar el sistema y mejorar la calidad del producto final, comenzando con la estratificación y digitalización de la información de las hojas de verificación disponibles en el departamento de calidad, con la finalidad de homologar las características que nos aportan valor a los productos.

Para el presente análisis del sistema de última etapa de la producción, se han considerado las variables de salida correspondientes al periodo comprendido entre octubre del 2023 y abril del 2024. La selección de este periodo responde a la ausencia de modificaciones significativas en el personal y en el proceso durante dicho lapso, lo que garantiza la obtención de resultados confiables y representativos del comportamiento del sistema.

Cabe destacar que el sistema de la última etapa se caracteriza por su alta complejidad y volumen de producción. Se trata de un proceso masivo que genera millares de piezas por día, requiriendo el muestreo y medición de decenas de estas partes para garantizar la calidad del producto final.

El periodo de análisis comprende un total de 510 subgrupos, cada uno compuesto por 10 registros. Esta estructura manejada permite realizar un análisis detallado del comportamiento del sistema durante el periodo elegido.

Históricamente se ha demostrado que el 85% de los desafíos de calidad pueden abordarse mediante la gestión, mientras que el 15% restante, requiere intervenciones en el entorno operativo. Dicho de otra manera, JL Alzueta señala en su tesis del 2012 que “el análisis realizado por Kaouru Ishikawa, demuestra que los trabajadores son únicamente responsables del 15% de los errores, mientras la gestión llevada a cabo por la gerencia es la responsable del 85% de los errores o irregularidades”.

Los métodos estadísticos de control de calidad son útiles para identificar problemas en el área operativa, permitiendo su detección y solución. Por lo que, en un principio se sometió a los responsables de las mediciones, a un estudio de repetitividad y reproducibilidad largo para demostrar la precisión de los datos plasmados en las hojas de medición. De esta manera se evalúa experimentalmente qué parte de la variabilidad que observamos es aplicable al error de medición de peso.

Los inspectores realizaron dos veces el registro de peso en gramos de diez muestras o partes, controladas por el evaluador, del producto con mayor registro de elaboración histórica de la empresa; en la Tabla 1 se muestran los datos obtenidos y en la Tabla 2 los resultados de las 60 corridas:

Tabla 1
Estudio R&R para variable de peso de cada inspector

No. De Partes	Inspector 1		Inspector 2		Inspector 3	
	E1	E2	E1	E2	E1	E2
M1	111.5	111.3	111.3	111.3	111.2	111.5
M2	112.6	112.7	112.6	112.6	112.8	112.7
M3	112.8	112.8	113	113.	112.8	112.7
M4	114	114	113.9	113.8	114.2	113.9
M5	112.5	112.5	112.5	112.3	112.3	112.4
M6	112.3	112.5	112.5	112.4	112.3	112.5
M7	112.9	112.9	112.8	112.8	112.9	113.1
M8	112.5	112.5	112.5	112.6	112.6	112.6
M9	112	112.1	111.9	112	112	112
M10	113	113	112.8	112.8	112.9	112.8

Tabla 2
Resultados de análisis del estudio R&R largo aplicado a los inspectores de calidad

	Desv. Est. (σ)	Var. Estudio (5.15σ)	Análisis de tolerancias
Repetitividad	0.0752	0.3876	3.876
Reproducibilidad	0.0291	0.1501	1.5015
Gage R&R total	0.0807	0.4156	4.1566

La variación de los instrumentos de medición (balanzas) muestran una desviación estándar de 0.0752, por lo que su valor extendido calculado es de 0.38, mientras que los inspectores se desvían de la media un 0.0291, traducido a un valor extendido operacional calculado de 0.1501. Esto nos da un análisis de tolerancias global del 4.1566%, concluyendo que la relación de precisión y tolerancia manejados en el departamento de calidad tiene un excelente proceso de medición, el cual se refleja en los siguientes gráficos:

Figura 1
Comparación de la variabilidad de cada operador

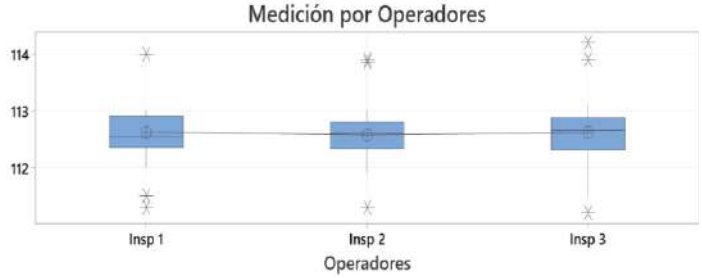
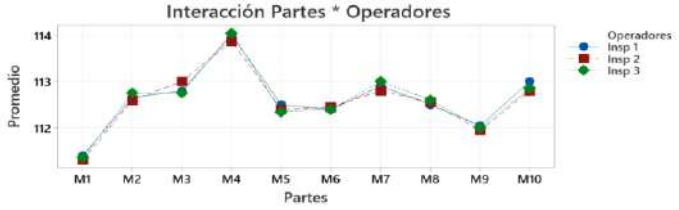


Figura 2
Comparación de la medición media de los operadores



2.1 Estudio de capacidad y estabilidad.

A través de los procesos de producción de todas las empresas, por la propia naturaleza de las mismas, la manufactura siempre está sujeta a variaciones ineludibles que surgen de una multitud de factores, en el caso específico del presente caso de estudio, las variaciones naturales las obtenemos del mantenimiento de las máquinas, la pericia de los operadores responsables de turno, la eficiencia del trabajo, las temperaturas y velocidades de operación, tiempo de trabajo de las máquinas (fatiga), la calidad de la materia prima utilizada y las condiciones ambientales en las que se desarrolla el proceso.

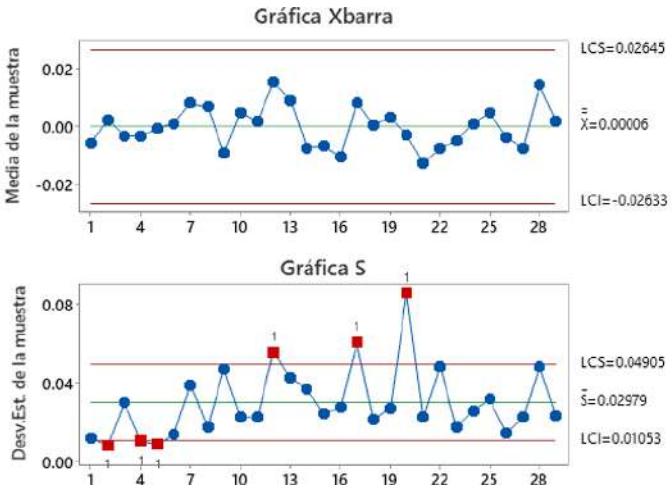
Con el objetivo de visualizar la variabilidad del proceso a lo largo del tiempo, una vez aprobada la calidad de la confiabilidad de las mediciones brindada por el estudio R&R, se procede a ilustrar la aplicación práctica del control de calidad. Se presenta un estudio de caso centrado en el producto SOB, el cual cuenta con una alta demanda y representa una tendencia significativa en los pedidos de los clientes. Se proyecta un estudio de estabilidad y capacidad sobre las variaciones de este producto en porcentaje, utilizando las cartas de control □-S como herramienta principal, con tamaño de subgrupo igual a doce, hasta completar 30 subgrupos repartidos en un periodo de tiempo suficiente como para que se manifieste una variación de largo plazo del proceso. Los datos registrados por el departamento de calidad se encuentran en la tabla 3 y los resultados obtenidos se muestran en la figura 3.

Tabla 3
Registro de SOB para establecer su monitoreo de estabilidad y capacidad

Subgrupos	Mediciones de la variación comparada con el estándar en %											
	-0.18	0.25	-1.51	-2.98	0.31	0.85	-0.68	1.13	-1.89	-0.72	-0.64	-0.67
	-0.22	0.76	-1.29	0.39	0.33	0.71	0.40	0.31	1.80	-0.91	0.94	-0.20
	0.73	-0.94	-0.29	1.33	-1.03	-0.63	0.06	3.80	0.81	-8.79	0.01	1.34
	0.21	0.13	-0.51	0.44	0.72	-0.89	-3.27	-0.45	0.43	-0.03	-0.27	-0.29
	-0.02	0.17	-0.81	0.29	0.61	0.06	-0.08	1.97	-0.29	-0.46	-1.58	-0.31
	0.68	-1.32	-0.69	0.34	0.09	2.98	1.42	-0.46	-0.59	-1.20	1.87	-1.55
	-0.42	0.22	2.88	-0.53	4.42	-0.89	-0.55	9.56	3.35	-2.87	-5.78	0.42
	0.35	0.80	2.27	1.03	0.28	-0.17	0.21	1.00	3.56	1.66	-3.81	1.02
	0.55	-1.77	-4.29	-0.08	-3.78	-6.81	0.42	-6.97	5.71	-2.61	-0.06	8.95
	-0.95	5.39	-0.38	4.44	-0.06	-0.27	-1.32	0.63	-1.80	0.08	-1.10	1.32
	0.86	-2.36	-0.67	0.88	0.81	3.65	0.04	3.15	2.28	-1.08	-1.56	-3.87
	1.62	7.69	-8.11	4.87	-3.47	2.76	-3.32	3.05	-0.98	-0.98	13.03	2.44
	1.88	-3.46	-1.51	-0.85	11.69	-4.16	2.72	-2.30	2.58	-0.72	2.26	2.81
	1.32	2.53	-5.94	-0.78	0.75	-4.97	4.69	3.59	-6.45	-0.31	-0.02	-3.29
	-2.90	-5.99	-0.68	-2.01	-1.22	0.51	0.99	-2.63	2.53	0.39	1.53	1.45
	0.67	-0.22	-8.02	-1.31	1.55	-1.19	-1.50	-2.06	-0.47	-1.24	-1.88	3.45
	-1.89	2.28	6.37	-0.97	-2.36	7.34	-14.56	4.38	6.14	-2.59	4.69	1.33
	2.81	-2.56	1.94	2.45	0.16	-2.65	-1.35	0.34	-2.70	0.29	-0.85	3.03
	-0.87	-0.26	-1.29	3.78	2.01	-4.83	1.13	-1.82	5.24	-1.34	1.30	0.60
	-1.06	-1.74	-0.96	-0.01	-19.88	14.72	2.90	0.72	0.25	-9.63	9.01	2.25
	-0.59	-4.22	-5.18	-0.72	0.08	-1.04	-3.05	-2.42	-1.51	0.97	0.01	2.83
	1.34	1.34	-12.97	7.00	-1.61	-1.35	-2.44	2.68	0.45	1.36	-4.47	-0.18
	-4.06	-0.07	-1.93	-0.14	-0.98	0.94	0.59	-2.18	2.63	-0.57	1.05	-1.08
	-4.47	2.29	-2.81	0.74	-0.68	3.95	-2.07	0.72	-0.48	1.72	-1.17	3.85
	-1.26	-2.50	-1.60	1.70	-1.12	2.13	-2.18	2.73	7.49	0.93	3.28	-3.66
	1.19	-3.02	1.48	-2.84	-0.54	0.95	0.07	-0.57	-0.62	0.34	0.58	-1.03
	-1.34	-0.06	-2.32	0.07	-6.73	0.23	-0.18	0.88	1.19	-1.59	1.69	-0.60
	-2.34	-1.21	1.26	15.82	3.09	-1.07	-2.16	-0.21	0.29	0.56	2.26	1.03
	5.15	-0.52	-1.25	-0.69	1.61	-0.58	1.15	-2.25	2.81	-3.72	0.34	0.33

Una vez completados los subgrupos determinados anteriormente, y antes del estudio de capacidad, se verifica estadísticamente que los datos no rechazan su procedencia de una distribución normal. Con el análisis de la estabilidad del proceso aseguramos un mejor diagnóstico de la situación actual.

Figura 3
Estudio de estabilidad para producto SOB



Si estas variaciones no se monitorean y controlan de manera adecuada, se puede derivar en un impacto negativo sobre la calidad del producto final. Emanado de esto último, se revisó cuidadosamente el conjunto de datos históricos capturados para detectar posibles errores, inconsistencias o valores atípicos.

Su implementación y continua observación permite a los inspectores y analistas de calidad la detección temprana de posibles problemas que podrían afectar la calidad final del producto o servicio. Esta detección oportuna facilita la toma de medidas correctivas antes de que las variaciones se traduzcan en productos o servicios defectuosos.

Por otro lado, en cuanto a la capacidad, las especificaciones y tolerancias fueron respetadas, se establecieron las designadas por la alta dirección como lo aceptable para el proceso en formato de porcentaje, es decir, nuestro objetivo es cero variaciones negativas de peso y solo se permite el 10% de variación positiva.

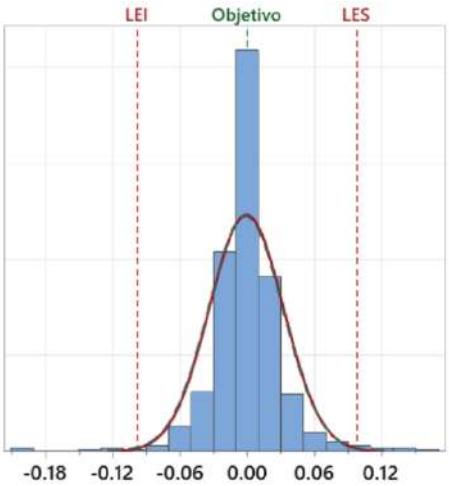
Con un total de 510 registros en las hojas de verificación se ha obtenido la información del comportamiento de los datos resumido en la tabla 4.

Tabla 4
Resumen de los datos de capacidad del proceso

Variable	Conteo total	Media	Desv.Es Largo plazo	Desv.Es Corto plazo	Suma	Mínimo
SOB	510	-0.00066	0.03303	0.033051	-0.33751	-0.19878
	Q1	Mediana	Q3	Máximo	Rango	Asimetría
	-0.01313	-0.0007	0.01208	0.15825	0.35702	-0.39
	Curtosis	EI	ES	LRI	LRS	Target
	8.17	-0.098	0.098	-0.0998	0.0985	0
	Cp	Cr	Cpi	Cps	Cpk	K
	0.9884	1.0111	0.9817	0.9950	0.9817	-0.6735%
	Tao	Cpm	Pp	Ppi	Pps	Ppk
	0.03304	0.98880	0.9890	0.9823	0.9957	0.9823

El propósito de obtener índices de capacidad a corto plazo como Cp y Cpk, así como sus equivalentes a largo plazo Pp y Ppk, radica en evaluar la capacidad del proceso de producción para cumplir con las especificaciones del cliente, para este estudio de caso, se asegura de cumplir con las especificaciones de la dirección de la empresa. Estos índices proporcionan una medida cuantitativa de la capacidad del proceso para mantenerse dentro de los límites de tolerancia establecidos. Mostrando el comportamiento que es apreciable en el histograma de la Figura 4.

Figura 4
Histograma del estudio de capacidad para el producto SOB



El histograma es una herramienta gráfica que representa la distribución de los datos del proceso. El comportamiento de las frecuencias con la que ocurren diferentes valores visualizados en la figura 4 nos permite identificar cualquier sesgo, tendencia o variabilidad en los datos. Mismos que se analizan en la sección de Resultados.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de las cartas de control revela información importante sobre el proceso evaluado.

Dentro de la vigilancia estadística de la Carta X, no se detectan patrones especiales de observación, lo que sugiere que la tendencia central del proceso se mantiene estable y bajo control respecto a las especificaciones manejadas. Además, el índice de

estabilidad St con valor de 0% indica que no hay evidencia de inestabilidad en los datos, lo que implica que la variabilidad del proceso se encuentra dentro de límites aceptables.

Por otro lado, la Carta S sí muestra cierta variabilidad en la dispersión del proceso, con 3 puntos situados fuera del límite inferior y otros 3 fuera del límite superior, el índice de inestabilidad St calculado nos proporciona un valor del 20.69%, lo cual nos representa que esta variabilidad en la dispersión está por encima de lo esperado, indicando que la dispersión del proceso está fluctuando más de lo deseado.

Aunque los resultados preliminares indican que la tendencia central del proceso está bajo control según la Carta X, la variabilidad en la dispersión del proceso, según la Carta S, es mayor de lo deseable. Esto significa que tenemos un impacto en la consistencia y calidad del producto resultante.

Se sugiere al departamento de calidad una estratificación por máquina para determinar cuál es la que está dispersando más los datos y una investigación detallada de las variables que intervienen para identificar las causas de esta inestabilidad en la dispersión y tomar medidas correctivas que mejoren la permanencia global del comportamiento del proceso.

Enfocando la atención en determinar si el proceso es capaz o no de cumplir con las especificaciones evaluadas, tenemos que los valores de los índices de capacidad del proceso revelan información crucial sobre el desempeño del caso de estudio.

En cuanto a la distribución de los datos presentados por los inspectores, se observa que la variable SOB muestra una distribución cercana a una distribución normal, con una mediana próxima a cero y una asimetría ligeramente negativa. La curtosis, que es significativamente mayor que la de una distribución normal, sugiere una distribución con colas más pesadas y picos más altos, notable en el histograma de la Figura 4.

Los resultados de Cp, con un valor de 0.988, sugiere que la variabilidad natural del proceso supera la mitad del ancho de especificación, indicando que el proceso no puede cumplir completamente con las especificaciones del cliente sin ajustes adicionales.

Al comparar estos índices con los límites de especificación, tanto Cp como Cpk están por debajo de 1 y muy cerca entre sí, lo que señala que la variabilidad del proceso es mayor que la mitad del ancho de especificación. Esto subraya la necesidad de ajustes adicionales que se concluyeron en la estabilidad para cumplir plenamente con las especificaciones de dirección.

Además, los índices de rendimiento del proceso, como Cpi, Cps, Pp y Ppk, reflejan la poca capacidad del proceso para cumplir con las especificaciones del cliente. Dado que Cp y Cpk están por debajo de 1, estos índices pueden no reflejar con precisión la capacidad real del proceso.

El índice K, que indica la relación entre la variación del proceso y la tolerancia de especificación, sugiere que la variación del proceso es menor que la tolerancia de especificación, lo que muestra un nivel controlado de variación dentro del proceso.

En síntesis, los resultados obtenidos a partir del análisis indican claramente la necesidad de mejoras en el proceso para garantizar una conformidad consistente con las especificaciones. Esto implica la implementación de análisis adicionales, como estratificaciones u otras herramientas que permitan identificar las causas raíz de la variabilidad observada. Además, se requieren ajustes en el área de producción para abordar estas causas subyacentes y reducir la variabilidad del proceso.

Una alternativa a considerar es la revisión de las especificaciones del producto y la posible ampliación de las tolerancias, permitiendo un rango más amplio de aceptación. Esto puede proporcionar flexibilidad al proceso sin comprometer la calidad final del producto. Además, es esencial establecer un plan de acción claro, con roles y responsabilidades definidos, para garantizar la implementación efectiva de las mejoras identificadas.

Además, se podría considerar la implementación de medidas preventivas (lo que sería ideal) para evitar la recurrencia de problemas similares en el futuro. Esto podría incluir capacitación adicional para el personal, mejoras en los procesos de control de calidad y la implementación de sistemas de retroalimentación para garantizar una mejora continua. En última instancia, es crucial mantener un enfoque proactivo y orientado a la mejora continua para garantizar que el proceso alcance y mantenga los estándares de calidad requeridos.

IV. CONCLUSIONES

En los resultados del caso de estudio se apunta a que el proceso podría no estar cumpliendo de manera consistente con las especificaciones dictadas por la dirección y el departamento de calidad. Por lo tanto, se requiere realizar análisis adicionales y ajustes al proceso para reducir la variabilidad y mejorar su capacidad de cumplir con los requisitos del cliente.

Es necesario que la compañía comience a buscar la mejora en lo detectado durante este estudio para obtener las repercusiones favorables adicionales del control estadístico; dicho de otra manera, además de identificar áreas de mejora y establecer objetivos, también es imperativo el impulso a la comunicación y el aprendizaje continuo dentro y fuera del departamento de calidad.

Tras el análisis del proceso en particular de esta empresa, se puede asegurar que, mediante la retroalimentación continua, las empresas (independientemente de su giro), pueden implementar acciones correctivas y asegurar la satisfacción del cliente, así como la eficiencia operativa y la rentabilidad a largo plazo.

Para lograr la excelencia, es necesario incorporar la vigilancia estadística y su control en la cultura organizacional, invertir en el entrenamiento del personal y aprovechar el potencial de la tecnología.

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

Actualmente, en el corazón de la industria moderna, la búsqueda constante de la perfección en eficiencia y satisfacción del cliente es el objetivo general de los procesos, así que la vigilancia estadística del proceso en los departamentos de calidad se convierte en una guía invaluable.

La organización debe mostrar su compromiso con la mejora continua y el uso del control estadístico como una herramienta para alcanzar la excelencia. (Kotter, 1996)

Para mantenerse competitivo en el mercado, el cual, es cada día más demandante, en lo concerniente a los productos, la búsqueda constante de la mejora en los procesos de calidad de una empresa es más que fundamental. El control estadístico de proceso funge como clave para alcanzar este objetivo.

Sin embargo, la recopilación de datos no es simplemente estadístico y frío. La calidad conlleva a la comunicación, siendo una herramienta que posibilita observar, comprender y mejorar el comportamiento humano y de los procesos dentro del complejo ambiente de un departamento de calidad.

Mediante el análisis estadístico y su vigilancia constante, el caos se transforma en orden al descubrir patrones ocultos, tanto en el rendimiento individual, como colectivo. Las huellas de la mejora continua son estos patrones, que se convierten en pistas hacia la optimización de procesos y la eliminación de errores y mudas. A base de la recopilación, análisis y presentación de datos, los departamentos de calidad pueden descubrir áreas para mejorar, fijar objetivos y evaluar el avance para entender las variaciones y las causas de los problemas, lo cual lleva a tomar decisiones estratégicas, obteniendo así la evolución en camino a la excelencia.

Como se ha mencionado anteriormente, una de las ventajas indirectas del control estadístico es la facilidad de la comunicación y colaboración entre equipos al crear un lenguaje común entre los diferentes departamentos. La mejora continua es un objetivo compartido, ya que la información fluye de forma transparente creando un entorno favorable para todos los involucrados.

Dentro de la cultura de la calidad*, el promover el entendimiento y la utilización responsable de los datos en todas las áreas de la empresa genera un ambiente que favorece la toma de decisiones fundamentadas. (Davenport & Patil, 2012)*

Si bien la vigilancia estadística es una herramienta importante, también proporciona oportunidades para la innovación y la creatividad. Constantemente surgen nuevos métodos y procesos, impulsando la evolución de la calidad hacia un futuro más capaz, más estable y remunerable. Se debe considerar el control estadístico como una oportunidad para aprender y mejorar, no como un medio de control o castigo; de ahí surge el aprendizaje continuo.

Contar con retroalimentación constante y oportuna al recoger datos sobre la satisfacción del cliente, los resultados de control de calidad e información pertinente, es de vital importancia para que los departamentos de calidad puedan identificar oportunidades y tomar medidas correctivas anticipadas con las bases adecuadas.

Los empleados deben comprender el propósito del control estadístico y participar activamente en la recopilación y análisis de datos. (Deming, 1986)

El control estadístico no tiene el objetivo principal en sí mismo, sino que es un medio para lograr un fin más alto: la mejora constante de la calidad en beneficio de todos. Recurriendo a un proceso de calidad bien establecido, las compañías pueden detectar y solucionar posibles defectos en sus productos, aumentar la eficiencia de sus operaciones y conservar la satisfacción de sus clientes

V. AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a la maestra Muñoz Ponce V., por su tiempo, orientación, apoyo y dedicación a este trabajo durante todo el proceso de desarrollo. Su experiencia, conocimiento y aliento fueron esenciales para la publicación de este artículo.

Asimismo, deseo extender mi gratitud al Programa de Becas COMECYT Modalidad Beca de Posgrado, Estudios de Maestría, cuyo respaldo financiero hizo posible llevar a cabo esta investigación. Esta oportunidad me permitió concentrarme en mis estudios y dedicar tiempo y esfuerzo a la realización de este trabajo.

No puedo pasar por alto al Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli por otorgarme matricula dentro del programa de estudio en Ingeniería Administrativa. Este reconocimiento representa la prueba palpable de años de arduo trabajo y dedicación en la ingeniería práctica, y me llena de orgullo y satisfacción poder llevar el desarrollo de este proyecto en mi camino profesional.

Por último, pero no menos importante, agradezco sinceramente a todos los profesionales que han contribuido a mi desarrollo competitivo a lo largo de este viaje. Sus enseñanzas, mentoría y ejemplos han sido una inspiración constante para mí y han moldeado mi crecimiento tanto académico como personal.

A cada uno de ustedes, les estoy profundamente agradecido por haber sido parte de este importante capítulo en mi vida.

VI. REFERENCIAS

Alzueta, J. I. (2012). *Sistemas de gestión de la calidad: Una perspectiva desde la teoría de la complejidad* (Tesis doctoral). Universidad Pública de Navarra, Pamplona, España. (p.41).

American Society for Quality (ASQ). (2022*). WHAT IS STATISTICAL PROCESS CONTROL? https://asq.org/quality-resources/statistical-process-control*

Congreso de los Estados Unidos Mexicanos. (2022, diciembre 27). *LEY FEDERAL DEL TRABAJO. Orden Jurídico Nacional. https://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/html/wo9059.html*

Corona Cortez, R. E. (2015). *Los métodos estadísticos Como fuente de mejora de la calidad en las empresas de manufactura. NovaRUA, 6(10), 16-25. https://doi.org/10.20983/novarua.2015.10.3*

Dale, Plunkett*, Quality Costing,* 2nd Ed., Chapman & Hall, GB, 1995

Davenport, T. H., & Patil, D. J. (2012). Data scientist: The sexiest job of the 21st century. Harvard Business Review, 90(10), (pp.70-82).

Deming, W. E. (1986). *The importance of employee involvement in statistical control. In Out of the crisis.* Cambridge, MA: MIT Press.

Gobierno de México. (2021). *Artículo 16. Servicio de Administración Tributaria. https://sat.gob.mx/articulo/89363/articulo-16#:~:text=Se20considera20empresa20la20persona,o20totalmente2C*

Heras, I., Marimon, F., & Casadesús, M. (2009). *Impacto competitivo de las herramientas para la gestión de la calidad.* Cuadernos de Economía y Dirección de la Empresa, (pp 7-35).

Hernández, Z. T. (2014). *Administración Estratégica.* Grupo Editorial Patria. (p. 159)

ISO 9000. (2015). Sistemas de gestión de la calidad - Fundamentos y vocabulario (Norma ISO 9000:2015). ISO - International Organization for Standardization. https://www.iso.org/obp/ui/es/#!iso:std:45481:es

ISO 9001:2015(es) Sistemas de gestión de la calidad - Requisitos. (2015). ISO - International Organization for Standardization. https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9001:ed-5:v1:es

Kotter, J. P. (1996). *Leading change*. Boston, MA: Harvard Business School Press. (p. 123).

Plataforma de navegación en línea (OBP). (2015). *ISO 9000:2015(es) Sistemas de gestión de la calidad -Fundamentos y vocabulario. ISO - International Organization for Standardization. https://www.iso.org/obp/ui/es/#iso:std:iso:9000:ed-4:v1:es*

Pulido, H. G., & Salazar, R. D. (2013). *Control estadístico de calidad Y Seis Sigma* (3rd ed.). Mc Graw Hill Education. (pp. 432-441).

Sánchez Lizárraga, Marcos Alberto. *Factores críticos de éxito para la implementación del estándar ISO 9001 en empresas de manufactura en México.* Universidad Autónoma de Baja California 2020. *https://repositorioinstitucional.uabc.mx/handle/20.500.12930/8791*

Sherman, Peter. (2024, March). *VOLVIENDO A LOS FUNDAMENTOS: VOLVER A LOS FUNDAMENTOS.* American Society for Quality (ASQ). https://asq.org/quality-progress/articles/volviendo-a-los-fundamentos-volver-a-los-fundamentos?id=07cb8161a84f49ae976425443504a08e

VII. AUTORES

Lucero Yarely De La O Franco

https://orcid.org/0009-0006-7274-3147

Verónica Múñoz Ponce

https://orcid.org/0000-0001-7883-3959

Antioxidantes Presentes en Aceite de Girasol por Efecto de Nanoparticulas de Hidroxiapatita

Gómez-García, O. E.[1]; Borroel-García, V. J.[2]; López-Salazar, R.[1]; Flores-Hernández, E. A.[1]; Ramírez-Aragón, M. G.[2]

Datos de Adscripción:
[1] Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Periférico Raúl López Sánchez S/N. Colonia Valle Verde, Torreón, Coahuila, México, C. P. 27054
[2] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Av. Tecnológico N° 1555 Sur. Periférico Lerdo Km. 14.5, Placido Domingo, Ciudad Lerdo, Durango, México, C. P. 35150.

✉ georgina.ra@itslerdo.edu.mx

Resumen **- La nanotecnología implica la manipulación a nivel atómico o molecular de materiales, haciendo énfasis en aquellos menores de 100 nm en al menos en una dimensión. Sus aplicaciones abarcan varios campos y se presta cada vez más atención a su potencial en la agricultura. Las nanopartículas han demostrado resultados prometedores en la germinación, el desarrollo de plantas, el tratamiento de semillas, la detección de patógenos y la identificación de agroquímicos dañinos. Las nanopartículas (NP) exhiben características fisicoquímicas notables que incluyen tamaño reducido, mayor reactividad, fuerte potencial ionizante, alta relación superficie-volumen, tolerancia mejorada al pH, estabilidad química mejorada, mayor absorbibilidad, y estabilidad térmica extendida. El objetivo de esta investigación fue examinar el impacto de las nanopartículas de hidroxiapatita en el cultivo de girasol, particularmente en los antioxidantes presentes en el aceite de girasol. Las variables evaluadas en el presente experimento incluyeron, compuestos fenólicos totales (CFT), contenido de flavonoides (FV) y actividad antioxidante (AOX). Los resultados indicaron que para las propiedades fitoquímicas analizadas los datos oscilaron entre 17.9 y 35.4 mg GAE mL^{-1} para CFT, 29.8 a 60.7 mg QE mL^{-1} para FVT y 18024.6 a 25159.5 µM TE mL^{-1}. Las metodologías utilizadas en el presente estudio fueron realizadas de acuerdo con procedimientos ya estandarizados por distintos autores tales como el método de Folin Ciocalteau, Método de ABTS para actividad antioxidante total y Reacción por solventes para la cuantificación de flavonoides.**

Palabras Clave **- Agronomía, compuestos bioactivos, fertilizantes, metabolitos secundarios.**

Abstract **- Nanotechnology involves the manipulation of materials at the atomic or molecular level, particularly those smaller than 100 nm in at least one dimension. Its applications span several fields and increasing attention is being paid to its potential in agriculture. Nanoparticles have shown promising results in seed treatment, germination, plant development, pathogen detection, and identification of harmful agrochemicals. Nanoparticles (NPs) exhibit remarkable physicochemical characteristics including reduced size, high surface-to-volume ratio, enhanced reactivity, strong ionizing potential, enhanced chemical stability, enhanced absorbability, improved pH tolerance, and extended thermal stability. The objective of this research was to examine the impact of hydroxyapatite nanoparticles on sunflower cultivation, particularly on the antioxidants present in sunflower oil. The variables evaluated in the present experiment included total phenolic compounds (CFT), flavonoid content (FV) and antioxidant capacity (AOX). The results indicated that for the phytochemical properties analyzed the data ranged between 17.9 and 35.4 mg GAE mL^{-1} for CFT, 29.8 to 60.7 mg QE mL^{-1} for FVT and 18024.6 to 25159.5 µM TE mL^{-1}. The methodologies used in the present study were carried out according to standardized procedures by various authors, such as the Folin-Ciocalteu method, the ABTS method for total antioxidant activity, and the solvent reaction for the quantification of flavonoids.**

Keywords **– Agronomy, bioactive compounds, fertilizers, secondary metabolites.**

I. INTRODUCCIÓN

Se proyecta que para el año 2050, la población a nivel mundial se acercará a los 9.6 mil millones de individuos. Este aumento poblacional implica un desafío significativo para la producción agrícola, la cual necesita incrementar su capacidad en un 70-100% para satisfacer los crecientes requisitos de alimentos. Sin embargo, este objetivo se ve obstaculizado por varios factores críticos, como la escasez de agua, la disminución de tierras arables, los efectos adversos del cambio climático y la ineficiencia de los agroquímicos actuales. Estos problemas contribuyen al incremento del estrés abiótico y biótico en los cultivos, lo que inevitablemente conduce a una disminución en los rendimientos agrícolas (Rodrigues et al., 2017).

En este contexto, el desafío de aumentar la producción de alimentos se convierte en una prioridad global. Se requiere urgentemente la implementación de tecnologías y estrategias innovadoras que protejan las plantas del estrés y optimicen la utilización de agroquímicos, asegurando así la seguridad alimentaria de una manera segura y sostenible (Zhao et al., 2020). La nanotecnología, que implica la implementación de materiales a nivel molecular o atómico, particularmente aquellos más pequeños que 100 nm en al menos una dimensión, ha emergido como una solución potencial a estos desafíos. Sus aplicaciones abarcan diversos campos, con una atención creciente en su potencial en la agricultura (Lowry et al., 2019).

Específicamente, la nanotecnología tiene el potencial de promover el desarrollo de las plantas y obtener beneficios significativos en cuanto al rendimiento de los cultivos (Giraldo et al., 2019). Las nanopartículas fabricadas han demostrado resultados prometedores en varias áreas agrícolas, incluyendo el tratamiento de semillas, la germinación, el desarrollo de plantas, la detección de patógenos y la identificación de agroquímicos

nocivos (Nuruzzaman et al., 2016). Las nanopartículas (NPs) exhiben características fisicoquímicas notables que incluyen tamaño reducido, alta relación área superficial/volumen, reactividad elevada, potencial ionizante fuerte, estabilidad química mejorada, mayor absorbibilidad, tolerancia al pH mejorada y estabilidad térmica extendida (Fatima et al., 2021). Estas propiedades únicas permiten que las nanopartículas interactúen de manera efectiva con los sistemas biológicos de las plantas, mejorando así su crecimiento y resistencia a las condiciones adversas.

La utilización de la nanobiotecnología vegetal tiene el potencial de fomentar prácticas agrícolas sostenibles a través de mecanismos que difieren de los enfoques químicos y genéticos tradicionales (Zhao et al., 2020). En particular, las nanopartículas de hidroxiapatita [$(Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$] (HA-NPs) y sus combinaciones han captado considerable atención debido a su importancia en diversas disciplinas como la ciencia de materiales, biología y medicina (de Silva et al., 2022). En tiempos recientes, ha habido un escrutinio considerable sobre las nanopartículas de hidroxiapatita (HA-NPs) para determinar su viabilidad como sustitutos de fertilizantes de fósforo convencionales (Xiong et al., 2018).

La utilización principal de nanomateriales en el cultivo de cultivos tiene como objetivo minimizar la dependencia de agroquímicos al tiempo que se mejora el rendimiento a través de una gestión mejorada de plagas y nutrientes (Prasad et al., 2017). Investigaciones recientes han subrayado las aplicaciones prospectivas de la nanotecnología en la producción de cultivos, enfatizando su papel en el aumento del rendimiento y la mejora del valor nutricional y nutracéutico de los cultivos (Fraceto et al., 2016). Además, las nanopartículas pueden proporcionar una liberación controlada de nutrientes, lo que reduce las pérdidas por lixiviación y volatilización, aumentando así la eficiencia del uso de nutrientes y minimizando el impacto ambiental (De Rosa et al., 2010).

El girasol (Helianthus annuus), como uno de los cultivos oleaginosos más importantes a nivel mundial, es valorado por su aceite de alta calidad y su fibra dietética, los cuales desempeñan roles cruciales en la salud humana. Con el persistente aumento de la población mundial, la demanda de semillas de girasol comestibles, aceite y productos relacionados ha aumentado significativamente. Este incremento en la demanda hace necesarios esfuerzos intensificados para impulsar la producción de girasol y satisfacer las necesidades del mercado (Adeleke y Babaloba, 2020). Además de su importancia económica, el girasol es también crucial en la rotación de cultivos y en la sostenibilidad agrícola, ya que puede mejorar la estructura del suelo y reducir la incidencia de plagas y enfermedades.

Basándose en los puntos mencionados anteriormente, el enfoque de esta investigación se centró en examinar el impacto de las nanopartículas de hidroxiapatita (HA-NPs) en el cultivo de girasol, particularmente en los antioxidantes encontrados en el aceite de girasol. La investigación busca proporcionar una comprensión más profunda de cómo las HA-NPs pueden influir en el crecimiento y desarrollo del girasol, así como en la calidad de sus productos derivados. Al estudiar estos efectos, se espera que los hallazgos puedan contribuir a mejorar las prácticas agrícolas y a desarrollar estrategias más efectivas para enfrentar los desafíos globales de seguridad alimentaria (de Silva et al., 2022; Xiong et al., 2018).

El uso de la hidroxiapatita en la agricultura no se limita únicamente a los cultivos de girasol. Estudios recientes han demostrado que las nanopartículas de hidroxiapatita pueden mejorar la disponibilidad de fósforo en el suelo, lo que es esencial para el crecimiento de las plantas. El fósforo es un nutriente crítico para las plantas, ya que desempeña un papel vital en la fotosíntesis, la transferencia de energía y la síntesis de ácidos nucleicos (Chen et al., 2018). La aplicación de HA-NPs puede, por lo tanto, no solo aumentar el rendimiento de los cultivos sino también reducir la necesidad de fertilizantes fosfatados convencionales, que a menudo son costosos y pueden causar contaminación ambiental (Hao et al., 2021).

Además, la hidroxiapatita también ha mostrado potencial en la remediación de suelos contaminados. Las HA-NPs pueden adsorber metales pesados y otros contaminantes del suelo, mejorando así la calidad del suelo y la seguridad de los cultivos (Ren et al., 2020). Esta capacidad de remediación es particularmente importante en áreas donde el suelo ha sido degradado por prácticas agrícolas intensivas o contaminación industrial.

La sostenibilidad es un aspecto crucial en la agricultura moderna. La sobreexplotación de recursos naturales y la dependencia excesiva de agroquímicos han llevado a una degradación significativa del medio ambiente. La implementación de tecnologías como la nanotecnología puede ayudar a mitigar estos efectos al promover prácticas agrícolas más eficientes y sostenibles (Kah et al., 2019). Por ejemplo, la liberación controlada de nutrientes y pesticidas mediante nanopartículas puede reducir significativamente las dosis necesarias, minimizando así el impacto ambiental y los costos para los agricultores (Kah et al., 2019).

El girasol, debido a su capacidad para crecer en una variedad de condiciones climáticas y su resistencia a la sequía, se considera un cultivo ideal para explorar el uso de HA-NPs y otras innovaciones nanotecnológicas. Además, el girasol tiene una capacidad natural para absorber metales pesados del suelo, lo que lo convierte en una herramienta potencialmente valiosa en la fitorremediación (Baldantoni et al., 2018). Esta capacidad de doble función - producción de alimentos y remediación ambiental - hace que el girasol sea un cultivo particularmente prometedor para futuras investigaciones en nanotecnología y sostenibilidad agrícola.

La investigación sobre las nanopartículas de hidroxiapatita en el cultivo de girasol también puede tener implicaciones importantes para la salud humana. El aceite de girasol es rico en ácidos grasos insaturados y antioxidantes, que son beneficiosos para la salud cardiovascular y general (Ghazani et al., 2013). Al mejorar la calidad del aceite de girasol mediante el uso de HA-NPs, es posible que se puedan aumentar estos beneficios para la salud. Además, la reducción de contaminantes en el suelo a través de la fitorremediación también puede mejorar la seguridad alimentaria al reducir la exposición a sustancias tóxicas.

En resumen, la combinación de la nanotecnología con la agricultura presenta una vía prometedora para abordar muchos de los desafíos críticos que enfrenta la producción de alimentos en el siglo XXI. La hidroxiapatita, en particular, ofrece un potencial significativo tanto en la mejora del rendimiento de los cultivos como en la sostenibilidad ambiental. El girasol, con sus múltiples beneficios y aplicaciones, se erige como un modelo ideal para explorar estas innovaciones. La investigación continua en este campo es esencial para desarrollar estrategias efectivas y sostenibles que puedan asegurar la seguridad alimentaria y la salud ambiental para las generaciones futuras.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

A. Ubicación del experimento

Durante el verano de 2023, se estableció el presente experimento en los campos experimentales de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna (UAAAN-UL), este campo está ubicado en Torreón, Coahuila, México, en la intersección del Periférico y la Carretera Santa Fe, Kilómetro 1.5. Las coordenadas geográficas del lugar son 25° 31' 11" de latitud norte, con una altitud de 1123 metros sobre el nivel del mar y 103° 25' 75" de longitud oeste respecto al meridiano de Greenwich.

B. Preparación del terreno

Esta preparación incluyó labranza, rastrillado, nivelación y marcado de los surcos en el suelo donde se sembró, seguido por la implementación de un sistema de riego por cinta calibre 6000, generando un riego más eficiente, donde se establecieron emisores a una distancia de 30 cm.

C. Siembra

La siembra se realizó de forma manual sin humedad en suelo, empleando un sistema de siembra en surco simple, con la colocación de dos semillas por golpe separadas por 30 cm de distancia.

D. Establecimiento del experimento

Para establecer el experimento, se utilizaron semillas de girasol provenientes del banco de germoplasma de la UAAAN. El cultivo de girasol se sometió a diferentes concentraciones de nanopartículas de hidroxiapatita [$(Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$] (2000, 4000 y 6000 ppm) aplicadas como fertilizante durante el riego.

E. *Cosecha*

La cosecha se realizó manualmente 120 días después de la siembra, recolectando todas las plantas de cada tratamiento. La cosecha se realizó hasta que aproximadamente ⅔ de las semillas estuvieron maduras. Se cortó un trozo más largo de tallo; de 7.5 a 10 cm de longitud. Después los capítulos completos se envolvieron en una bolsa de papel alrededor del mismo y se colgaron en un área ventilada durante algunas semanas para deshidratar.

F. Extracción de aceite

Las semillas se separaron de la cáscara y se procesaron mediante prensado en seco en un extractor. Las semillas descascaradas se introducen en una prensa de tornillo que aumenta progresivamente la presión de 60 kps a 950 kps y a 850 kps a medida que las semillas pasan a través de un barril ranurado. Al mismo tiempo, el aceite se exprime a través de las ranuras del cañón y se recupera. Luego, el aceite extraído se depositó en viales ámbar para evitar la oxidación y se almacenó a temperatura ambiente hasta su análisis.

2.1 Medición de variables

A. Variables Agronómicas

Se cuantificaron las variables agronómicas basándose en cuatro plantas seleccionadas al azar. La altura de la planta se midió desde la base hasta el nudo donde comienza el capítulo floral. El diámetro del tallo se midió en cada planta al igual que el diámetro del disco floral del cultivo.

B. Determinación de compuestos fenólicos totales

La concentración de compuestos fenólicos totales (CFT) se evaluó utilizando el método Folin-Ciocalteu el cual tubo modificaciones según lo descrito por Ramírez-Aragón et al. (2024). Las muestras de aceite se mezclaron con hexano antes del análisis. El contenido total de compuestos fenólicos se determinó en aceite de girasol expresados en ácido gálico equivalente para cada gramo de muestra analizada mg GAE g^{-1}). Para la reacción se utilizó una alícuota de extracto diluido (1 mg mL^{-1}) más 9 mL de agua destilada y 1 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu, y se agregaron 10 mL de solución de Na_2CO_3 (7 g 100 mL^{-1}, p/v) después de 5 mín. Los valores de absorbancia se determinaron a 750 nm (Varian Cary 50, EE. UU.) después de 90 minutos a una temperatura de 25 ◦ C en ausencia de luz, y se usaron para calcular el contenido de compuestos fenólicos. Los análisis se realizaron por triplicado en un espectrofotómetro UV (Genesys, USA).
La curva de calibración se elaboró con ácido gálico como estándar, y los resultados se expresaron en miligramos de equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra (mg GAE g^{-1}) para comparación con los resultados de los datos obtenidos de las muestras.

C. Cuantificación de flavonoides totales

El contenido de flavonoides se determinó espectrofotométricamente a 510 nm según el método descrito por Baba y Malik (2015). Los resultados se expresaron en mg equivalente de quercetina por gramo de planta (mg QE mL^{-1}). Primero se mezclan 50 µL de extracto de muestra con etanol para obtener un volumen final de 1 mL, luego se agregaron 4 mL de agua destilada y 0.3 mL de solución de NaNO3 al 5%, seguidos de 0.3 mL de solución de AlCl3 al 10%. Tras incubar la mezcla durante 5 minutos, se agregaron 2 mL de solución de NaOH a 1 M y se ajustó el volumen a 10 mL con agua bidestilada, permitiendo que la mezcla reaccionara durante 15 minutos. Cada muestra se analizó por triplicado.

D. Actividad antioxidante total

La capacidad antioxidante equivalente de Trolox (TEAC) se ensayó utilizando el método de Domínguez y Ordoñez (2013). ABTS •+ se activó utilizando persulfato de sodio según el método original. Se mezclaron alícuotas de veinte µL de soluciones de extractos de plantas (3 mg mL^{-1}) con 2 ml de la solución ABTS •+ (solución madre diluida con metanol hasta una absorbancia de 0,720 a 734 nm). La absorbancia de las mezclas se registró a 734 nm (espectrofotómetro Genesys USA.) después de que las muestras se incubaron a 37 °C durante 6 minutos. Los valores de TEAC se expresaron como equivalentes de Trolox en mmol por g de extracto (µM TE mL^{-1}). La curva de calibración se estandarizó con el reactivo Trolox como agente antioxidante.

E. Análisis estadístico

En cuanto al diseño experimental empleado, se utilizó un experimento denominado completamente aleatorio donde se realizaron tres repeticiones para cada muestra evaluada en cada una de las variables analizadas (compuestos fenólicos totales, contenido de flavonoides y capacidad antioxidante). Los datos se sometieron a un estudio de ANOVA para comparación de las medias y se realizó la prueba de LSD con un nivel de confianza del 95% ($p < 0.05$), para verificar diferencias estadísticamente significativas. Este análisis se llevó a cabo utilizando el software Statistica 6.0®.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente estudio se evaluaron variables agronómicas del cultivo de girasol, contemplando altura de planta, diámetro de tallo y diámetro de capítulo.

3.1 Altura de la Planta

Las nanopartículas de hidroxiapatita han mostrado efectos positivos en la altura de las plantas. En un estudio reciente, se observó que la adición de HA-NPs a diferentes tratamientos de suelo resultó en un aumento significativo en la altura de las plantas de girasol. Las plantas tratadas con concentraciones de 4000 ppm y 6000 ppm de HA-NPs alcanzaron alturas de entre 2.68 y 2.87 metros, superando significativamente a las plantas tratadas con dosis más bajas (2000 ppm) (Tabla 1). Estos resultados sugieren que las nanopartículas pueden mejorar la disponibilidad de nutrientes esenciales y estimular el crecimiento vertical de las plantas (Zhao et al., 2020).

3.2 Diámetro del Tallo

El diámetro del tallo es otra variable agronómica importante que refleja la robustez y la capacidad de la planta para soportar estructuras pesadas, como frutos y flores. En el mismo estudio sobre girasol, las plantas tratadas con HA-NPs mostraron un aumento en el diámetro del tallo, con resultados que oscilaron entre 3.83 y 3.34 cm (Tabla 1). La concentración más alta de HA-NPs (6000 ppm) produjo los mejores resultados, lo que indica que las nanopartículas pueden fortalecer la estructura del tallo y mejorar la estabilidad de la planta (Prasad et al., 2017).

3.3 Diámetro del Capítulo

El diámetro del capítulo es una variable crucial en cultivos como el girasol, donde el tamaño del capítulo está directamente relacionado con la producción de semillas y, por lo tanto, con el rendimiento del cultivo. En el estudio mencionado, el tratamiento con HA-NPs resultó en un aumento en el diámetro del capítulo, con medidas que varían entre 23.9 y 21.3 cm. Una vez más, la concentración más alta de HA-NPs (6000 ppm) mostró los resultados más prometedores, sugiriendo que las nanopartículas pueden influir positivamente en la formación y el (Tabla 1) desarrollo del capítulo (Xiong et al., 2018).

Tabla 1.
Resultados del efecto sobre variables agronómicas por dosis de nanopartículas de hidroxiapatita aplicadas. Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas según la prueba de LSD± desviación estándar con un nivel de significancia de $p < 0,05$.

Dosis de HA-NPs	Altura de tallo (m)	Diámetro de tallo (cm)	Diámetro de capitulo (cm)
2000 ppm	2.68 ± 0.10^{b}	3.34 ± 0.27^{b}	21.37 ± 1.36^{b}
4000 ppm	2.87 ± 0.07^{a}	3.80 ± 0.22^{a}	23.53 ± 1.53^{a}
6000 ppm	2.84 ± 0.11^{a}	3.83 ± 0.31^{a}	23.93 ± 0.91^{a}

Diversos estudios han mostrado que las nanopartículas pueden influir significativamente en la altura de las plantas. Por ejemplo, Raliya y Tarafdar (2013) observaron un aumento en la altura de las plantas de trigo tratadas con nanopartículas de dióxido de titanio (TiO_2). Este efecto se atribuye a la mejora en la absorción de nutrientes y a la activación de hormonas de crecimiento.

En otro estudio, Tripathi et al. (2017) evaluaron el efecto de nanopartículas de óxido de zinc (ZnO) en plantas de arroz. Los resultados indicaron un incremento en la altura de las plantas, posiblemente debido a la regulación de la síntesis de clorofila y la mejora en la fotosíntesis.

En cuanto al efecto que generan las nanopartículas en el rendimiento del cultivo se han reportado estudios donde los resultados han sido satisfactorios para el productor. Un estudio realizado por Prasad et al. (2012) mostró que el uso de nanopartículas de ZnO en cultivos de maní aumentó el rendimiento en un 29%. Este efecto positivo se atribuye a la mejora en la absorción de zinc, un micronutriente esencial para el desarrollo de la planta.
Asimismo, Sharma et al. (2018) reportaron un aumento en el rendimiento de tomate cuando se utilizaron nanopartículas de cobre (Cu). Las nanopartículas promovieron una mayor actividad enzimática y mejoraron la resistencia a enfermedades, lo que resultó en un rendimiento superior.
En cuanto a la variable de diámetro de capítulo se encontró que en un estudio de Siddiqui et al. (2015) investigó el uso de nanopartículas de sílice (SiO_2) en plantas de maíz y encontró un incremento en el diámetro del tallo. Las nanopartículas de sílice actuaron como un agente endurecedor, mejorando la rigidez y resistencia mecánica del tallo.

Por otro lado, Lee et al. (2019) evaluaron el efecto de nanopartículas de plata (Ag) en plantas de pepino. Los resultados mostraron que las plantas tratadas con nanopartículas de plata presentaron un aumento en el diámetro del tallo, lo cual se atribuyó a la mejora en la división celular y la elongación de células en la región del meristemo.

El estudio evaluó el impacto de las nanopartículas de hidroxiapatita (HA-NPs) en el contenido de antioxidantes del aceite de girasol, específicamente los niveles de compuestos fenólicos totales (CFT), flavonoides totales (FT) y capacidad antioxidante (AOX). Los resultados se presentan en la siguiente tabla (Tabla 2).

Tabla 2.
Efecto de nanoparticulas de hidroxiapatita en variables fitoquímicas.

Dosis de HA-NPs	CFT mg GAE mL^{-1}	FT mg QE mL^{-1}	AOX µM TE mL^{-1}
2000 ppm	18.16 ± 2.3	35.86 ± 4.39	22945.23 ± 570.74
4000 ppm	30.57 ± 2.15	67.31 ± 4.38	20344.04 ± 832.86
6000 ppm	18.75 ± 3.23	38.09 ± 5.41	23329.16 ± 429.61

Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas según la prueba de LSD± desviación estándar con un nivel de significancia de $p < 0,05$.

3.4 Compuestos Fenólicos Totales (CFT)

Los niveles de CFT fueron más altos con la aplicación de 4000 ppm de HA-NPs, alcanzando 30.57 mg GAE mL^{-1}. Este resultado es significativamente mayor en comparación con las dosis de 2000 ppm (18.16 mg GAE mL^{-1}) y 6000 ppm (18.75 mg GAE mL^{-1}). Esto sugiere que una dosis moderada de HA-NPs es más efectiva para incrementar los niveles de CFT en el aceite de girasol, mientras que dosis más bajas o más altas no son tan beneficiosas.

3.5 Flavonoides Totales (FT)

De manera similar, los niveles de FT fueron más altos con la aplicación de 4000 ppm de HA-NPs, con 67.31 mg QE mL^{-1}. Las dosis de 2000 ppm y 6000 ppm resultaron en niveles significativamente más bajos de FT, 35.86 mg QE mL^{-1} y 38.09 mg QE mL^{-1} respectivamente. Estos resultados indican que la dosis óptima de HA-NPs también favorece la producción de flavonoides, que son importantes antioxidantes en el aceite de girasol.

3.6 Capacidad Antioxidante (AOX)

La AOX mostró un comportamiento diferente, con los niveles más altos observados en la dosis de 6000 ppm (23329.16 µM TE mL^{-1}). Las dosis de 2000 ppm y 4000 ppm resultaron en AOX de 22945.23 µM TE mL^{-1} y 20344.04 µM TE mL^{-1} respectivamente. Esto sugiere que una mayor dosis de HA-NPs puede ser más efectiva para mejorar la capacidad antioxidante del aceite de girasol.

En cuanto a las propiedades fitoquímicas obtenidas en este experimento, se obtuvieron resultados para las variables de compuestos fenólicos totales (CFT), flavonoides totales (FT) y capacidad antioxidante (AOX) como se describió en la redacción anterior para cada variable. Se realizaron análisis para cada variable en los diferentes tratamientos establecidos en el suelo donde se cultivaron los girasoles, así como los efectos generados por las diferentes dosis de hidroxiapatita utilizadas en el riego. A modo de resumen de los resultados obtenidos en este estudio, se puede observar que para las variables de CFT y FT, la dosis de 4000 ppm de HANPs mostró los mejores resultados en los diferentes aceites de girasol, pero no para la variable de AOX, donde los resultados mostraron que el efecto de la dosis más alta de concentración de nanopartículas (6000 ppm) tuvo la mejor respuesta en el aceite de girasol.

Este estudio se desarrolló como secuencia un estudio anterior donde se obtuvo como resultado que en los parámetros de control sin dosis de nanopartículas de hidroxiapatita no había un aumento significativo en las variables fitoquímicas, por ello en este actual estudio, se decidió no tener un control sin hidroxiapatita teniendo como conocimiento previo que no hay un cambio en los valores numéricos estadísticamente evaluados (Flores-Hernández et al., 2023).

La nanotecnología ha revolucionado múltiples campos, incluida la agricultura. Las nanopartículas (NPs) se caracterizan por su tamaño nanométrico y sus propiedades únicas, como una alta relación superficie-volumen, reactividad elevada y capacidad para interactuar a nivel molecular con los sistemas biológicos de las plantas. Estas características permiten aplicaciones innovadoras en el tratamiento de semillas, la fertilización, la protección de cultivos y la detección de patógenos .

Las nanopartículas son materiales caracterizados por tamaños que van desde 1 hasta 100 nanómetros. Estas partículas presentan propiedades distintas atribuibles a sus características físicas y químicas a la nanoescala, diferentes de las del material en masa (Dakal et al., 2016).

La aplicación de nanopartículas en la agricultura ha cobrado un interés significativo en la última década debido a su potencial para mejorar la eficiencia de los fertilizantes, controlar plagas y enfermedades y promover el crecimiento de las plantas. Según Wu y Li (2022), la aplicación de nanopartículas en las plantas en el campo se realiza principalmente a través de la entrega foliar o la aplicación a las raíces (Figura 1). La entrega foliar permite una absorción directa y rápida de los nutrientes o agentes protectores, mientras que la aplicación a las raíces puede mejorar la disponibilidad de nutrientes en el suelo y promover un crecimiento más uniforme de las plantas.

Un estudio reciente demostró que las nanopartículas de dióxido de titanio (TiO2) pueden mejorar significativamente la germinación y el crecimiento de las plantas al aumentar la fotosíntesis y la absorción de nutrientes. De manera similar, las nanopartículas de óxido de zinc (ZnO) han mostrado potencial para proteger las plantas contra enfermedades al exhibir propiedades antimicrobianas que reducen la incidencia de patógenos.

Las investigaciones recientes han proporcionado evidencia sólida de los beneficios de las nanopartículas en la agricultura. Un artículo de Prasad et al. (2017) destacó que las nanopartículas pueden mejorar la eficiencia del uso de nutrientes y reducir la necesidad de pesticidas químicos, minimizando así el impacto ambiental y los costos asociados. Además, Fraceto et al. (2016) subrayaron que las nanopartículas pueden mejorar el valor nutricional y nutracéutico de los cultivos al aumentar la concentración de compuestos bioactivos en las plantas.

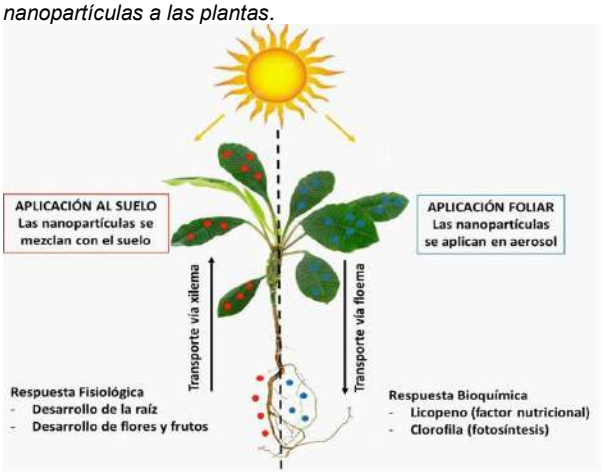
Las nanopartículas de hidroxiapatita (HA-NPs) son particularmente interesantes para la agricultura debido a su biocompatibilidad y su capacidad para liberar fósforo de manera controlada. El fósforo es un nutriente esencial para las plantas, pero su disponibilidad en el suelo a menudo es limitada. Las HA-NPs pueden mejorar la disponibilidad de fósforo, lo que conduce a un mejor crecimiento y rendimiento de los cultivos.

Un estudio realizado por Xiong et al. (2018) demostró que la aplicación de HA-NPs en cultivos de trigo resultó en un aumento significativo del crecimiento de la planta y del rendimiento del grano en comparación con el uso de fertilizantes fosfatados convencionales. Otro estudio encontró que las HA-NPs pueden ayudar a remediar suelos contaminados con metales pesados al adsorber estos contaminantes, mejorando así la calidad del suelo y la seguridad de los cultivos.

Los estudios han demostrado que los fertilizantes que contienen nanopartículas de hidroxiapatita (HANPs) pueden ofrecer una mejor entrega de nutrientes de fósforo en contextos agrícolas, lo que lleva a un aumento del rendimiento de los cultivos y la producción de biomasa vegetal. Las mejoradas propiedades físicas y químicas de las nanopartículas (NPs) tienen un potencial significativo para mitigar las consecuencias ambientales, como la pérdida de nutrientes, asociadas con los fertilizantes convencionales (Madanayake et al., 2021). A una concentración de 1000 mg L^{-1} de HaNPs, Bala et al. (2014) y Liu et al. (2015) observaron una mejora en la germinación de semillas y el crecimiento de plantas en garbanzos (*Cicer arietinum* L.), así como un aumento en el porcentaje de germinación en semillas de pepino (*Cucumis sativus* L.). Estos resultados se refieren a los efectos positivos de las nanopartículas de hidroxiapatita en varias variables de plantas, que coinciden con los hallazgos reportados en este experimento.

Las nanopartículas muestran un gran potencial como un nuevo elicitor abiótico para estimular la producción de compuestos bioactivos en cultivos de células y tejidos vegetales (Hatami et al., 2019). En los últimos años, numerosos estudios han explorado el uso de nanopartículas como elicitadores para inducir la expresión de genes responsables de la biosíntesis de metabolitos secundarios (Hu et al., 2020). Aunque se necesita más investigación para comprender completamente el mecanismo, algunos autores sugieren que las nanopartículas desencadenan la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) y moléculas de señalización secundaria, resultando en una regulación transcripcional en el metabolismo secundario de las plantas (Rivero-Montejo et al., 2021).

Figura 1.
Factores primarios que permiten la eficiencia de la entrega de nanopartículas a las plantas.



Diversos metabolitos secundarios aumentan en las plantas cuando están bajo el efecto de las nanopartículas. Los polifenoles han despertado un interés significativo tanto de científicos como de consumidores últimamente, debido a sus posibles atributos medicinales en la prevención y tratamiento de diversas enfermedades degenerativas, notablemente cánceres, enfermedades cardiovasculares y trastornos neurodegenerativos (Tsao, 2010). Además de sus reconocidas funciones biológicas como antioxidantes y propiedades anticancerígenas, las nanopartículas de plata (Ag NPs) también exhiben actividades antimicrobianas y antifúngicas, mostrando estas últimas un gran potencial en la agricultura. Las Ag NPs han sido reconocidas como un elicitor novedoso y eficiente en la biotecnología vegetal para mejorar la producción de compuestos bioactivos (Rezaei et al., 2011).

La investigación reciente también ha puesto de manifiesto que las nanopartículas pueden desempeñar un papel crucial en la mejora de la resistencia de las plantas a estreses ambientales, como la salinidad, la sequía y la contaminación por metales pesados. Las nanopartículas pueden mejorar la tolerancia de las plantas al estrés hídrico mediante la regulación de la expresión de genes asociados con la respuesta al estrés y la acumulación de osmoprotectores, como prolina y azúcares solubles (Khan et al., 2020). Además, las nanopartículas de óxido de zinc (ZnO NPs) han mostrado eficacia en la mitigación de los efectos tóxicos de los metales pesados en las plantas, promoviendo el crecimiento y la acumulación de biomasa a través de la mejora de las actividades enzimáticas antioxidantes (Rizwan et al., 2019).

Las aplicaciones de la nanotecnología en la agricultura están en constante evolución, con investigaciones en curso que exploran nuevas formas de utilizar las nanopartículas para mejorar la eficiencia y sostenibilidad de los sistemas agrícolas. Por ejemplo, las nanopartículas de sílice (SiO_2 NPs) se están estudiando por su capacidad para mejorar la resistencia de las plantas a patógenos y plagas, reduciendo así la necesidad de pesticidas químicos (Suriyaprabha et al., 2012). De igual manera, las nanopartículas de hierro (Fe NPs) están siendo evaluadas por su potencial para corregir deficiencias de hierro en los cultivos, lo que podría mejorar significativamente la calidad nutricional de los productos agrícolas (Ghafariyan et al., 2013).

IV. CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio indican que las nanopartículas de hidroxiapatita (HANPs) pueden desempeñar un papel crucial en la mejora de las propiedades fitoquímicas del girasol. La aplicación de HANPs, especialmente a una concentración de 4000 ppm, resultó en un aumento significativo de los compuestos fenólicos totales y los flavonoides totales en el aceite de girasol. Además, la concentración más alta de HANPs (6000 ppm) mejoró notablemente la actividad antioxidante.

Estos hallazgos sugieren que las HANPs tienen el potencial de ser utilizadas como una estrategia efectiva para mejorar la calidad nutricional y el valor nutracéutico del girasol. La capacidad de las HANPs para actuar como elicitadores abióticos y estimular la producción de compuestos bioactivos abre nuevas vías para el desarrollo de prácticas agrícolas más sostenibles y eficientes.

Sin embargo, es necesario realizar más investigaciones para comprender completamente los mecanismos subyacentes a la acción de las HANPs en las plantas. Estudios futuros deberían enfocarse en explorar las interacciones moleculares entre las nanopartículas y las plantas, así como en evaluar los impactos a largo plazo de la aplicación de HANPs en diferentes cultivos y condiciones ambientales.

En conclusión, la integración de la nanotecnología en la agricultura, y en particular el uso de nanopartículas de hidroxiapatita representa una frontera prometedora para la mejora de la producción agrícola y la seguridad alimentaria global. La adopción de estas tecnologías puede contribuir significativamente a satisfacer las crecientes demandas alimentarias de una población mundial en expansión, mientras se promueve la sostenibilidad ambiental.

V. AGRADECIMIENTOS

El primer autor (CVU: 1265687) y el autor correspondiente (CVU: 583735) desean agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para sus estudios de posgrado y posdoctorado.

VI. REFERENCIAS

Adeleke, B. S., & Babalola, O. O. (2020). *Oilseed crop sunflower (Helianthus annuus) as a source of food: Nutritional and health benefits.* Food Science & Nutrition, 8(9), 4666-4684.

Baba S, Malik S (2015) *Determination of total phenolic and flavonoid content, antimicrobial and antioxidant activity of a root extract of Arisaema jacquemontii blume*. Journal of Taibah University for Science 9: 449-454.

Baldantoni, D., Alfani, A., Di Tommasi, P., Bartoli, G., & De Santo, A. V. (2018). *Assessing the potential of sunflower (Helianthus annuus L.) for phytoremediation of heavy metal contaminated sites.* Environmental Science and Pollution Research, 25(8), 8374-8381.

Chen, X., Wang, Y., Pan, L., Tian, Y., & Liu, Y. (2018*). Impact of hydroxyapatite nanoparticles on phosphorus availability in soil and plant growth*. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 66(12), 3128-3134.

Dakal, T.C.; Kumar, A.; Majumdar, R.S.; Yadav, V. (2016*) Mechanistic basis of antimicrobial actions of silver nanoparticles.* Front. Microb. 7, 1831.

de Silva, M., Sandaruwan, C., Hernandez, F. C. R., Sahin, O., Ashokkumar, M., Ajayan, P. M., ... & Kottegoda, N. (2022). *A Greener Mechanochemical Approach to the Synthesis of Urea-Hydroxyapatite Nanohybrids for Slow Release of Plant Nutrients.*

DeRosa, M. C., Monreal, C., Schnitzer, M., Walsh, R., & Sultan, Y. (2010). *Nanotechnology in fertilizers.* Nature Nanotechnology, 5(2), 91-95.

Domínguez E, Ordoñez E (2013*) Evaluación de la actividad antioxidante, vitamina C de zumos cítricos de lima dulce (Citrus limetta), limón tahití (Citrus latifolia), limón rugoso (Citrus jambhiri Lush)*. Investigación y Amazonía 3: 30-35.

Fatima, F., Hashim, A., & Anees, S. (2021). *Efficacy of nanoparticles as nanofertilizer production: a review*. Environmental Science and Pollution Research, 28(2), 1292-1303.

Flores-Hernández, E. A., Lira-Saldívar, R. H., Ruiz-Torres, N. A., García-López, J. I., Moreno-Reséndez, A., Rodríguez-Dimas, N., ... & Mendoza-Retana, S. S. (2021). *Síntesis de nanopartículas de hidroxiapatita y su efecto en plántulas de Raphanus sativus.* Ecosistemas y recursos agropecuarios, 8(1).

Fraceto, L.F.; Grillo, R.; de Medeiros, G.A.; Scognamiglio, V.; Rea, G.; Bartolucci, C. (2016*) Nanotechnology in agriculture: Which innovation potential does it have?* Front. Environ. Sci. 4, 20.

Ghafariyan, M. H., Malakouti, M. J., Dadpour, M. R., Stroeve, P., & Mahmoudi, M. (2013). Effects of magnetite nanoparticles on soybean chlorophyll. Environmental Science & Technology, 47(18), 10645-10652.

Ghazani, S. M., García-Llatas, G., & Marangoni, A. G. (2013). Micronutrientes in vegetable oils: The impact of refining on tocopherols, phytosterols, and other minor compounds in sunflower oil. Journal of the American Oil Chemists' Society, 90(9), 1261-1271.

Giraldo, J. P.; Wu, H.; Newkirk, G. M.; Kruss, S. Nanobiotechnology approaches for engineering smart plant sensors. Nat. Nanotechnol. 2019, 14 (6), 541−553.

Hao, X., Zhang, Y., Wu, J., & Li, S. (2021). Application of hydroxyapatite nanoparticles in agriculture: A review on their effects on soil properties, plant growth, and environmental safety. Environmental Science and Pollution Research, 28(6), 6850-6864.

Hatami, M.; Naghdi Badi, H.; Ghorbanpour, M. Nano-elicitation of secondary pharmaceutical metabolites in plant cells: A review. J. Med. Plants 2019, 18, 6–36.

Hu, P.; An, J.; Faulkner, M.M.; Wu, H.; Li, Z.; Tian, X.; Giraldo, J.P. Nanoparticle Charge and Size Control Foliar Delivery Efficiency to Plant Cells and Organelles. ACS Nano (2020), 14, 7970–7986.

Kah, M., Kookana, R. S., Gogos, A., & Bucheli, T. D. (2019). A critical evaluation of nanopesticides and nanofertilizers against their conventional analogues. Nature Nanotechnology, 14(6), 532-540.

Khan, M. N., Mobin, M., Abbas, Z. K., & Alamri, S. A. (2020). Fertilizers and their contaminants in soils, surface and groundwater. In M. N. Khan, M. Mobin, Z. K. Abbas, & S. A. Alamri (Eds.), Nanomaterials in plants, algae, and microorganisms (pp. 1-44). Springer.

Lee, W. M., An, Y. J., Yoon, H., & Kweon, H. S. (2019). Toxicity and bioavailability of copper nanoparticles to terrestrial plants (lettuce, radish, and perennial ryegrass): Plant agar test for water-insoluble

nanoparticles. Environmental Toxicology and Chemistry, 27(9), 1915-1921.

Lowry, G. V.; Avellan, A.; Gilbertson, L. M. Opportunities and challenges for nanotechnology in the agri-tech revolution. Nat. Nanotechnol. 2019, 14 (6), 517−522.

Madanayake, N. H., Adassooriya, N. M., & Salim, N. (2021). The effect of hydroxyapatite nanoparticles on Raphanus sativus with respect to seedling growth and two plant metabolites. Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management, 15, 100404.

Nuruzzaman, M.; Rahman, M. M.; Liu, Y.; Naidu, R. Nanoencapsulation, Nano-guard for Pesticides: A New Window for Safe Application. J. Agric. Food Chem. 2016, 64 (7), 1447−1483.

Prasad, T. N. V. K. V., Sudhakar, P., Sreenivasulu, Y., Latha, P., Munaswamy, V., Reddy, K. R., Sreeprasad, T. S., Sajanlal, P. R., & Pradeep, T. (2012). Effect of nanoscale zinc oxide particles on the germination, growth and yield of peanut. Journal of Plant Nutrition, 35(6), 905-927.

Prasad, R.; Bhattacharyya, A.; Nguyen, Q.D. (2017) Nanotechnology in sustainable agriculture: Recent developments, challenges, and perspectives. Front. Microbiol, 8, 1014.

Raliya, R., & Tarafdar, J. C. (2013). ZnO nanoparticle biosynthesis and its effect on phosphorous-mobilizing enzyme secretion and gum contents in clusterbean (Cyamopsis tetragonoloba L.). Agricultural Research, 2(1), 48-57.

Ramírez-Aragón, M. G., Borroel-García, V. J., López-Martínez, J. D., Nieto-Garibay, A., & García-Hernández, J. L. (2024). Extracción de compuestos antioxidantes en sandía y melón en la Comarca Lagunera. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 11(1).

Ren, X., Sun, Y., Zhang, H., & Liu, J. (2020). Hydroxyapatite nanoparticles for removal of heavy metals from contaminated soil and water: A review. Environmental Science and Pollution Research, 27(1), 159-170.

Rezaei, A.; Ghanati, F.; Behmanesh, M.; Mokhtari-Dizaji, M. Ultrasound-potentiated salicylic acid–induced physiological effects and production of taxol in hazelnut (Corylus avellana L.) cell culture. Ultrasound Med. Biol. 2011, 37, 1938–1947.

Rivero-Montejo, S. D. J., Vargas-Hernandez, M., & Torres-Pacheco, I. (2021). Nanoparticles as novel elicitors to improve bioactive compounds in plants. Agriculture, 11(2), 134.

Rizwan, M., Ali, S., Ali, B., Adrees, M., Arshad, M., Hussain, A., ... & Abbas, F. (2019). Zinc and iron oxide nanoparticles improved the plant growth and reduced the oxidative stress and cadmium concentration in wheat. Chemosphere, 214, 269-277.

Rodrigues, S. M.; Demokritou, P.; Dokoozlian, N.; Hendren, C. O.; Karn, B.; Mauter, M. S.; Sadik, O. A.; Safarpour, M.; Unrine, J. M.; Viers, J.; Welle, P.; White, J. C.; Wiesner, M. R.; Lowry, G. V. Nanotechnology for sustainable food production: promising opportunities and scientific challenges. Environ. Sci.: Nano 2017, 4 (4), 767−781.

Sabry, R., Elsayed, A., El-Ziat, R., Taha, Z., Farag, H., & AbouAitah, K. (2023). Hydroxyapatite nanoparticles as effective phosphorus nano-fertilizer on Italian parsley plants. Scientific Journal of Agricultural Sciences, 5(1), 20-36.

Sharma, P., Bhatt, D., Zaidi, M. G. H., Saradhi, P. P., Khanna, P. K., & Arora, S. (2018). Silver nanoparticle-mediated enhancement in growth and yield of wheat (Triticum aestivum). Journal of Plant Nutrition, 35(7), 1080-1094.

Siddiqui, M. H., Al-Whaibi, M. H., Firoz, M., & Al-Khaishany, M. Y. (2015). Role of nanoparticles in plants. In Nanotechnology and plant sciences (pp. 19-35). Springer, Cham.

Suriyaprabha, R., Karunakaran, G., Yuvakkumar, R., Rajendran, V., Kannan, N., & Velmurugan, P. (2012). Growth and physiological responses of maize (Zea mays L.) to porous silica nanoparticles in soil. Journal of Nanoparticle Research, 14, 1294.

Tripathi, D. K., Singh, S., Singh, S., Mishra, S., Chauhan, D. K., & Dubey, N. K. (2017). Micronutrients and their diverse role in agricultural crops: Advances and future prospective. Acta Physiologiae Plantarum, 39(8), 155.

Tsao, R. Chemistry and biochemistry of dietary polyphenols. Nutrients 2010, 2, 1231–1246.

Wu, M., & Li, Z. (2022). Application of nanoparticles in agriculture: Methods of delivery and their effects on plant growth and development. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 70(10), 2752-2761

Xiong, L., Wang, P., & Kopittke, P. M. (2018). Tailoring hydroxyapatite nanoparticles to increase their efficiency as phosphorus fertilisers in soils. Geoderma, 323, 116-125.

Zhao, L., Lu, L., Wang, A., Zhang, H., Huang, M., Wu, H., ... & Ji, R. (2020). Nano-biotechnology in agriculture: use of nanomaterials to promote plant growth and stress tolerance. Journal of agricultural and food chemistry, 68(7), 1935-1947.

VII. AUTORES

Mercedes Georgina Ramírez Aragón
https://orcid.org/0000-0002-8044-3893

Oscar Emmanuel Gómez García
https://orcid.org/0009-0003-0757-9019

Eduardo Arón Flores Hernández
https://orcid.org/0000-0001-7358-4578

Ruben López Salazar
https://orcid.org/0000-0003-4300-6931

Victoria Jared Borroel García
https://orcid.org/0000-0003-1752-5586

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

Desarrollo de Interfaz y Diseño Electrónico para un Prototipo Artromotor Rehabilitador de Rodilla

Padilla-Silva, A.F.[1]✉; González-Vargas, L.A.[1]; Alvarado-Tovar, N.[2]; Machado-Díaz, E.[1]

Datos de Adscripción:

[1] Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, División de Posgrado, Av. Tecnológico No. 1555 Sur Periférico Gómez-Lerdo Km. 14.5, Ciudad Lerdo, Estado de Durango C.P. 35150.

[2] Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de la Laguna, División de Posgrado, Blvd. Revolución y Av. Instituto Tecnológico de la Laguna s/n, Primero de Cobián Centro, 27000, Torreón, Coahuila.

✉ mm2210965@itslerdo.edu.mx

***Resumen* – El presente trabajo detalla el desarrollo integral de una interfaz y diseño electrónico para un prototipo artromotor destinado a la rehabilitación de la articulación de la rodilla. El hardware electrónico seleccionado incluye el microcontrolador ESP32, un actuador de 12.5 Nm y una pantalla táctil TFT ST7789, elementos importantes para la interactividad y visualización de datos durante la terapia. En términos de software, el desarrollo se llevó a cabo en lenguaje C, aprovechando librerías específicas adaptadas al modelo de pantalla ST7789. Este enfoque permite una programación eficiente y optimizada para las funciones requeridas, garantizando una interacción fluida y precisa con el usuario durante las sesiones de rehabilitación. El artículo también aborda el diseño de una placa de circuito impreso (PCB) como parte integral del proyecto. La PCB se concibió para integrar de manera eficiente todos los elementos electrónicos y eléctricos del prototipo artromotor. Este diseño busca optimizar la conectividad, minimizar interferencias y mejorar la confiabilidad del sistema en su conjunto. El presente artículo proporciona una visión completa del desarrollo técnico, desde la elección del hardware hasta la programación en lenguaje C y la creación de una PCB, destacando la integración cuidadosa de componentes para lograr un prototipo artromotor electrónico efectivo y funcional en el contexto de la rehabilitación de la articulación de la rodilla.**

***Palabras Clave* – Interfaz, Prototipo, Rehabilitación, Software.**

***Abstract* – This work details the comprehensive development of an interface and electronic design for an arthromotor prototype intended for knee joint rehabilitation. The selected electronic hardware includes the ESP32 microcontroller, a 12.5 Nm actuator, and a TFT ST7789 touchscreen, which are essential elements for interactivity and data visualization during therapy. In terms of software, the development was carried out in C language, utilizing specific libraries adapted to the ST7789 screen model. This approach allows for efficient and optimized programming of the required functions, ensuring smooth and precise user interaction during rehabilitation sessions. The article also addresses the design of a printed circuit board (PCB) as an integral part of the project. The PCB was conceived to efficiently integrate all the electronic and electrical components of the arthromotor prototype, optimizing connectivity, minimizing interference, and improving the overall reliability of the system. This article provides a comprehensive overview of the technical development, from hardware selection to C programming and PCB creation, highlighting the careful integration of components to achieve an effective and functional electronic arthromotor prototype for knee joint rehabilitation.**

***Keywords* – Interface, Prototype, Rehabilitation, Software.**

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Sistemas artromotores de rehabilitación

La rehabilitación de la rodilla es un proceso crucial para el mejoramiento de la movilidad del funcionamiento articular después de una lesión o cirugía. Los dispositivos artromotores rehabilitadores de rodilla (ARTs) son herramientas que se utilizan para asistir y guiar el movimiento de la rodilla durante este proceso (Sánchez, 2015).

Los ARTs de rodilla se pueden clasificar en dos categorías principales:

- ARTs pasivos: Estos dispositivos no proporcionan ninguna fuerza motriz, sino que simplemente guían el movimiento de la rodilla a través de un rango de movimiento específico.
- ARTs activos: Estos dispositivos proporcionan fuerza motriz para asistir al movimiento de la rodilla, lo que puede ayudar a los pacientes con debilidad muscular o articular.

Estos dispositivos también pueden clasificarse según el tipo de movimiento que proporcionan:

- Flexo-extensión: Estos dispositivos solo realizan el movimiento de flexión y de la extensión de las rodillas.
- Multi-eje: Estos dispositivos permiten el movimiento de flexión, abducción, extensión y aducción de la articulación en cuestión.

1.2 Prototipo de órtesis aplicadas a rehabilitación

Existen actualmente diversas investigaciones en donde se busca aplicar sistemas mecatrónicos en rehabilitación, uno de ellos lo presenta (Veintimilla, 2023). El prototipo posee características similares a las órtesis utilizadas para alinear ó corregir deformidades en pacientes con movilidad reducida, ya sea parcial o temporal. Este prototipo, además, es de bajo costo y contribuye al tratamiento médico a través de terapias que ayudan a recuperar el movimiento natural de una extremidad inferior.

Su diseño se basa en la documentación científica y en la ciencia médica, proporcionando soluciones viables para mejorar la calidad de vida humana.

La combinación de nuevas tecnologías y medicina avanza a un ritmo sorprendente, y este prototipo también incorpora dispositivos y componentes electrónicos, incluyendo sensores digitales y analógicos, así como plataformas de desarrollo como Arduino. Esto permite alcanzar resultados muy aceptables y fiables en comparación con dispositivos existentes en el mundo, especialmente en países que desarrollan prótesis y órtesis cada vez más inteligentes, las cuales asisten en la rehabilitación de pacientes con lesiones temporales.

1.3 Prototipo de rehabilitador con componentes mecánico – electrónico aplicado a extremidades superiores.

El sistema de rehabilitación funcional física para el brazo propuesto por (Arellano, 2010) surge de la necesidad de innovar nuevas herramientas y técnicas médicas que colaboren en el tratamiento de traumatismos articulares, específicamente enfocados en la extremidad superior del cuerpo humano (brazo). Este sistema presenta una nueva estrategia de rehabilitación física que emplea un sistema mecánico-electrónico. El proyecto funciona en base a un motor de C.C. y una caja de transmisión como reductor de velocidad.
Se utilizan componentes mecánicos y un servomotor el cual, genera el movimiento de contracción del antebrazo a partir de un eje fijado al antebrazo (en la posición del codo) y luego lo regresa a su posición original. Esto produce un movimiento cíclico de contracción y extensión que oscila entre 0 y 150°. Además, según el tiempo o el número de repeticiones seleccionados por el usuario, permite movimientos de pronación y supinación.
El objetivo de seleccionar estos movimientos fisiológicos es simular aquellos estimulados durante una sesión de terapia física para la recuperación. El sistema no está diseñado para reemplazar por completo el trabajo e interacción del especialista, sino para convertirse en una herramienta alternativa y práctica tanto para el especialista como para el paciente. De este modo, ofrece una opción adicional para la recuperación física "pasiva", permitiendo al paciente controlar su terapia, una vez diagnosticado y siguiendo las recomendaciones del especialista, sin la necesidad de la supervisión constante de un experto.

1.4 Rehabilitador pasivo de rodilla para postoperatorios

Tomando ejemplos de prototipos aplicados en rodillas se tiene el propuesto por (Ruiz, 2017). El análisis inicial del estudio abarca diversas alternativas que tienen como base los métodos de gestión de calidad, enfocándose en adaptarse a características necesarias como antropometría, movimientos de flexiones y extensión, portabilidad del dispositivo, costo y funcionalidad.
Se implementa un sistema de control integrado que define el rango de movimiento y la velocidad del rehabilitador. Además, el sistema tiene también una aplicación Android para mejorar el control del proceso de rehabilitación de la rodilla, añadiendo la posibilidad de almacenar los datos históricos de cada paciente.
Al final del estudio, se presenta un eficiente rehabilitador de rodilla, que está adaptado a la antropometría ecuatoriana, con un rango de extensión de 0º a 120º, capacidad para realizar entre 1 y 99 repeticiones, y velocidad ajustable según las necesidades del paciente.

1.5 Dispositivo mecatrónico rehabilitador para rotura de meniscos.

Existen también investigaciones realizadas en donde se enfocan al diseño asistido por computadora. En la investigación realizada por (Flor, 2022).
Para su desarrollo, se plantearon, examinaron y evaluaron tres opciones, dimensionando los mecanismos para hacer una valoración precisa. Luego, la utilización de SolidWorks facilitó la creación del prototipo, incorporando simulación y análisis de esfuerzos, así como la posición y la velocidad.
Durante la fase de desarrollo, se eligieron materiales disponibles en el mercado y se utilizó el laboratorio de maquinado de la Universidad Politécnica Salesiana, para fabricar el tornillo que cargará con la potencia y su respectiva rosca de cuadro.
Se llevaron a cabo los cálculos necesarios para accionar y levantar la carga, lo que incluyó la selección del motor basándose en las mediciones obtenidas del par del tornillo, así como el diseño esquemático de los circuitos utilizados. Posteriormente, se implementaron los algoritmos de programación que establecen la comunicación inalámbrica entre el sistema embebido y la aplicación móvil.
Finalmente, se realizaron pruebas de funcionamiento supervisadas por especialistas en salud física con la finalidad de validar el correcto funcionamiento del dispositivo. De igual forma se llevó a cabo un análisis de costos aproximados

1.6 Dispositivo de movimiento pasivo continuo para rehabilitación de rodilla.

Entrando en investigaciones basadas en microcontroladores de software libre como Arduino se tiene el propuesto por (López, 2021). En esta investigación se desarrolló una herramienta de rehabilitación que simula los movimientos de las rodillas mediante movimientos continuos de forma pasiva.
Para su realización, se utilizaron diversas herramientas, como Microsoft Visio para la creación de diagramas para el desarrollo de los algoritmos y el software SolidWorks® para el diseño asistido por computadora del prototipo, la simulación de movimientos y las pruebas de esfuerzos estáticos y dinámicos.
También se empleó una matriz de decisión, en la cual se consideraron los elementos más importantes de los materiales que fueron utilizados, determinando que el aluminio 6061 era el material más adecuado para el dispositivo después de evaluar estos factores.
Concluyó que los materiales y componentes que fueron implementados en el prototipo pueden soportar una carga máxima de 700 N y, una vez ensamblado, se tuvieron resultados satisfactorios en las pruebas de movimientos de flexión y de extensión de la rodilla.

1.7 Aplicación del microcontrolador ESP32 en sistemas de rehabilitación.

Para este artículo se pretende el uso del microcontrolador ESP32 el cual se ha utilizado en aplicaciones de rehabilitación como la mostrada por (Tipanluisa, 2023) que implementó un guante aplicado en la mejora de dedos. Este guante automatizado emplea presión neumática para estimular el movimiento de los dedos, mejorando la movilidad y la fuerza de la mano afectada (Valdés & Pallas Areny, 2007). La tarjeta ESP32 controla tanto el movimiento del guante como la aplicación de la presión neumática. El propósito de esta

tecnología es optimizar la rehabilitación, reduciendo el tiempo y los costos del tratamiento de manera eficaz. Además, la utilización de la tarjeta ESP32 facilita un control y una personalización del tratamiento más flexibles, adaptados a las necesidades individuales de los pacientes.
De acuerdo a los resultados obtenidos, el autor determinó que el guante propuesto para la rehabilitación de dedos a través del ESP32® puede ser una herramienta prometedora como dispositivo alternativo para la recuperación de pacientes que tienen lesiones en dedos y manos. Esta técnica disminuye los costos en la rehabilitación y puede disminuir el tiempo de la misma.
Basado en el estudio del estado del arte, se define la metodología para esta investigación, que se centrará en la aplicación de actuadores de precisión, como los motores a pasos, para generar un movimiento angular que facilite la terapia física de pacientes con lesiones en la rodilla. Además, se propone el uso de ESP32 como una alternativa a los microcontroladores convencionales como Arduino o implementaciones FPGA, debido a sus capacidades de comunicación inalámbrica y su velocidad de procesamiento, que permiten optimizar los algoritmos de control de actuadores en el dispositivo.

1.8 Microcontroladores aplicados a medicina

El Trabajo Fin de Grado de (González, 2017) se centró en desarrollar sistemas integrados que combinan dispositivos electrónicos y software para aplicaciones médicas.
Durante este proyecto, se crearon dos prototipos: el primero, compuesto por las versiones A y B, se enfocó en mejorar la enseñanza médica mediante sistemas de medición ecográfica, mientras que el segundo abordó las limitaciones de un sistema de rehabilitación mediante realidad virtual existente.
Se llevó a cabo un análisis inicial de las necesidades específicas de cada sistema, evaluando los métodos disponibles para su desarrollo y su capacidad para complementar los enfoques tradicionales en educación médica y rehabilitación.
Tras seleccionar los métodos más adecuados, se procedió a describir detalladamente los prototipos desarrollados, proporcionando manuales de uso. Finalmente, se presentaron las conclusiones derivadas del proceso y se exploraron posibles direcciones futuras para la investigación en este campo.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

2.1 Selección de componentes principales

El éxito del prototipo depende en gran medida de la correcta selección e integración de sus componentes principales. Estos elementos clave no solo permiten el funcionamiento eficaz del dispositivo, sino que también aseguran la precisión y la seguridad necesarias para los ejercicios de rehabilitación.
Entre los componentes más importantes se encuentran el motor NEMA 34, el microcontrolador ESP32 y una pantalla táctil. A continuación, se detalla el papel y las características de cada uno de estos componentes en el contexto del prototipo artromotor (Putri, 2023).
El motor NEMA 34 es un componente crítico en el diseño del prototipo debido a su capacidad para proporcionar el torque y la precisión necesarios para los movimientos de flexión y extensión de la rodilla.

Tabla 1.
Datos del motor.

MOTOR 86HB250-156B NEMA 34	
Torque	12.5 Nm
Fuente de alimentación	60V
Corriente nominal	6A
Velocidad máxima	2000 rpm
Velocidad nominal	1000 rpm

Por otro lado, el controlador del motor es el responsable de gestionar la corriente que alimenta el motor, traduciendo las señales de control del microcontrolador en movimientos específicos del motor. Un controlador como el del motor NEMA 34 garantiza un funcionamiento suave y preciso del motor, evitando problemas como sobrecalentamiento o fallos en el control de movimiento.

En la Tabla 2, se muestran las características del controlador TB6600 utilizado para el movimiento del dispositivo.

Tabla 2.
Características del controlador TB6600

Característica	Descripción
Tipo de motor	Paso a paso bipolar
Voltaje de alimentación	9V a 42V
Corriente de salida	0.6A a 5A (ajustable)
Microstepping	Configurable (1, 2, 4, 8, 16)
Protección contra sobrecalentamiento	Sí
Modos de operación	CW (sentido horario), CCW (sentido antihorario), CW/CCW (bidireccional), Pulso/dirección

El segundo componente más importante es el ESP32 (Babiuch, 2019), éste es el núcleo del sistema de control del prototipo artromotor. Este microcontrolador es conocido por su capacidad de procesamiento eficiente y sus múltiples interfaces de comunicación, lo que lo convierte en una opción ideal para aplicaciones de control de motores y gestión de dispositivos.
El ESP32 se encarga de enviar las señales de control al controlador, ajustando parámetros como la velocidad, el ángulo y el rango de movimiento según los requisitos del programa de rehabilitación. También, puede recibir datos de varios sensores, proporcionando un feedback en tiempo real. El microcontrolador se presenta en la Figura 1.
Por último, ofrece capacidades de conectividad inalámbrica (Wi-Fi y Bluetooth), permitiendo actualizaciones y la monitorización en tiempo real del progreso del paciente.

Figura 1.
Placa ESP32 DEVKIT1

(Babiuch, 2019)

Para la comunicación con el operador se pretende el uso de una pantalla táctil, la cual, será la interfaz principal del usuario con el dispositivo artromotor. Agiliza la interacción directa, permitiendo a los pacientes y terapeutas configurar y monitorear las sesiones de rehabilitación de manera intuitiva y eficiente.
La pantalla cuenta con un diseño intuitivo, lo que quiere decir que está diseñada para ser fácil de usar, con menús y opciones de forma clara que permiten ajustar los parámetros del tratamiento sin necesidad de conocimientos técnicos avanzados.

2.2 Programa de control del motor

El núcleo del sistema de control es el programa desarrollado para gestionar el motor NEMA 34. Este programa es responsable de interpretar las instrucciones del usuario, traducidas a través de la interfaz táctil, y convertirlas en movimientos precisos del motor.
En el código principalmente deben definirse los pines más importantes del motor: ENABLE, DIRECTION y PULL. El código siguiente muestra estas definiciones en lenguaje C dentro del IDE de Arduino.

```
#define ENA 13
#define DIR 12
#define PUL 14
```

Luego, definirlas como salidas para que se pueda ver reflejado el movimiento del motor. También se puede observar que se está haciendo uso de la lógica invertida, estableciendo el pin ENABLE en un nivel bajo.

```
pinMode(ENA, OUTPUT);
pinMode(DIR, OUTPUT);
pinMode(PUL, OUTPUT);
digitalWrite(ENA, LOW);
```

Después se muestra como 'mover_motor' controla el motor paso a paso para moverse a un ángulo específico, calculando los pasos necesarios y ajustando la dirección según sea necesario.

- 'EnviarDatos' envía información sobre el estado actual del sistema al puerto serie.
- 'Regresar' mueve el motor de vuelta a una posición predeterminada (0 grados).
- 'calc_velocidad' ajusta el tiempo de retraso entre los pasos del motor, controlando así su velocidad.

Estos componentes trabajan juntos para crear un sistema que puede controlar un motor paso a paso para la rehabilitación de la rodilla, ajustar la velocidad del movimiento y proporcionar retroalimentación a través del puerto serie.

```
void mover_motor(int angulo_objetivo){
  direccion = HIGH;
  int angulo_a_mover = angulo_objetivo -
posicion_actual;
  if(angulo_a_mover < 0){
    direccion = LOW;
    angulo_a_mover = -angulo_a_mover;
  }
  int pasos = angulo_a_mover *3200  / 360;
  digitalWrite(DIR, direccion);

  for(int i = 0; i < pasos; i++){
    digitalWrite(PUL, HIGH);
    delay(retraso);
    digitalWrite(PUL, LOW);
    delay(retraso);
  }
  posicion_actual = angulo_objetivo;
}
void enviarDatos() {
  Serial.println("Enviando datos...");
  Serial.print("Repeticiones: ");
Serial.println(repeticiones);
  Serial.print("Velocidad: ");
Serial.println(velocidad);
  Serial.print("Movimiento: ");
Serial.println(movimiento);
}
void regresar(int angulo_regreso) {
  angulo_regreso = 0;
  boolean direccion = HIGH;
  angulo_objetivo = angulo_regreso;
  mover_motor(angulo_objetivo);
}
void calc_velocidad (int velocidad) {
  switch (velocidad) {
    case 1:
    retraso = 20;
    break;
    case 2:
      retraso = 15;
    break;
    case 3:
      retraso = 10;
    break;
    case 4:
      retraso = 7;
    break;
    case 5:
      retraso = 1;
    break;
  }
  if (velocidad < 1){
      retraso = 20;
    }
      else if(velocidad > 5){
      retraso = 3;
    }
  }
```

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

2.3 Proceso de diseño electrónico

El proceso de diseño electrónico es fundamental en el desarrollo del prototipo artromotor, ya que implica la creación y fabricación de una placa de circuito impreso (PCB) que integra todos los componentes electrónicos de manera eficiente y segura.

El diseño de la PCB comienza con la creación de un esquemático que representa la interconexión de los componentes electrónicos. En este esquemático, se definen las conexiones entre los pines de los componentes y se establece la lógica de funcionamiento del circuito. Se tuvieron en cuenta consideraciones como la disposición física de los componentes, la señalización de los pines y la optimización del espacio en la PCB, dando de resultado la Figura 4 y la Figura 5.

Figura 1.
Diseño del circuito impreso diseñado Eagle de AutoDesk©

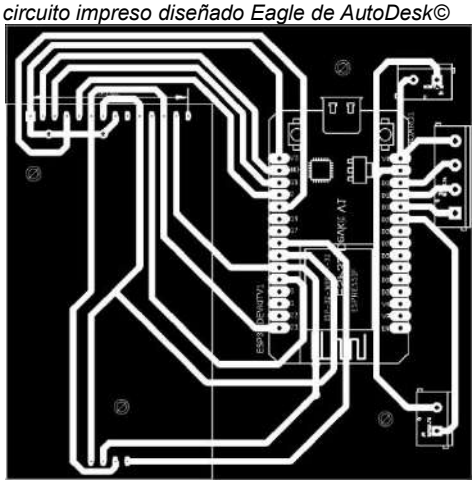
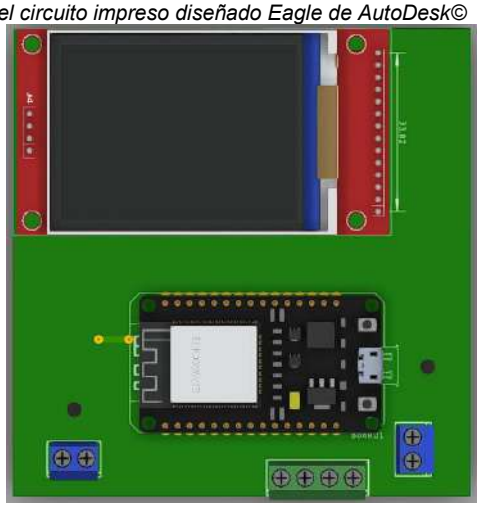


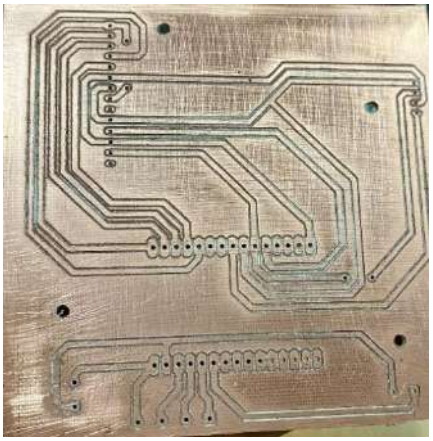
Figura 2.
Vista 3D del circuito impreso diseñado Eagle de AutoDesk©



Una vez completado el diseño del esquemático, se procede a la fabricación de la PCB utilizando un mini CNC. Esta máquina de control numérico por computadora permite grabar el diseño del circuito en una placa de material aislante, como fibra de vidrio o baquelita, mediante la eliminación de material con una fresa o punto de grabado.

Este proceso garantiza una alta precisión en la reproducción del diseño y una calidad uniforme en la producción de la PCB. La placa maquinada se presenta en la Figura 6.

Figura 3.
Circuito impreso maquinado en CNC.



Una vez que se fabrica la PCB, se procede a la integración de los componentes electrónicos. Esto implica soldar los componentes en sus respectivas ubicaciones en la placa, siguiendo el diseño del esquemático. Se presta especial atención a la correcta orientación y alineación de los componentes, así como la calidad de las soldaduras para asegurar una conexión estable y duradera.

Ensamblada la PCB, se realizan pruebas para verificar su funcionamiento y rendimiento. Esto incluye la comprobación de la continuidad de las conexiones eléctricas, la detección de posibles cortocircuitos o fallos de soldadura, y la evaluación del correcto funcionamiento de cada componente individual y del circuito en su conjunto. El sistema armado se ve en la Figura 7.

Figura 4.
Circuito impreso ensamblado

2.4 Diseño de la interfaz en la pantalla táctil

El diseño de la interfaz en la pantalla táctil se basa en principios de accesibilidad, con el objetivo de proporcionar una experiencia de usuario intuitiva y sin complicaciones. Se prioriza la simplicidad y la claridad en la disposición de los elementos de

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

la interfaz, como botones y displays, para facilitar la navegación y la selección de opciones por parte del usuario.
Una de las características clave de la interfaz de usuario es la capacidad de personalizar los parámetros de rehabilitación según las necesidades individuales del usuario. Se proporcionan opciones para ajustar el rango de movimiento, número de repeticiones y la velocidad, lo que permite adaptar el tratamiento a diferentes niveles de condición física, etapas de recuperación y objetivos terapéuticos.
En cuestiones de programación de la interfaz en la pantalla táctil, se hizo en lenguaje C, haciendo uso de librerías exclusivas para el modelo de la pantalla, TFT ST7789, las cuales permitían darle color, dimensión, ubicación, entre otras cosas, a los elementos visuales.
Para comenzar a diseñar la interfaz visual fue necesario determinar ciertas coordenadas, para a través de ellas, asignarle una ubicación a cada uno de los textos, botones y displays contenidos en la pantalla, como se muestra en el siguiente segmento de código:

```
#include "FS.h"
#include <TFT_eSPI.h>
#include <SPI.h>

#define FRAME_X 5
#define FRAME_Y 65
#define FRAME_W 160
#define FRAME_H 35
```

Luego, a través de ciertas funciones, se definía el color del borde, el relleno del recuadro, el color, tamaño y tipo de fuente a elegir, así como también asignarles ciertas funciones a los botones/displays, como se muestra a continuación:

```
void drawFrame()
{
  //dibujar el rectángulo
  tft.drawRect(FRAME_X, FRAME_Y, FRAME_W, FRAME_H,
TFT_BLACK);
  tft.fillRect(FRAME_X, FRAME_Y, FRAME_W, FRAME_H,
TFT_BLACK);
  //añadir la etiqueta al botón
  tft.setCursor(FRAME_X + 5, FRAME_Y + 7);
  tft.setTextColor(TFT_YELLOW);
  tft.setTextFont(4);
  tft.print("Repeticiones");
}
```

Todo lo anterior se repetía las veces que fueran necesarias para crear la interfaz visual en la pantalla táctil. Cabe mencionar que para hacer uso de la función TOUCH de la pantalla había que definirla dentro del programa, así como también una función para calibrarla, la cual se podía hacer cada vez que se encendiera la pantalla o dejarla predeterminada para calibrarla una única vez. Se tomó como referencia el archivo de ejemplo de la librería de Adafruit para el manejo de la pantalla. A continuación, se muestran las funciones anteriormente mencionadas:

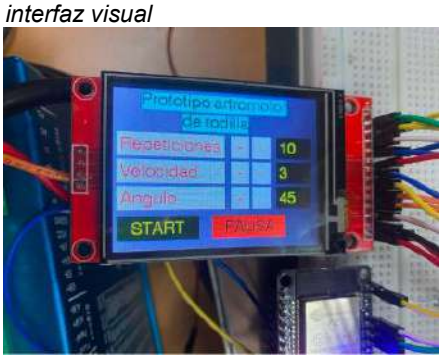
```
void touch_calibrate()
{
  uint16_t calData[5];
  uint8_t calDataOK = 0;
  if (!SPIFFS.begin()) {
    Serial.println("Formateando archivo de sisema");
    SPIFFS.format();
    SPIFFS.begin();
  }
  if (SPIFFS.exists(CALIBRATION_FILE)) {
    if (REPEAT_CAL)
    {
      SPIFFS.remove(CALIBRATION_FILE);
    }
    else
    {
      File f = SPIFFS.open(CALIBRATION_FILE, "r");
      if (f) {
        if (f.readBytes((char *)calData, 14) == 14)
          calDataOK = 1;
        f.close();
      }
    }
  }
  if (calDataOK && !REPEAT_CAL) {
    tft.setTouch(calData);
  } else {
    tft.fillScreen(TFT_BLACK);
    tft.setCursor(20, 0);
    tft.setTextFont(2);
    tft.setTextSize(1);
    tft.setTextColor(TFT_WHITE, TFT_BLACK);

    tft.println("Presiona las esquinas indicadas");
    tft.setTextFont(1);
    tft.println();

    if (REPEAT_CAL) {
      tft.setTextColor(TFT_RED, TFT_BLACK);
      tft.println("Calibrar de nuevo");
    }
    tft.calibrateTouch(calData, TFT_MAGENTA,
TFT_BLACK, 15);
    tft.setTextColor(TFT_GREEN, TFT_BLACK);
    tft.println("Calibración completada
    File f = SPIFFS.open(CALIBRATION_FILE, "w");
    if (f) {
      f.write((const unsigned char *)calData, 14);
      f.close();
    }
  }
}
```

El diseño de la interfaz se centra en diseñar una experiencia de usuario intuitiva, interactiva y personalizable.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se llevaron a cabo pruebas para evaluar el funcionamiento del diseño electrónico y el desarrollo de software del prototipo artromotor. Estas pruebas incluyeron la verificación de la funcionalidad de los componentes electrónicos. Además, se evaluó la comunicación correcta entre los diferentes elementos del sistema, como la transmisión de datos entre el microcontrolador y la pantalla táctil. La pantalla funcionando se muestra en la Figura 8.

Figura 5.
Ejemplo de interfaz visual



Como se puede observar en la Figura 9. la interfaz visual cuenta con tres parámetros ajustables, 'Repeticiones', 'Velocidad (en escala del 1 al 5, siendo 1 la más lenta y la 5 la más alta)' y 'Ángulo'(grados), en los cuales se puede disminuir o aumentar el valor, según sea necesario; y también cuenta con los botones 'Start' y 'Pausa', que como sus nombres lo indican, sirven para iniciar el ciclo de terapia y para interrumpirla, respectivamente.

Las pruebas incluyeron la programación de varios ángulos de movimiento a través de la pantalla táctil. Los resultados mostraron que el sistema podía ejecutar estos movimientos con una buena precisión, lo cual es adecuado para los fines de rehabilitación.

La interfaz táctil permitió a los usuarios ajustar fácilmente los parámetros de movimiento, como el ángulo y la velocidad, observándose que el motor respondía de manera rápida y precisa a estos ajustes.

Figura 6.
Ejemplo de movimiento de motor con interfaz

Figura 7.
Ejemplo 2 de movimiento a través de interfaz.

IV. CONCLUSIONES

A lo largo de este proyecto, se ha demostrado la viabilidad y efectividad de integrar tecnología electrónica y mecánica para proporcionar un enfoque innovador y personalizado en la recuperación de lesiones de rodilla.

El diseño cuidadoso del sistema de control, que incluye el movimiento preciso del motor paso a paso y la ajustable velocidad, ofrece la posibilidad de adaptar los ejercicios de rehabilitación a las necesidades específicas de cada paciente. La implementación de un microcontrolador ESP32 y una pantalla táctil facilita la interacción intuitiva y el monitoreo del progreso durante las sesiones de rehabilitación.

Los resultados obtenidos de este proyecto sugieren que el prototipo artromotor tiene el potencial de mejorar significativamente los tiempos de recuperación y la eficacia del tratamiento para una variedad de lesiones deportivas de rodilla. Además, la versatilidad y la capacidad de personalización del dispositivo lo hacen adecuado para su aplicación en diferentes entornos.

En última instancia, este trabajo subraya la importancia de la colaboración interdisciplinaria entre ingenieros, terapeutas y profesionales médicos para el desarrollo de soluciones innovadoras en el campo de la rehabilitación.

V. AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos al Tecnológico Nacional de México (TecNM) y al Instituto Tecnológico Superior de Lerdo por las facilidades brindadas para la realización del presente trabajo. En especial a la división de Posgrado.

VI. REFERENCIAS

Arellano, L. (2010). SISTEMA ROBÓTICO DE REHABILITACIÓN FUNCIONAL. *Intercon*.

Babiuch, M. (2019). Using the ESP32 microcontroller for data processing. *20th International Carpathian Control Conference*.

Flor, J. (2022). *Diseño y construcción de un prototipo rehabilitador post-operatorio pasivo de rodilla para rotura de meniscos.* Universidad Politécnica Salesiana.

González Alonso, J. (2017). *Periféricos basados en Arduino para interacción con sistemas médicos de simulación y rehabilitación.* Universidad de Valladolid.

López, J. (2021). *Diseño de un dispositivo de movimiento pasivo continuo para rehabilitación de rodilla.* San Pedro Sula: UNITEC.

Putri, A. (2023). Implementation of nema-17 stepper motor and SG-90 servo motor as mechanical drivers on spinal needle positioning test equipment. *IEEE International Biomedical Instrumentation and Technology Conference (IBITeC)*, 52-57.

Ruiz, B. (2017). *Prototipo de rehabilitador pasivo de rodilla para asistencia postquirúrgica.* Ibarra: Universidad Técnica del Norte.

Sánchez Mayo, B. (2015). Recuperación de la artroplastia de rodilla a través de la movilización pasiva continua. *Anales del sistema sanitario de Navarra* , 297-310.

Tipanluisa, C. (2023). *Control de un guante automatizado para la rehabilitación de dedos por medio de una tarjeta esp32.* Tecnológico Universitario Vida Nueva.

Valdés, F., & Pallas Areny, R. (2007). *Microcontroladores.* Barcelona: Marcombo.

Veintimilla, M. (2023). *Diseño e implementación de un dispositivo electrónico para la rehabilitación de extremidad inferior en pacientes con pérdida de movilidad parcial.* Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo.

VII. AUTORES

Andrea Fernanda Padilla Silva

https://orcid.org/0000-0003-2447-8925

Luis Amado González Vargas

https://orcid.org/0009-0008-9094-6188

Noe Alvarado Tovar

https://orcid.org/0000-0001-6465-9961

Eduardo Machado Díaz

https://orcid.org/0000-0003-2610-7570

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

Análisis del Contenido Proteína y Cenizas de Productos Comerciales de *Moringa Oleifera* Lam

Carrión-Delgado, J.M.[1], Valdés- Rodríguez, O.A.[2]✉

Datos de Adscripción:
[1] Tecnológico Nacional de México/ITS de Xalapa Campus Xalapa, División de ingeniería industrial, Sección 5A Reserva Territorial S/N, Santa Bárbara, 91096 Col. Santa Bárbara, Xalapa, Veracruz, México.
[2] El Colegio de Veracruz; Carrillo Puerto 26, Zona Centro, Centro, 91000 Xalapa-Enríquez, Veracruz, México.
✉ dra.valdes.colver@gmail.com

Resumen **- El objetivo de la investigación fue examinar el contenido de proteína y cenizas de productos comerciales de hojas de Moringa (*Moringa oleifera* Lam.) de cinco estados de México y determinar si existen diferencias estadísticas entre ellas. El alcance de la investigación incluyó el análisis del contenido proteína y ceniza de productos comerciales de hojas de Moringa provenientes de cinco estados de México, con el fin de determinar si existen diferencias significativas entre ellos. Se llevó a cabo un estudio comparativo del contenido de proteína y cenizas de los productos, considerando factores como la concentración de proteínas en las hojas de Moringa. El material se obtuvo de establecimientos del mercado local, observando que fuesen de diferente procedencia y marca. Se empleó el método Kjeldahl para analizar las proteínas y el método de calcinación para evaluar la cantidad de ceniza. Se encontraron diferencias significativas entre las muestras analizadas, tanto entre diferentes presentaciones como entre muestras de productos similares, como las hojas secas. Destaca la presentación de un producto en cápsulas proveniente del sur de Veracruz con un nivel de proteína por encima del 32%, mientras que los demás se encuentran entre el 29% y el 20%. Por otro lado, la cantidad de cenizas encontrada en la presentación en hojas enteras fue en promedio del 9.02%, mientras que las presentaciones en cápsulas y en polvo, que tienen un procesamiento más extenso, presentaron un promedio de más del 10% de cenizas.**

Palabras Clave **– Agroclimatología, método de c*alcinación, método Kjeldahi, nutrientes, tratamiento térmico.***

Abstract **- The research aimed to examine the protein and ash content of commercial *Moringa oleifera* Lam. leaf products of five states of Mexico and to determine if there are statistically significant differences among them. The scope included analyzing the protein and ash content of these products to identify any significant variations. A comparative study was conducted on the protein and ash content, considering factors such as the protein concentration in Moringa leaves. The sample were obtained from local market establishments, representing different origins and brands. The Kjeldahl method was used for protein analysis, while the calcination method was employed to evaluate ash content. Significant differences were found between the analyzed samples, both among different products presentations and between similar products, such as dried leaves. Notably, the capsule presentation from southern Veracruz exhibited a protein level exceeding 32%, while the others ranged between 20% and 29%. In terms of ash content, the whole leaf presentation had an average of 9.02%, whereas the more processed capsule and powder presentation averaged over 10% ash.**

Keywords **- *Agroclimatology, calcination method, Kjeldahi method, nutrients, heat treatment.***

I. INTRODUCCIÓN

La especie *Moringa oleifera* (Moringa) es un árbol exótico proveniente de Asia. Actualmente se encuentra distribuida en la mayor parte de las zonas tropicales y subtropicales del mundo, en su mayoría en regiones poco desarrolladas (Arias Sabín, 2014). Se distinguen más de 13 especies del género Moringa; sin embargo, la más popular es la especie *Moringa oleifera* Lam. que se distribuye desde África, Madgascar, Este de Asia hasta el subcontinente indio (Olson, 2010) y en distintas regiones del continente americano. Se caracteriza por ser una plántula de rápido crecimiento que puede alcanzar hasta 12 m de altura. Una cualidad destacada de Moringa es su resistencia a la sequía y su potencial agronómico para ser cultivada en áreas áridas y semiáridas (Sánchez et al., 2013). Se desarrolla óptimamente a altitudes inferiores a los 500 metros sobre el nivel del mar y por debajo de los 1,500 metros. Requiere al menos 250 mm de precipitación anual (Carrión-Delgado et al., 2022). Según algunos autores (Carrión-Delgado et al., 2021; Valdés-Rodríguez et al., 2018), prospera mejor en suelos con un pH entre 4.5 y 8.0 y se obtiene una mayor productividad en suelos ligeramente ácidos y de textura arcillo-arenosa, ya que los suelos mal drenados pueden perjudicar su crecimiento. Este árbol es conocido por varios nombres, como árbol de la vida, árbol generoso y árbol milagroso (Bonal Ruíz et al., 2012) , debido a las numerosas propiedades que se le atribuyen (Asensi et al., 2017; Gopalakrishnan et al., 2016; Guzmán-Maldonado et al., 2015; Sánchez-Peña et al., 2013). El árbol de Moringa ha sido utilizado en el sur de Asia como alimento y medicina tradicional (Olson & Alvarado-Cárdenas, 2016). El auge en el consumo de la planta se basa en la atribución popular sobre sus propiedades alimentarias y beneficios para la salud; al respecto, Olson & Fahey (2011) señalan la importancia de distinguir entre los usos respaldados por el conocimiento científico y aquellos que no lo están. En los últimos años, las investigaciones científicas han experimentado un aumento significativo, motivado en gran medida por los descubrimientos en laboratorio que han revelado el alto contenido nutricional; de esta manera, se ha comprobado

que todas las partes de la planta son comestibles, desde las hojas hasta la raíz, y son una excelente fuente de proteínas, vitaminas y minerales como vitamina A, B, C, calcio, cobre, cromo, hierro, magnesio, manganeso, fósforo, proteínas y zinc. También destacan que Moringa contiene todos los aminoácidos esenciales, convirtiéndola en un alimento muy completo (Sánchez et al., 2013;Velázquez-Zavala et al., 2016).
En México el cultivo a escala comercial de Moringa es una actividad muy reciente, aunque su cultivo experimental se inició desde 2012 (Valdés-Rodríguez et al., 2014). De acuerdo con Carrión-Delgado et al. (2021), destacan cuatro entidades federativas en la producción de Moringa: Michoacán, Oaxaca, Puebla y Quintana Roo.

Los estudios realizados sobre Moringa se han enfocado principalmente en su aspecto agronómico y socioeconómico (Mota-Fernández et al., 2019; Salas-Martínez & Valdés-Rodríguez, 2018; Valdés- Rodríguez et al., 2014). Sin embargo, con relación a la investigación bromatológica, específicamente sobre los componentes alimenticios de la Moringa, hay escasos antecedentes en la entidad veracruzana. Un ejemplo de este tipo de estudio es el realizado por Vázquez-León et al. (2017), quienes analizaron el contenido de ácido gálico, fenólicos totales, carotenoides totales y ácido ascórbico en las hojas de Moringa, considerando factores climáticos, edad del árbol y parámetros del suelo. Otro ejemplo es el estudio de Ruiz-Hernández et al. (2021), en el cual se examinó el contenido de proteínas y cenizas en hojas de un cultivar de Moringa.

Son diversos los factores que influyen en el contenido nutricional de Moringa, (Del Toro et al., 2011). Por ejemplo, Segarra Lluisupa (2018), menciona que la distancia a la cual son sembradas las plantas influye en la producción de biomasa en follaje, ya que sus resultados muestran que la distancia de 1.0 x 1.0 metros entre cada planta parece ser una distancia óptima en comparación con distancias de 0.5 x 0.5 y 1.0 x 0.5 metros.

El método de cultivo (orgánico o químico) es otro aspecto que se debe considerar, ya que, en función de la fertilidad del suelo, el contenido de vitaminas, minerales y fibra se incrementa (Del Toro et al., 2011). Según Méndez et al. (2018), la edad de las ramas, medida en días después del rebrote, resulta ser un factor relevante tanto en temporadas de lluvias abundantes como escasas. Además, descubrieron que las proteínas, un componente importante de Moringa en cuanto a proteína bruta, disminuyen con la edad de las ramas, presentando diferencias significativas entre todas las edades. Los valores más altos se encontraron en las ramas de 60 días de rebrote. Por lo tanto, concluyen que a medida que la planta madura, su calidad nutricional disminuye. Sobre el tamaño de los árboles de Moringa en relación con el contenido nutricional de sus hojas, Guzmán-Maldonado et al. (2015) en Guanajuato, México, encontraron que el contenido de proteína de las hojas de los árboles de 100 cm fue mayor (24.7%) que el de los árboles de 25 cm (21.1%) y 250 cm (22.3%), y menor al de la muestra comercial de Oaxaca (29.3%), por lo que hacen referencia a las implicaciones que tiene la falta de uniformidad al preparar las mezclas comerciales. No obstante, se desconoce la calidad bromatológica de muchos productos comerciales. Ya que las investigaciones encontradas analizaron muestras de cultivares, pero no se encontraron estudios sobre contenido de proteínas y cenizas en productos comerciales derivados de Moringa (Cerdas-Ramírez, 2017; Ruiz-Hernández et al., 2021).
En el contexto mencionado anteriormente, donde se analiza el contenido nutricional de las hojas secas de este árbol, es crucial profundizar en el conocimiento en este campo. Esto se debe a la creciente importancia que varios sectores de la sociedad están dando al valor nutricional, la producción y el consumo de productos de manera sostenible. El interés en la Moringa como un recurso para mejorar la salud humana y como fuente de nutrientes está en constante aumento.

En el estado de Veracruz, ha comenzado a surgir el aprovechamiento comercial de la planta de Moringa. Dado el potencial para la expansión de su cultivo, resulta relevante llevar a cabo un estudio que permita evaluar y comparar el contenido nutricional de las hojas de Moringa provenientes de distintas regiones de México. En este sentido, el objetivo de la investigación fue analizar el contenido de proteína y cenizas de productos comerciales elaborados a partir de hojas de *Moringa oleifera* Lam. provenientes de cinco estados mexicanos y adquiridos en el mercado local de Xalapa, Veracruz, con el propósito de identificar posibles variaciones entre ellos.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

Durante el periodo comprendido entre octubre de 2022 y septiembre de 2023, se llevó a cabo el estudio experimental con el fin de analizar el contenido de proteínas y cenizas en diversos productos comerciales de Moringa, tales como hojas secas, polvo y cápsulas. La omisión del nombre de las marcas comerciales se realizó con el propósito de mantener la neutralidad y objetividad del estudio. El enfoque principal se centra en los resultados y conclusiones obtenidos a través del análisis de los productos. Se hace referencia de forma genérica a los productos analizados utilizando el nombre de la entidad federativa de origen y un código de identificación (ID). Para el estudio experimental se seleccionaron productos comerciales de Moringa, tanto locales como foráneos. Estos fueron rastreados en tiendas naturistas de Xalapa, Veracruz, y posteriormente se verificó su origen a través de búsquedas en Internet. Finalmente, los productos fueron adquiridos con los distribuidores locales en tiendas naturistas y transportados al laboratorio para su análisis. Se analizaron un total de diez productos comerciales provenientes de cinco entidades federativas: Chihuahua, Estado de México, Nuevo León, Puebla y Veracruz. Para determinar el contenido de proteínas y cenizas en cada producto, se utilizó una muestra de 300g de cada presentación. La Tabla 1 muestra las presentaciones comerciales que fueron analizadas, así como su lugar de procedencia. Como se observa algunas entidades contribuyeron con más de una presentación, como es el caso de Nuevo León que presentó dos tipos diferentes: polvo y cápsulas, de cuatro marcas comerciales distintas. Por otro lado, Veracruz presentó dos tipos diferentes: hojas y cápsulas, de tres marcas comerciales diferentes. Mientras tanto, Chihuahua una sola marca comercial de hojas, el Estado de México una sola marca comercial de polvo y Puebla una sola marca comercial de cápsulas.

Tabla 1.
Muestras analizadas de productos comerciales de Moringa por tipo de presentación y entidad federativa de procedencia.

ID Producto	Presentación	Gramaje por ID	Entidad de procedencia
1	Hojas	300	Chihuahua
2	Polvo	300	Estado de México
3	Polvo	300	Nuevo León
4	Polvo	300	Nuevo León
5	Cápsulas	300	Puebla
6	Cápsulas	300	
7	Cápsulas	300	
8	Cápsulas	300	Veracruz
9	Cápsulas	300	Veracruz
10	Hojas	300	
Total	10		

2.1. Contenido de proteínas y cenizas

En la determinación del contenido de proteínas se siguió el método Kjeldahl, tal como lo describe Nielsen (2017). Este método, es utilizado en la industria alimentaria y agroalimentaria para calcular el contenido proteico de los alimentos a partir del análisis del nitrógeno presente en la muestra. Para la determinación del contenido de proteína se utilizó el siguiente material y equipo: matraz de digestión para micro - kjeldahl, pipeta de volumen 3.0 ml, Erlenmeyer de 125.0 ml, probeta de 10.0 ml, Beaker de 100 ml, aparato de destilación para micro - kjeldahl, bureta de 50.0 ml, goteros, pizeta, balanza analítica, espátula y aparato digestor para micro - kjeldahl.
El procedimiento para el tratamiento de la muestra constó de varios pasos, que incluyeron la digestión de la muestra con ácido sulfúrico concentrado y un catalizador, la neutralización con hidróxido de sodio, la destilación para separar el amoníaco y la titulación para determinar la cantidad de nitrógeno presente en la muestra (Amaya, 2019). Lo anterior implicó la ebullición de la muestra en ácido sulfúrico concentrado, lo que condujo a la destrucción oxidativa de la materia orgánica y a la reducción del nitrógeno orgánico a amoníaco, que luego se retuvo como bisulfato de amonio y se pudo determinar en laboratorio (Romero, 1997).

En la determinación de las cenizas, se empleó el método de calcinación, propuesto por Park & Bell (2002), para cenizas en seco. Durante el experimento, se utilizó un crisol de porcelana que fue previamente limpiado y calcinado para eliminar impurezas, pinzas de laboratorio, un horno de mufla o mufla eléctrica, guantes de seguridad, un hornillo o quemador Bunsen, un desecador y una cantidad de 300g de Moringa. Para llevar a cabo el proceso de calcinación, se procedió a quemar la muestra con el fin de eliminar toda la materia orgánica y conservar únicamente las cenizas inorgánicas, que contienen los minerales y elementos presentes en la muestra. En la preparación de la muestra, se procedió a pesar un crisol previamente limpio y calcinado en una balanza analítica para determinar su peso exacto. Luego, se tomó una muestra representativa por procedencia, de Moringa, de 300 gramos, utilizando una espátula para manipularla. La muestra completa fue posteriormente pesada en la balanza analítica y se registró su peso. Durante este proceso, se llevó a cabo la incineración de la muestra con el objetivo de eliminar por completo la materia orgánica y conservar únicamente las cenizas inorgánicas, que contienen los minerales y elementos presentes en la muestra. Se realizó este procedimiento para cada una de las diferentes presentaciones. Determinar el contenido de cenizas fue crucial por diversas razones, como parte del análisis nutricional y como paso inicial para un análisis elemental específico de alimentos. Dado que algunos alimentos son ricos en minerales particulares, por lo que conocer el contenido de cenizas resulta relevante (Marshall, 2010).
Una vez realizado el análisis de cada uno de los datos, estos fueron tabulados y comparados entre sí para evaluar el aporte de los productos comerciales de hojas de Moringa. Los resultados se expresan en unidades de porcentaje (gramos por cada 300g) de muestra consumida.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Contenido de proteínas

La Tabla 2 muestra el resultado del análisis del contenido de proteína expresado en porcentaje. Sobresale la muestra del producto en cápsulas procedente del Sur de la entidad veracruzana (ID7), con un contenido de proteína superior al 32%; mientras que el resto se ubica entre 29% y 20%; la muestra identificada con el número ID7 posee el valor más bajo, ubicándose apenas por encima del 15%. El promedio de todas las muestras es de 25.00 ± 4.99% y el rango de 15.86, lo cual refleja diferencias entre el valor más bajo y el más alto de más del 15%. Este promedio total es diferente al reportado por Reyes Camargo & Traeger Romero (2023) que encontraron 33.84%, mientras que Moyo et al. (2011) reportaron 30.29% y Peñalver et al. (2022) 25.30%, que corresponden a un porcentaje superior de 9.14%, 5.59% y 0.60%.

Tabla 2.
Resultado del análisis de muestras de hojas de Moringa de diferentes presentaciones y procedencias

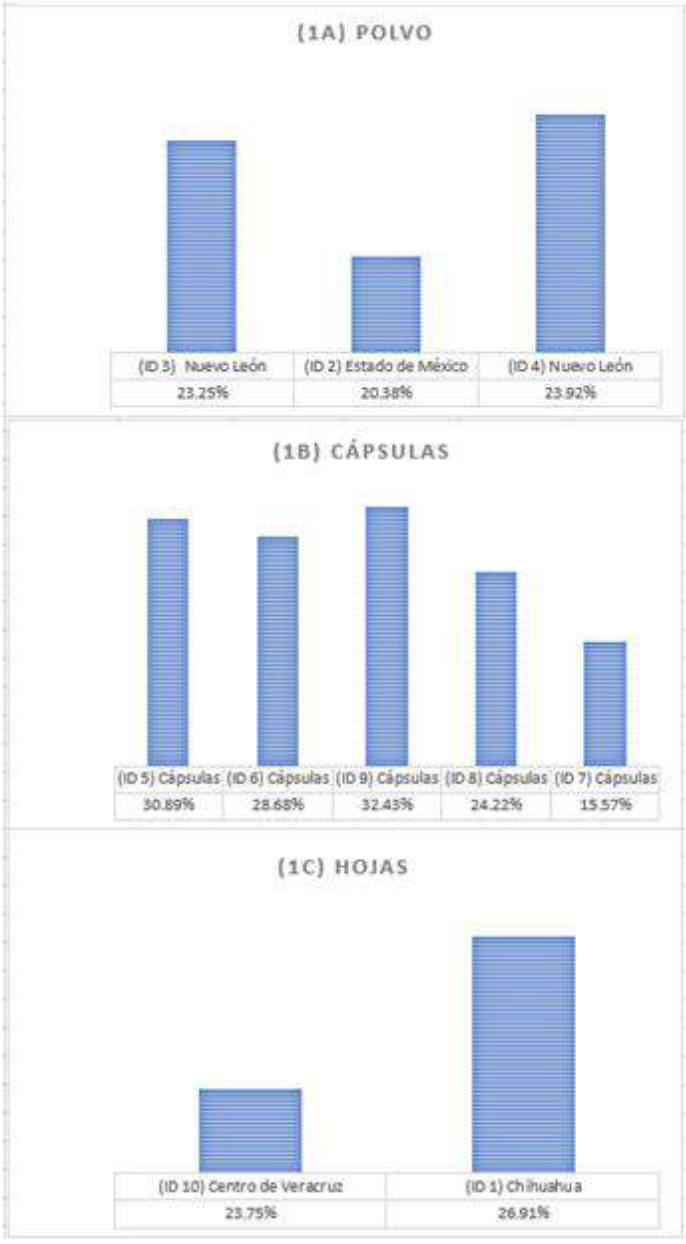
ID Producto	Presentación	Entidad de procedencia	Proteína (%)	Promedio (%)
3	Polvo	Nuevo León	23.25	22.50
2	Polvo	Estado de México	20.38	
4	Polvo	Nuevo León	23.92	
5	Cápsulas	Nuevo León	30.89	26.35
6	Cápsulas	Nuevo León	28.68	
9	Cápsulas	Sur Veracruz	32.43	
8	Cápsulas	Veracruz	24.22	
7	Cápsulas	Puebla	15.57	
10	Hojas	Centro de Veracruz	23.75	25.33
1	Hojas	Chihuahua	26.91	
		Promedio total		24.70

Por otro lado, con respecto a la proteína contenida en productos comerciales según su lugar de origen, en la Figura 1A se destacan las marcas (ID3, ID4) de Nuevo León en la presentación de polvo de Moringa, debido a su alto contenido de proteína. En tanto, en la Figura 1B, en la categoría de cápsulas, la región con mayor porcentaje de proteína fue el Sur de Veracruz (ID9), seguida de Nuevo León (ID6). Por último, en la categoría de hojas, el mayor valor proteico lo obtuvo Chihuahua (ID1).

En la Figura 1C se muestran los valores de proteínas obtenidos a partir de la hoja de Moringa, los cuales promedian un 25.3%. Estos valores son ligeramente superiores a los reportados por Lezama et al. (2017) en su análisis de tres presentaciones de hojas deshidratadas de Moringa, provenientes de dos municipios de Veracruz (Tierra Blanca y Tepaxtlaco) y una marca comercial, los cuales mostraron porcentajes de 23.62%, 1.75% y 8.31%, respectivamente.

En alusión a las marcas comerciales, Amabye (2016) encontró valores de proteína cruda entre 10.74% a 11.48%, para diferentes muestras de marcas comerciales en un mercado de la ciudad de Makelle ubicada al norte de la capital de Etiopía. En países de la misma región del continente africano, como el Sudán, bajo condiciones semiáridas, el contenido de proteína fue de apenas 8.1%, mientras que, en Chad, Mbailao et al. (2013) reportaron que las hojas de Moringa son una rica fuente de proteínas, por tener un promedio de 31.5%. Algunos estudios que consideraron, al igual que en el presente, muestras de diferentes procedencias, sugieren que el factor que más influye en el contenido de nutrientes, entre ellos las proteínas, es la calidad del suelo, aunado a algunas otras condiciones ambientales (Liyanage et al., 2014). A su vez, Asante et al.(2014) compararon cultivos en dos regiones con características agroecológicas bien definidas, por un lado la sabana en el país de Guinea, y por otro las zonas de bosques semi caducifolios de Ghana, cuyos resultados no mostraron diferencias significativas en los niveles de proteína cruda y carbohidratos de las hojas de Moringa de las dos zonas ecológicas, y por lo tanto concluyeron que la zonificación agroecológica no tuvo un efecto significativo en los niveles de la mayoría de nutrientes en las hojas, sin embargo tampoco se muestran evidencias claras del análisis de suelo que permitan apoyar o rechazar lo mencionado respecto a la influencia de la mayoría de nutrientes en las hojas de Moringa, como lo mencionan otros autores (Alfaro, 2008; Liyanage et al., 2014; Márquez-Hernández et al., 2017). En este sentido, la falta de uniformidad en el contenido de proteína de las hojas de Moringa, ya sea por presentación o lugar de origen, puede estar influenciada por diferentes factores, como, por ejemplo, si provienen de diferentes zonas o regiones. Con una variación tan alta, es probable que las mezclas de hojas de Moringa de diferentes orígenes presenten poca uniformidad en su composición. Por lo tanto, es importante tener precaución al promover mezclas de hojas de Moringa como productos de alto valor nutracéutico (Guzmán-Maldonado & Díaz Fuentes, 2017). Mientras que otros factores podrían estar relacionados con las características ambientales (Lamidi et al., 2017; Márquez Hernández et al., 2017). En este sentido, Velázquez-Zavala et al. (2016) también consideraron que existen factores que influyen en el contenido bromatológico de las hojas, como la densidad de siembra, el periodo de establecimiento, la frecuencia de corte, el método de secado, la variedad genética, la fertilidad y el tipo de suelo, así como por las variaciones ambientales y el manejo agronómico. Aquí también es importante señalar, con respecto al método de deshidratado, que según Ayegba et al. (2017), la temperatura a la que se someten las hojas de Moringa durante el proceso de deshidratado previo a su preparación puede afectar la cantidad y calidad de los nutrientes presentes en las hojas. Por ejemplo, en un estudio sobre la influencia de la temperatura y el método de secado, se utilizaron distintos enfoques, como el secado al horno (a 60 °C y a 105 °C) y el secado al sol (a temperatura ambiente a la sombra, con una temperatura promedio de 30 °C, y secado al sol con temperaturas variables). Los resultados revelaron que el contenido nutricional de las hojas de Moringa varía según las condiciones de secado utilizadas. De esta manera, se observó que el secado en horno a 60 °C brindó los mejores resultados en cuanto a la conservación de los nutrientes (Ayegba et al., 2017). Dado que las muestras para el presente estudio fueron adquiridas con distribuidores del producto, información de esa naturaleza no es incluida en el empaque y no se tiene al alcance para obtenerla; no obstante, se puede presumir que los métodos de secado fueron diferentes, dadas las diversas regiones de origen y compañías que venden el producto.

Figura 1.
Proteína en productos comerciales de Moringa



3.2. Contenido de cenizas

La Tabla 3 muestra el resultado del análisis de comparación del contenido de cenizas según el tipo de presentación de las muestras de Moringa analizadas. En relación al contenido de cenizas, el porcentaje promedio total de 9.37% encontrado en este estudio fue aproximado a los reportados por Peñalver et al. (2022) con 9.95% y Bocarando-Guzmán et al. (2022) con 9.68%. Sin embargo, Moyo et al. (2011) informaron que las hojas secas de moringa de Acapulco y Guerrero tenían un contenido de cenizas de 7.64%, que son valores inferiores a los encontrados en este estudio.

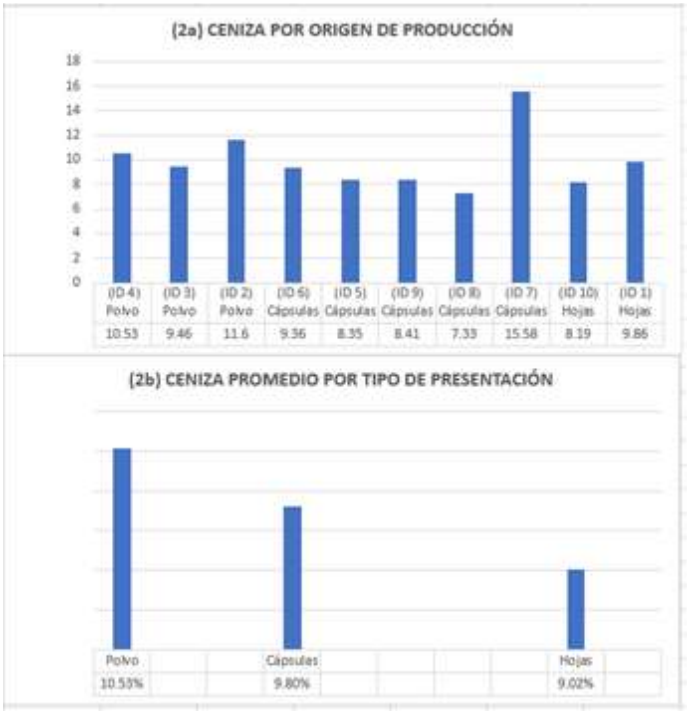
Tabla 3.
Comparación del contenido de cenizas según el tipo de presentación de las muestras de hojas de Moringa analizadas.

ID Producto	Presentación	Cenizas (%)	Promedio (%)
4	Polvo	10.53	10.53%
3	Polvo	9.46	
2	Polvo	11.6	
6	Cápsulas	9.36	9.80%
5	Cápsulas	8.35	
9	Cápsulas	8.41	
8	Cápsulas	7.33	
7	Cápsulas	15.58	
10	Hojas	8.19	9.02%
1	Hojas	9.86	

La Figura 2 muestra los resultados del contenido de ceniza en diferentes presentaciones de productos comerciales. Conforme a los hallazgos de este estudio, se obtuvo un porcentaje de 9.80% de ceniza en las cápsulas, lo que representa una diferencia negativa de 0.73% en comparación con la presentación en polvo, y de 0.78% con la presentación en hojas. En estudios comparativos, se han reportado resultados diferentes a los obtenidos en este estudio, por ejemplo, Lezama et al. (2017) encontraron un contenido mineral del 6.92% en cápsulas de Moringa comercial. Asimismo, se observó que las hojas de Tepatlaxco, Veracruz, presentaron un contenido de ceniza del 4.31%, mayor que el encontrado en las hojas de Tierra Blanca, Veracruz, que fue de 3.65%.
En la Figura 2b se observa el contenido promedio de cenizas según el tipo de presentación. Se aprecia que la variación en el contenido de cenizas está relacionada con la forma en que se presenta el producto. Por ejemplo, el promedio de cenizas en la presentación en hojas enteras fue 0.76% inferior al promedio de todas las presentaciones, mientras que la presentación en polvo, que implica un mayor procesamiento, mostraba en promedio porcentajes superiores al 10%. Con relación a esto, la presencia de cenizas puede considerarse como un indicador general de la calidad del producto (Park ,1996). De acuerdo con un informe de la Organización DE Consumidores y Usuarios (ODECU ,2014) acerca del té, se ha observado que las cenizas provienen de la combustión de la materia orgánica del té, y un elevado contenido de las mismas puede sugerir la presencia de un aditivo inorgánico. En el caso de las muestras analizadas en este estudio, debido al proceso de obtención del polvo de Moringa, es posible que exista un mayor contenido de materia orgánica no foliar, originado por partes de la planta distintas a las hojas, como por ejemplo los tallos (Márquez Hernández et al., 2017).

Con relación al contenido de cenizas, Park y Bell (2004) hacen mención que el contenido total de cenizas puede usarse para indicar el valor nutricional de los productos alimenticios; sin embargo, en el caso de los tejidos vegetales, Marshall (2010), menciona que no se puede esperar un contenido constante de la ceniza. En línea con lo anterior, Lamidi et al. (2017) en su estudio sobre Moringa que consideró diferentes sitios de muestreo como: Ara, Igbon, Ejibbo y Oko, en Nigeria, mencionan que el contenido de humedad en la localidad de Ara tuvo una correlación negativa y significativa con el contenido de cenizas, y por lo tanto, a medida que aumenta el contenido de humedad de las hojas cosechadas allí, el contenido de cenizas disminuye, esto podría deberse a los contenidos de materia orgánica del suelo ya que fue bajo en el sitio de Ara, no así en otra región donde el contenido de materia orgánica del suelo fue alto.
Por lo tanto, es posible que la variación en cuanto al contenido de cenizas esté relacionada con las condiciones medioambientales de donde proceden las muestras analizadas, particularmente, como mencionan Lamidi et al. (2017) y Márquez-Hernández et al., (2017), debido a las características del suelo donde fueron cosechadas las hojas de Moringa, así como a las partes de la planta que contenga el producto (hojas y tallos, por ejemplo).

Figura 2.
Ceniza por tipo de presentación en productos comerciales de Moringa



IV. CONCLUSIONES

El análisis de contenido de proteínas y cenizas de productos comerciales de *Moringa oleifera* Lam. (Moringa) reveló la presencia de importantes contenidos de proteína. Por lo que se considera que el consumo de Moringa representa una opción

prometedora para la alimentación, la salud y la tecnología sostenible. Sin embargo, se requiere realizar más investigaciones sobre la producción, los procesos y los productos relacionados con Moringa para poder implementarlos de manera efectiva en la agroindustria y en el mercado de consumo.

Las diferencias en el contenido de proteína entre los productos comerciales elaborados a partir de hojas de Moringa se pueden observar tanto en el análisis general de todas las muestras como en la comparación por lugar de origen. Algunas muestras presentaron un contenido de proteína significativamente más alto que otras, lo que puede deberse a factores como el procesamiento, la calidad de las hojas utilizadas y las prácticas de producción. Es importante tener en cuenta estas variaciones al momento de seleccionar un producto comercial de Moringa para asegurar la obtención de los beneficios nutricionales deseados.

Las diferencias encontradas en el contenido de cenizas entre las distintas presentaciones comerciales de productos elaborados a partir de hojas de Moringa podrían deberse a las diferentes formas de cultivo, procesamiento y presentación de los productos. Estos resultados sugieren que es importante considerar el tipo de presentación al comparar productos de Moringa con el objetivo de determinar posibles diferencias en su composición nutricional.

Es importante tener en cuenta que, al someter un alimento a tratamientos térmicos, pueden producirse cambios químicos que impactan en sus propiedades nutricionales y funcionales, y que estas modificaciones varían en función del tiempo y la temperatura utilizados.

V. AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo económico al primer autor del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnología (CONAHCYT), así como a El Colegio de Veracruz (COLVER) y productores, que suministraron información valiosa para la continuidad de este proyecto.

VI. REFERENCIAS

Alfaro, N. (2008). *Rendimiento y uso pontencial de Paraíso Blanco, Moringa olifera Lam en la producción de alimentos de alto valor nutritivo para su utilización en comunidades de alta vulnerabilidad alimentario-nutricional de Guatemala*. http://glifos.concyt.gob.gt/digital/fodecyt/fodecyt 2006.26.pdf

Amaya, R. Y. (2019). *DETERMINACION DEL ANALISIS BROMATOLOGICO PROXIMAL Y DE MINERALES EN PUPUSAS DE Zea mays (MAIZ) CON RELLENO DE HOJAS DE Moringa oleifera (TEBERINTO) COMO ALTERNATIVA NUTRICIONAL* [Universidad de El Salvador]. https://oldri.ues.edu.sv/id/eprint/20581/

Arias Sabín, C. (2014*). Estudio de las posibles zonas de introducción de la A Moringa oleifera Lam. en la península Ibérica, Islas Baleares e Islas Canarias* [Universidad Politécnica de Madrid]. In *Universidad Politécnica De Madrid* (Vol. 2, Issue 3). http://oa.upm.es/23094/1/PFCARIAS_SABIN.pdf

Asante, W. A., Nasare, I. L., Tom-Dery, D., Ochire-Boadu, K., & Kentil, K. B. (2014). Nutrient composition of Moringa oleifera leaves from two agro ecological zones in Ghana. *African Journal of Plant Science*, *8*(1), 65–71. https://doi.org/10.5897/ajps2012.0727

Asensi, G. D., Villadiego, A. M. D., & Berruezo, G. R. (2017). Moringa oleifera: A review of food applications. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*, *67*(2), 86–97. https://www.researchgate.net/publication/317747463

Ayegba, C., Makinde, O., Obigwa, P., & Orijajogun, J. (2017). Effect of Drying Temperature on Nutritional Content of Moringa Oleifera Leave. *World Journal of Food Science and Technology*, *1*(3), 93–96. https://doi.org/10.11648/j.wjfst.20170103.11

Bocarando-Guzmán, M. D., Luna-Suárez, S., Hernández-Cázares, A. S., Herrera-Corredor, J. A., Hidalgo-Contreras, J. V., & Ríos-Corripio, M. A. (2022). Comparison of the physicochemical and functional properties of flour and protein isolate from moringa (Moringa oleifera Lam.) leaves. *International Journal of Food Properties*, *25*(1), 733–747. https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2058533

Bonal Ruíz, R., Rivera Odio, R. M., & Bolívar Carrión, E. (2012). Moringa oleifera: a healthy option for the well-being. *Medisan*, *16*(10), 1596–1598. https://doi.org/10.1111/j.1753-0407.2011.00173.x/full

Carrión Delgado, J. M., Valdés-Rodríguez, O. A., & Gallardo-López, F. (2021). Sustainability of Four Agroecosystems in the State of Veracruz, Mexico. *Agro Productividad*, *14*(3), 49–54. https://doi.org/10.32854/agrop.v14i3.1760

Carrión-Delgado, J. M., Vádés-Rodríguez, O. A., Gallardo López, F., & Palacios Wassennar, O. M. (2021). Potencial agroecológico de Moringa oleifera Lam. para el estado de Veracruz. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*.

Carrión-Delgado, J. M., Valdés-Rodríguez, O. A., Palacios-Wassenaar, O. M., & Gallardo-López, Felipe. (2022). Agroecological potential of Moringa oleifera Lam. for the state of Veracruz. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, *13*, 47–68. https://www.researchgate.net/publication/359512392_Agroecological_potential_of_Moringa_oleifera_Lam_for_the_state_of_Veracruz

Cerdas-Ramírez, R. (2017). Extracción de nutrientes y productividad de moringa (moringa oleifera) con varias dosis de fertilización nitrogenada. *Intersedes*, *18*, 145–163. https://doi.org/https://doi.org/10.15517/isucr.v18i38.32673

Del Toro, J. J., Carballo Herrera, A., & Rocha Román, L. (2011). Valoración de las propiedades nutricionales de Moringa oleifera en el departamento de Bolívar. *Revista de Ciencias*, 23–30. http://fullmoringa.com.co/

Gebregiorgis Amabye, T. (2016). Chemical Compositions and Nutritional Value of Moringa Oleifera Available in the Market of Mekelle. *Journal of Food and Nutrition Sciences*, *3*(5), 187–190. https://doi.org/10.11648/j.jfns.20150305.14

Gopalakrishnan, L., Doriya, K., & Kumar, D. S. (2016). Moringa oleifera: A review on nutritive importance and its medicinal application. *Food Science and Human Wellness*, *5*(2), 49–56. https://doi.org/10.1016/j.fshw.2016.04.001

Guzmán-Maldonado, S. H., & Díaz Fuentes, V. H. (2017). Diversidad en la composición fenólica y capacidad antioxidante de colectas de moringa del estado de Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *8*, 1641–1645.

https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342017000701641

Guzmán-Maldonado, S. H., Zamarripa-Colmenares, A., & Hernández-Duran, L. G. (2015). Calidad nutrimental y nutraceútica de hoja de moringa proveniente de árboles de diferente altura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *6*(2), 317–330. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-09342015000200008&script=sci_abstract

Lamidi, W. A., Murtadha, M. A., & Ojo, D. O. (2017). Effects of Planting Locations on the Proximate Compositions of Moringa Oleifera leaves. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, *21*(2), 331. https://doi.org/10.4314/jasem.v21i2.14

Lezama, D., del Rosario, M., Hernández Teresita, R., Avelizapa Luz Irene, R., Juárez María Antonieta Rocío, J., & Ruvalcaba Vidal, E. (2017). Bromatological and physicochemical quality of Moringa (Moringa oleifera Lam) produced in the central zone of Veracruz. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, *5*, 35–40. https://www.revistabioagro.mx/index.php/revista/article/view/107/124

Liyanage, R., Jayathilaka, C., Perera, O. S., Kulasooriya, S. A., Jayawardana, B. C., & Wimalasiri, S. (2014). Protein and Micronutrient Contents of Moringa oleiefra (Murunga) Leaves collected from Different Localities in Sri Lankain Sri Lanka. In *Asian Journal of Agriculture and Food Science*. www.ajouronline.com

Márquez Hernández, I., Bastidas Guerrero, T. L., Fernández Valarezo, G. K., Campo Fernández, M., Jaramillo Jaramillo, C. G., Luisa Rojas de Astudillo, L., & Guabo Ecuador, E. (2017). Estudio farmacognóstico preliminar de tallo y raíz de la especie Moringa Oleífera lam cosechada en Machala. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, *22*(1), 1–13. http://scielo.sld.cu

Marshall, M. R. (2010). Ash Analysis. In S. S. Nielsen (Ed.), *Food Analysis* (4th ed., p. 105). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1478-1

Mbailao, M., Mianpereum, T., & Albert, N. (2013). Proximal and Elemental Composition of Moringa oleifera (Lam) Leaves from Three Regions of Chad. *Journal of Food Resource Science*, *3*(1), 12–20. https://doi.org/10.3923/jfrs.2014.12.20

Méndez, Y., Suárez, F. O., Verdecia, D. M., Herrera, R. S., Labrada, J. A., Murillo, B., & Ramírez, J. L. (2018). Bromatological characterization of Moringa oleifera foliage in different development stages Caracterización bromatológica del follaje de Moringa oleifera en diferentes estadios de desarrollo. *Cuban Journal of Agricultural Science*, *52*(3), 1–10. http://dspace.cibnor.mx:8080/bitstream/handle/123456789/2915/1561%20PUB-ARTICULO-4155.PDF?sequence=1&isAllowed=y

Mota-Fernández, I. F., Valdés-Rodríguez, O. A., & Quintas, G. S. (2019). Características Socioeconómicas y prácticas agrícolas de los productores de Moringa oleifera Lam. en México. *Agroproductividad*, *12*(2), 3–8. https://doi.org/10.32854/agrop.v12i2.1357

Moyo, B., Masika, P. J., & Muchenje, V. (2011). Nutritional characterization of Moringa (Moringa oleifera Lam.) leaves. In *JOURNAL OF BIOTECHNOLOGY*. https://www.researchgate.net/publication/236669148_Nutritional_characterization_of_Moringa_Moringa_oleifera_Lam_leaves

Nielsen, S. S. (2017). *Food Analysis Laboratory Manual* (3rd ed.). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-44127-6

ODECU. (2014). *Estudio de calidad de té negro*. 1–1.

Olson, M. E. (2010). Moringaceae. In Flora of North America North of Mexico. *Flora of North America Association*, *7*, 167–169. http://www.explorelifeonearth.org/people/Olson2010FNAMoringaceae.pdf

Olson, M. E., & Alvarado-Cárdenas, L. O. (2016). ¿Dónde cultivar el árbol milagro, Moringa oleifera, en México? Un análisis de su distribución potencial. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, *87*(3), 1089–1102. https://doi.org/10.1016/j.rmb.2016.07.007

Olson, M. E., & Fahey, J. W. (2011). Moringa oleifera: un árbol multiusos para las zonas tropicales secas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 1071–1082. file:///H:/CARRIÓN/ARTÍCULO 1/POTENCIAL SUSTENTABLE/ARTÍCULO 2. AGROSISTEMAS/v82n4a1.pdf

Park, W. Y. (1996). Handbook of Food Analysis. In *Determination of Moisture and Ash contents of Foods* (Vol. 1, pp. 44–92). Marcel Dekker, Inc. https://www.researchgate.net/publication/282135010

Park, Y. W., & Bell, L. N. (2002). Determination of Moisture and Ash contents of Foods. Handbook of Food Analysis. In *Handbook of Food Analysis* (Vol. 1, pp. 55–82). Marcel Dekker, Inc. https://www.researchgate.net/publication/282024649

Peñalver, R., Martínez-zamora, L., Lorenzo, J. M., Ros, G., & Nieto, G. (2022). Nutritional and Antioxidant Properties of Moringa oleifera Leaves in Functional Foods. *Foods*, *11*(8), 2–13. https://doi.org/10.3390/foods11081107

Reyes Camargo, A. D., & Traeger Romero, J. L. (2023). *EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LAS HOJAS FRESCAS Y DESHIDRATADAS DE LA Moringa oleifera*. https://repositorio.unicordoba.edu.co/entities/publication/9162a226-0850-4ec3-874b-1e8732369a6a

Romero, N. (1997). Métodos de análisis para la determinación de nitrógeno y constituyentes nitrogenados en alimentos. In I. Zacarias & S. De Pablo (Eds.), *Producción y Manejo de datos de composición química de alimentos en nutrición.* (Vol. 1, pp. 1–1). https://www.fao.org/3/ah833s/Ah833s17.htm

Ruiz-Hernández, R., Pérez-Vázquez, A., Landeros-Sánchez, C., Valdés Rodríguez Ofelia Andrea, & Figueroa-Rodríguez, K. A. (2021). Efecto de la poda en la producción de biomasa y proteína en Moringa oleifera Lam. en la zona centro de Veracruz. *Biotecnia*, *XXIII*, 161–170. http://biotecnia.unison.mx

Salas-Martínez, F., & Valdés-Rodríguez, O. A. (2018). *Socioeconomic Experiences of the Producers of Three Crops withbioenergy potential in Mexico*. *11*(August), 43–50. https://www.researchgate.net/publication/327118575/download

Sánchez P., Martínez G., Sinagwa S., V. J. (2013). Moringa oleifera ; Importancia , Funcionalidad y Estudios Involucrados. *Revista Científica de La Universidad Autónoma de Coahuila*, *5*(9), 25–30.

Sánchez-Peña, Y. A., Martínez-Ávila, G. C. G., Sinagawa-García, S. R., & Vázquez-Rodríguez, J. A. (2013). Moringa oleífera; Importancia, Funcionalidad y Estudios Involucrados. *AQM Acta Química Mexicana*, *5*, 2529. https://www.researchgate.net/publication/277019696_Moringa_Oleifera_Importancia_Funcionalidad_y_Estudios_Involucrados_Sanchez-Pena_YA_Martinez-Avila_GCG_Sinagawa-Garcia_SR_Vazquez-Rodriguez_JA_AQM_Acta_Quimica_Mexicana_Vol5_Pag25-29_Revistas_Arbitrada

Segarra Lluisupa, P. A. (2018). *Efecto dela distancia sobre la producción de masa foliar de la Moringa (Moringa oleiferaLam)* [Universidad Técnica de Machala]. http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/12435

Valdés- Rodríguez, O. A., Palacios-Wassenaar, O. M., Ruíz Hernández, R., & Pérez Vázquez, A. (2014). Moringa and Ricinus association potential in the sub-tropics of Veracruz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *9*, 1673–1686. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263137781012

Valdés-Rodríguez, O. A., Giadrossich, F., Pérez-Vázquez, A., & Moreno-Seceña, J. C. (2018). Above- and below-ground biomass and allometry of Moringa oleifera and Ricinus communis grown in a compacted clayey soil. *Flora*, *241*, 35–45. https://doi.org/10.1016/j.flora.2018.02.002

Vázquez-León, L. A., Páramo-Calderón, D. E., Robles-Olvera, V. J., Valdés-Rodríguez, O. A., Pérez-Vázquez, A., García-Alvarado, M. A., & Rodríguez-Jimenes, G. C. (2017). Variation in bioactive compounds and antiradical activity of Moringa oleifera leaves: influence of climatic factors, tree age, and soil parameters. *European Food Research and Technology*, *243*(9), 1593–1608. https://doi.org/10.1007/s00217-017-2868-4

Velázquez-Zavala, M., Peón-Escalante, I. E., Zepeda-Bautista, R., & Jiménez-Arellanes, M. A. (2016, May 1). Moringa (Moringa oleifera Lam.): Potential uses in agriculture, industry and medicine. *Revista Chapingo, Serie Horticultura*, *22*(2), 95–116. https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2015.07.018

VII. AUTORES

Juan Manuel Carrión Delgado

https://orcid.org/0000-0002-2449-3677

Ofelia Andrea Valdés Rodríguez

https://orcid.org/0000-0002-3702-6920

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

Impacto del Nodo de Impulso a la Economía Social Solidaria Pátzcuaro – Zirahuén en el Territorio de Influencia

Aguirre - Arias M.E.[1]✉ Sánchez - Reyes M.P.[1]

Datos de Adscripción:
[1] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro Michoacán, División de la Ingeniería en Gestión Empresarial; Av. Tecnológico núm.1 Tzurumutaro, C. P. 61615,Pátzcuaro, Michoacán, México.

✉ maguirre@itspa.edu.mx

Resumen **- El presente trabajo investiga la perspectiva de los colectivos que colaboran con el NODESS Pátzcuaro-Zirahuén, con el propósito de impulsar acciones que trascienden de los modelos económicos tradicionales a modelos sociales que se sustentan en el valor de las personas más allá del capital. Se desarrolla metodológicamente a partir de la investigación documental, la acción participativa y la investigación de campo, mediante la elaboración de ítems dirigidos en un primer momento a las y los representantes de los colectivos y por otro lado a la ciudadanía en general, a través de las entrevistas realizadas se ha observó que el 90% de los sujetos están satisfechos con los beneficios generales obtenidos de los nodos. Si bien el impacto del NODESS es notable en sus participantes, se identifican áreas de mejora para fomentar una colaboración más satisfactoria. Se destaca la necesidad de mejorar la comunicación asertiva, teniendo en cuenta el nivel educativo, estatus y edad de las y los participantes, no de manera discriminatoria, sino como un apoyo para comprender aspectos técnicos y analíticos. Por otro lado, se evidencia que el impacto del NODO y su objetivo, es prácticamente nulo en los municipios, ya que en gran medida la población desconoce su naturaleza y actividades. Por lo tanto, se propone implementar estrategias de vinculación y gestión para aumentar la visibilidad, promover la participación en los grupos, ampliar el alcance e indicadores de éxito que contribuyan al crecimiento mutuo y lograr la trazabilidad con los principios de la economía social solidaria.**

Palabras Clave **- Desarrollo, Economía, Emprendimiento, Sociedad.**

Abstract **- This paper investigates the perspective of the collectives collaborating with NODESS Pátzcuaro-Zirahuén to promote actions that transcend traditional economic models in favor of social models based on the value of people rather than capital. Methodologically, the research is developed through documentary analysis, call to action, and field research, which includes crafting items aimed at the representatives of the groups. Additionally, interviews with citizens reveal that 90% of respondents are satisfied with overall benefits obtained from the nodes.**

While the impact of NODESS on its participants is significant, areas for improvement are identified to foster more effective collaboration. The need to enhance assertive communication is emphasized, considering the educational level, status and age of the participants, not in a discriminatory manner, but to support understanding of technical and analytical aspects. Finally, it is evident that the impact of the NODE and its objective is minimal in the municipalities, as a large portion of the population remains unaware of its nature and activities. Therefore, it is proposed to implement linkage and management strategies to increase visibility, promote participation in groups, and expand the scope and indicators of success that contribute to mutual growth, thereby achieving traceability with the principles of the social solidarity economy.

Keywords: Development, Economy, Entrepreneurship, Society.

I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la economía social solidaria tiene como propósito que las personas identifiquen una visión de impulsar sus saberes y potencialidades con mayor énfasis hacia el bien común, priorizando el impacto social sobre la maximización de beneficios, desde la cual citando a Riveros, Rodríguez y Barrientos (2020) se percibe un camino apropiado de renovación de formas económicas asociativas y participativas que pongan al hombre y a la comunidad por encima de las cosas y al trabajo por encima del capital (p.31), esto significa, que se preocupa por generar empleo digno, fomentar la inclusión de grupos marginados, promover prácticas empresariales éticas y respetuosas con el medio ambiente, y fortalecer a las comunidades locales, este enfoque se basa principalmente en valores de democracia, cooperación, ayuda mutua y participación equitativa, en contraposición al enfoque puramente individualista del capitalismo tradicional, el cual sin duda ha detonado crecimiento económico para la población, sin embargo, el fenómeno en contraparte, son las desigualdades y marginación que vive un alto porcentaje de la población; en ese sentido diversos organismos han estudiado y documentado el tema, basta mencionar el dato más reciente de Oxfam.org (2024) “Una enorme concentración de poder empresarial y monopolístico está exacerbando la desigualdad en la economía mundial. Siete de las 10 empresas más grandes del mundo tienen un director general milmillonario, o a un milmillonario como su accionista principal”.

La presente investigación tiene como objetivo conocer el impacto que ha tenido el Nodo de Impulso a la Economía Social y Solidaria Pátzcuaro Zirahuén, en su sector de influencia a partir de la segmentación sugerida por el Instituto Nacional de la Economía social (INAES), delimitada a la región VII Pátzcuaro – Zirahuén. De acuerdo con datos del Instituto de Planeación del Estado de Michoacán, *Carpeta de Estadística Básica 2020 (2021*) la región abarca los municipios de Pátzcuaro, Tzintzuntzan, Erongarícuaro, Quiroga, Salvador Escalante, Huiramba y Lagunillas.Los Nodos de Impulso a la economía social y solidaria son una de las estrategias del Instituto Nacional de la Economía Social (INAES), diseñados para ofrecer

soluciones a problemas colectivos mediante una red de alianzas territoriales compuestas por al menos tres actores distintos. Estos actores se unen con el objetivo de promover el desarrollo económico y social, los cuales son integrados por la representación de una institución académica, gobiernos locales y Organismos del Sector Social de la Economía (OSSE). Los programas de triple hélice tradicionalmente se han enfocado en generar sinergia entre la academia, la industria y el gobierno, facilitando la gestión estratégica para impulsar la innovación, el desarrollo económico y la solución de problemáticas en las que todas las partes tiene un interés o una relación, colocando a las y los empresarios en la necesidad de integrarse de manera proactiva a ejecutar los planteamientos. Sin embargo, dicha relación no es sencilla " históricamente han acumulado vicios, malos manejos, intereses personales y malas prácticas en su funcionalidad" (Valencia et al,2011. p.3).

Las instituciones académicas contribuyen con su conocimiento, investigación y capacitación para fortalecer las capacidades de los actores involucrados. Los gobiernos locales ofrecen apoyo en agilizar gestiones, recursos y coordinación para facilitar la implementación de proyectos y políticas relacionadas. Mientras tanto, los OSSE representan a las organizaciones económicas que están integradas en grupos cuyo objeto principal es el enfoque social-empresarial, tales como cooperativas, asociaciones, ejidos y mutuales entre otras y que trabajan bajo preceptos democráticos. Esta colaboración entre los diferentes actores permite abordar de manera integral los desafíos socioeconómicos y promover un desarrollo más equitativo y sostenible en las comunidades.

En ese contexto, el Centro de Incubación e Innovación empresarial (CIIE) del Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro (ITSPA) inicia en 2019 el proceso de postulación para integrarse a esta iniciativa, logrando obtener su folio SINCA _ PNSS_20_00146_INAES en el año 2020. Como parte de su estrategia, se involucran colectivos de artesanos y artesanas que elaboran prendas bordadas a mano, sombreros de chuspata y máscaras talladas en madera; se cuenta con la participación del Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural A.C (GIRA), cuya misión es promover el desarrollo de ecotecnologías para integrar proyectos productivos que fortalezcan las capacidades de las comunidades en diversas áreas de oportunidad. El NODESS atendiendo a las vocaciones locales, se ha enfocado en el objetivo de fortalecer las capacidades locales, que en su mayoría se centran en las artesanías textiles y el sector agropecuario, así como en alinear estas acciones a los objetivos del desarrollo sostenible de la agenda 2030.

Un paso fundamental al iniciar esta ruta y que permanece es la realización de diagnósticos participativos, se han aplicado diversas metodologías de intervención con la finalidad de identificar la situación actual de estas organizaciones. Este primer paso, proporcionó información valiosa para validar el diseño de estrategias destinadas a fortalecer las capacidades emprendedoras, así como aspectos administrativos y legales tanto de los grupos involucrados como de la región en su conjunto.

La aportación de las instituciones de educación superior en estas iniciativas facilita el establecimiento de relaciones con otros actores clave a nivel local y regional, estas conexiones pueden propiciar colaboraciones en proyectos conjuntos, la movilización de recursos y la posibilidad de guiar el rumbo hacia acciones que propicien la igualdad, enriqueciendo así, el entorno con la intervención de los tres actores que integran el órgano rector, esto implica dotarles de herramientas y habilidades necesarias para afrontar los desafíos del mercado laboral actual, al tiempo que se promueve el espíritu emprendedor, la responsabilidad social y el compromiso con el desarrollo comunitario.

Después de casi 4 años de operación, es fundamental hacer una pausa para analizar si el nodo está implementando eficazmente las estrategias propuestas, el trabajo del órgano rector y la percepción que tienen los ciudadanos. Asimismo, con relación a la operatividad y sus resultados, analizar aspectos tales como: evaluación de efectividad, impacto en el territorio, alineación con principios y valores en los que se sustentan.

Bajo estos antecedentes se han gestado esfuerzos, enfrentado una diversidad de retos internos y externos para lograr posicionarse ante INAES y el Tecnológico Nacional de México (TecNM); en ese sentido surge la premisa de responder, sí a mayor participación de la comunidad en las estrategias y decisiones de los nodos, mayor será el impacto positivo en el desarrollo local. Esta hipótesis supone que la participación de la comunidad en la planificación e implementación de proyectos impulsados por los nodos contribuirá a un mayor compromiso y aceptación de las iniciativas de economía social solidaria. La necesidad de sensibilizar en la práctica de la economía desde niveles educativos que permitan llevar a cabo la teoría como la práctica en el trabajo participativo y solidario es un esfuerzo global, tal es el caso de redes académicas como Rulescoop, Unicossol y la que genera la Alianza Cooperativa Internacional (ACI) quienes abordan estos temas como parte de sus gestiones, logrando alinear las prioridades globales de las agendas de desarrollo y de la educación solidaria.(Ajibola et al. 2020, p.14)

I. En México, el INAES por su parte ha centrado su atención a este tipo de organizaciones que se rigen por la Ley de Sociedades Cooperativas, en donde se establece que son organismos de tipo social constituidos por personas que tienen la intención de cubrir necesidades básicas, individuales y colectivas con intereses en común, ayudándose mutuamente y como citan Morillo, Medina y Flores (2022) "la otra economía" hace la distinción entre "trabajo genuino", asimilable a las ocupaciones en relación de dependencia (independientemente de su formalidad) y al imaginario de la sociedad salarial, versus el "trabajo autogestivo", Es bajo estos preceptos del bien común, que el Tecnológico Nacional de México ha impulsado programas educativos a través el diseño de cursos en línea, un diplomado, la maestría y el doctorado en ESS.(p.226).

El cooperativismo en México, tiene sus raíces en los primeros pobladores, los antecedentes de prácticas comunitarias de ayuda mutua y trabajo colectivo ya existían entre los pueblos indígenas antes de la conquista, las prácticas como las faenas y tequios son algunos ejemplos de la organización citada, prácticas comunes en muchas culturas asentadas en el país y Latinoamérica. Las ideas del padre del cooperativismo llegaron a México a partir del viaje que organizó su seguidor y homónimo

Albert K. Owen para generar “Pueblos de cooperación” primero en Texas y luego en Topolobampo, Sinaloa hacia 1820 (Bautista, 2022).

Por otro lado las malas condiciones que detonaron la Revolución Industrial dieron lugar al desarrollo de cooperativas como respuesta a las necesidades socio económicas de las y los trabajadores, ideas que llegaron a México a través de intelectuales, obreros y movimientos sociales que buscaban soluciones a los problemas económicos y de justicia social. De acuerdo con lo citado por Bautista (2022) “estas formas de organización comunitaria en el campo se pueden pensar también en las comunidades y ejidos mexicanos, los cuales son el afluente prehispánico más importante de la ESS en el país”.

El emprendimiento asociativo es un fenómeno que surge en el siglo XIX, a partir de la revolución industrial en su forma de cooperativas y mutuales, se expande por Europa con prácticas que se ha adaptado de acuerdo a las necesidades y políticas públicas de cada región, y México no es la excepción, los estudios y antecedentes históricos muestran los esfuerzos y retos que se han librado para encontrar las acciones que permitan fortalecerlas desde el respeto a la esencia de incorporar el fruto del trabajo de las y los mexicanos en este modelo, que al día de hoy retoma la esencia como una de las oportunidades para disminuir las desigualdades en materia del reparto de la riqueza, como parte de este esfuerzo en 2024 se han llevado a cabo consejos y foros de vinculación a lo largo y ancho del país, en donde se han acumulado experiencias y testimonios quedando plasmadas en el documento avalado por la Secretaría de Educación Pública denominado Marco General para el Emprendimiento Asociativo en la educación Superior, precisando que “Para garantizar una economía para el bienestar en necesario erigir el nuevo modelo de desarrollo basado en la inclusión y la participación activa de la educación y la investigación”. Cita también la inclusión de las juventudes, la interculturalidad, la equidad de género y el enfoque a solucionar necesidades del territorio y las personas que son el eje de la economía. (Secretaría de Educación Pública, 2024).

El crecimiento y consolidación de las cooperativas se da en el gobierno de Lázaro Cárdenas (1934-1940), periodo en el que recibió un gran impulso, promoviendo la reforma agraria y el establecimiento de ejidos, que son formas colectivas de propiedad y trabajo de la tierra, en ese contexto muchas cooperativas agrarias y de producción se consolidaron y se impulsaron a través de instituciones de financiamiento formales.

> *“En ese entonces el cooperativismo se concibió como un sistema apropiado para organizar empresas productivas y además promover socialmente a contingentes de trabajadores, con el objetivo de ampliar y fortalecer al movimiento cooperativo, esto motivó al cardenismo para renovar al cooperativismo mexicano sobre bases más firmes, populares y solidarias con los sectores obreros y campesinos”.(Muñiz y Alanís, 2020, p17).*

El estudio realizado por Frías,(2011) identificó que las personas encuestadas son prisioneras de una realidad psico-socioeconómica y con una cultura muy arraigada, misma que genera dificultades para modificar hábitos arraigados y que tienen detrás herencias de comportamientos ya enraizados, en tanto que otros obstáculos se relacionan con las convicciones sociales, costumbres y convencionalismos que establecen la forma de regular la economía local, aunado a la mentalidad de una sociedad capitalista explotadora, excluyente, decadente y que se tiene fuertemente relacionada con el modus vivendi.(p.122)

La integración de las personas en modelos solidarios desde lo local y la pertenencia al territorio aporta componentes de desarrollo de emprendedores desde las vocaciones originarias, pero también desde el desarrollo de procesos innovadores y de vanguardia, para la generación de empresarios y empresarias cuyos resultados a partir de precisar las variables de democracia y autogestión serán visibles en dos dimensiones: una en torno a la generación de empleo equitativo y la protección del sector productivo; y otra en la cual se crean las condiciones necesarias que deriven en competitividad y sostenibilidad (Rúa et al 2018, p31).

En referencia a lo citado por Santiago, Tejeida, Badillo y Coria (2023). El modelo triple hélice es un concepto desarrollado para integrar a los sectores clave para el desarrollo económico y la innovación: gobierno, academia a industria, estos tres sectores forman una sinergia en que se entrelazan y colaboran para impulsar objetivos de desarrollo comunes a través del intercambio de capacidades, recursos y gestión. El rol de cada actor de acuerdo a las facultades propias, aportan lo necesario para articular y posicionar ideas de negocio o de gestión pública de manera efectiva. Algunos ejemplos se identifican en la implementación de parques tecnológicos y Clusters industriales entre otros. “Se busca una forma mucho más participativa que revalore la posición de los tres agentes desde sus respectivas tareas, en la gestión de proyectos que instiguen nuevas formas de gestionar la vida pública del país”.

Es por ello que en México se propone a través de alianzas territoriales, una iniciativa basada en la incorporación de un modelo similar al de triple hélice, en este modelo, las universidades juegan un papel crucial como articuladoras de las gestiones entre los actores involucrados en influir en el desarrollo local, y el tercer elemento se integra desde las organizaciones del sector social de la economía como se puede observar en la figura 1 “La política pública NODESS puede realmente significar una estrategia coherente con estas realidades, en la medida que logre el enfoque territorial que pretende” (Rodríguez, Rivera, 2018 p.18).

Figura 1
Nodos de Impulso a la economía social solidaria

Nota: Elaboración propia basada en sinca.gob.mx

Ante la realidad que implica el modelo capitalista, el mercado competitivo y las grandes empresas que cuentan con mayor capital, volumen de producción y posicionamiento en el mercado representan un gran reto ante el cual las empresas solidarias se enfrentarían, aunado al escaso conocimiento de las ventajas que estas representan, es una constante en los diversos sectores productivos.(Quispe, 2020.p187). En el caso de Michoacán, de acuerdo con lo citado por Ibarra (2020) "Si bien la artesanía, el cultivo de aguacate, la pesca y el turismo son las actividades que generan mayor fuente de ingresos, los retos esenciales son la creación de empresas sociales y proyectos productivos integrales, que atiendan las necesidades de las comunidades" en ese sentido, se hace indispensable la puesta en marcha de programas que atiendan las problemáticas implícitas como la migración, el desempleo, la pobreza y la marginación entre otros, para crear mejores condiciones de vida, fomentar la educación y la ayuda mutua como pilares de los modelos colectivos democráticos.

Otro dato relevante que es argumento valioso para incentivar a las personas es el resultado del tercer trimestre de 2022, que según datos del INEGI, "la actividad económica de Michoacán de Ocampo mostró un incremento anual de 1.2 %, este resultó de la expansión de 0.9 y 2% de las actividades secundarias y terciarias, respectivamente, y de la contracción de 4.2% de las primarias lo cual deja a los pueblos originarios en desventaja económica y competitiva con los otros sectores" la contracción en el sector primario puede afectar negativamente y, por ende, contribuir a su desventaja económica y competitiva en comparación con otros sectores, la disminución en las actividades primarias puede tener diversas causas, como cambios en las condiciones climáticas, problemas de acceso a recursos o dificultades en la comercialización de productos (INEGI, 2023).

Ciertamente como sostiene Rojas (2020), "ha llegado el momento de reconocer e impulsar que, al igual que otras formas de organización autónoma y democrática, las organizaciones de la ESS, dada la eficiencia comprobada de su modelo empresarial y el contenido humanista y solidario" de su fundamento pueden ser un gran detonante de desarrollo, particularmente en Michoacán las vocaciones del sector primario, que han sido excluidos de las dinámicas económicas, políticas y sociales actualmente en curso (p17).

Esto implica un análisis detallado y específico de cómo las ideas y las acciones se interrelacionan, es decir, a nivel de las experiencias y comportamientos cotidianos de las personas, en lugar de solo considerar los aspectos macroeconómicos o estructurales, es importante examinar cómo las creencias, pensamientos y decisiones personales influyen y son influenciados dentro del marco de la economía solidaria. Esta visión facilita el entendimiento de las dinámicas culturales, sociales y económicas que impulsan este tipo de economía, resaltando el papel central de la subjetividad y la acción individual. "Ubicarnos en el plano de la discusión de los sujetos y de la subjetividad en torno a la economía solidaria nos exhorta a realizar un análisis microsocial en función de lo que moviliza el pensamiento y la acción" (Gracia y Cendejas, 2020.p.100).

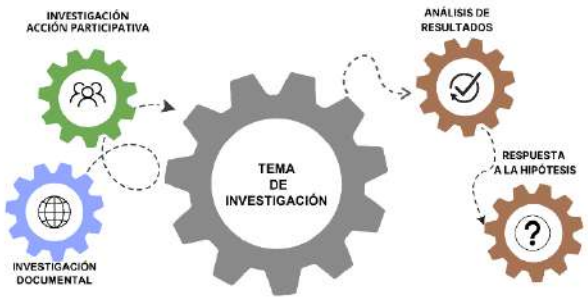
El cooperativismo citando a Izquierdo (2020) "Se presenta como una alternativa que posee fundamentos éticos y que ha confirmado por las experiencias en diversos países, que se puede coexistir eficientemente en la economía de mercado, desde una perspectiva incluyente"(p.166), ya que se involucra a las personas de manera equitativa e incluyente en diferentes roles dependiendo en cómo se establezca su estructura organizacional interna, las funciones se establecen para beneficio los integrantes, con ello se aspira a la disminución de las desigualdades, al empoderamiento de hombres y mujeres y al crecimiento económico (p.166).

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

2.1 Metodología

La metodología que se implementó en el presente proyecto como se muestra en la figura 2, fue una investigación documental, ya que esta es necesaria para explorar y comprender en profundidad el tema de investigación, así como, la investigación participativa pues la intervención con los actores que son la base de este estudio, es relevante para determinar los hallazgos y las estrategias.

Figura 2
Metodología



2.2 Muestra

Considerando una población de 35 personas participes de los colectivos calculamos con un 95% en nivel de confianza y un 5% en margen de error nuestra población de 33 personas a entrevistar, como se puede observar en la tabla 1; por otro lado para la identificación de la población general en los municipios de influencia, se tomó como base una población de 250 personas lo cual arroja una muestra de 152 personas a entrevistar:

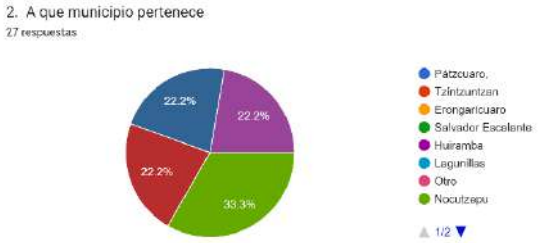
Tabla 1
Muestra a encuestar

	Población	Nivel de confianza	Margen de error	Tamaño de la muestra
Colectivos NODESS	35	95%	5%	33
Municipios que participan	250	95%	5%	152

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

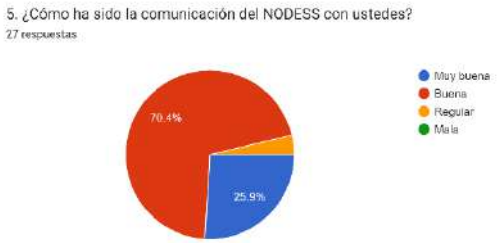
El instrumento de recolección de datos fue diseñado para aplicarse en un primer momento a las personas pertenecientes a las cooperativas y a los colectivos en formación que actualmente colaboran con el NODESS Pátzcuaro Zirahuén, como se muestra en la figura 3 y que son organizaciones principalmente de artesanas, de quienes obtuvimos 27 de 35 posibles respuestas en donde se observa su región de origen:

Figura 3
Población de origen de las y los encuestados



Al iniciar el sondeo, se abordan primeramente aspectos de comunicación para ello, en la figura 4 se muestra que el 70,4% de los sujetos considera muy buena la comunicación hacia ellos por parte del NODESS y el otro 25,9% considera que la comunicación es buena, sin embargo, el 3,7% lo consideran regular ya que en base a su testimonio para ellos los participantes del NODESS hablan en términos muy técnicos que son difíciles de entender para los colaboradores, sin embargo, es algo que se puede mejorar.

Figura 4
Nivel de comunicación con los aliados

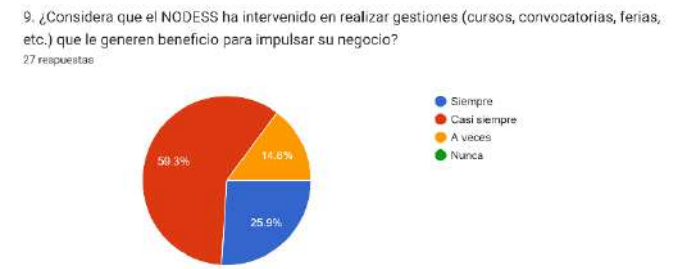


Respecto a la estrategia de Fortalecimiento de capacidades se muestra en la figura 5 como se evaluó la aceptación de cursos y talleres, siendo el de mayor influencia es el taller de cajas de auto ahorro y préstamo con el 85.2% de participantes, el taller de la semana de educación financiera y plan de negocios es el mismo porcentaje de participación con el 59.3%, el taller de educación financiera y el taller de cooperativismo tiene el 40.7% de participación cada uno, y el taller de economía social solidaria obtuvo el 18.5%.

Figura 5
Aceptación de la estrategia de fortalecimiento de capacidades

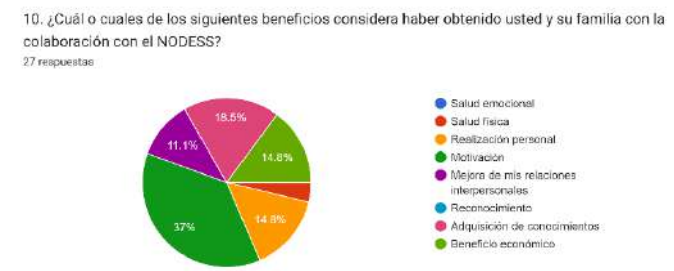
Es la gran mayoría la que se siente satisfecha con los talleres, ya que el 85,2% de la población considera que el NODESS ha intervenido en realizar gestiones (cursos, convocatorias, ferias, etc.) que le generen beneficio para impulsar su negocio y el 14.8% considera que a veces las estrategias funciona, como podemos observar en la figura 6, ya que tienen diferentes perspectivas de las estrategias al momento de tener un seguimiento a futuro en lo que se está realizando, también es importante mencionar que el giro y la expectativa que cada persona tiene en su trabajo es diferente.

Figura 6
Gestión y vinculación



Por otro lado, la figura 7 muestra los beneficios que han obtenido los sujetos en estos años colaborando con el colectivo respectivo son del 37% de mayor motivación, el 18,5% considera que aumentaron sus conocimientos por otra parte, aumentó la realización personal y el beneficio económico en 14,8% cada uno, el 11,1% considera que mejoraron sus relaciones interpersonales y el 3,7% mejoraron su salud física.

Figura 7
Beneficios directos e indirectos



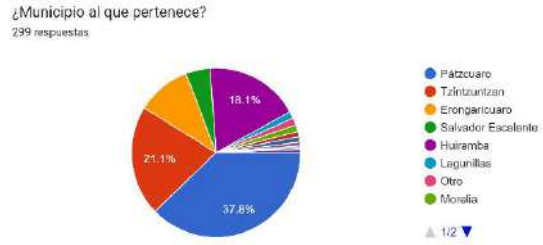
Finalmente en la figura 8 analizamos las opiniones y necesidades de los sujetos el 51,9% de la población le gustaría un taller de

Marketing y ventas para lograr impulsar su negocio, el 14,8% en nuevas tecnologías y el 14,8% taller de producción, el 11,1% en servicio al cliente, y el 1,3% finanzas y contabilidad y el 1,3% en recursos humanos, por lo que podemos observar que a los sujetos lo que más les importa son las ventas.

Figura 8
Áreas de oportunidad del NODESS

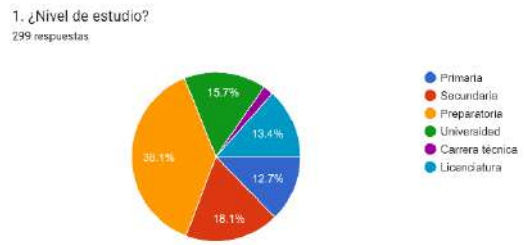
La segunda parte de la recopilación de datos, se realizó con la ciudadanía en general, con el objetivo de valorar el alcance que se ha tenido a través de la difusión de los actores que ya participan activamente y de las alianzas en el territorio, para ello se aplicaron 299 encuestas, por encima de la población base establecida. De acuerdo a la delimitación territorial son 7 los municipios que conforman la región Pátzcuaro-Zirahuén, mismos que se reflejan en la figura 9.

Figura 9
Municipios y poblaciones encuestadas



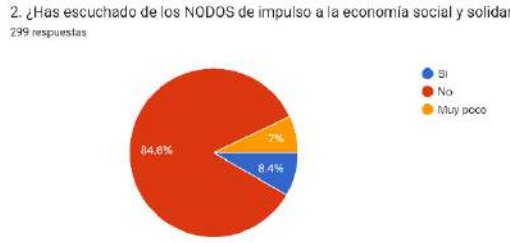
Identificar la escolaridad de la población encuestada, facilita parte del desarrollo de estrategias, en ese sentido se muestra en la figura 10 que población el 38.1% tiene el nivel de estudios de preparatoria, el 18.1% secundaria, el 12.7% primaria, el 29.1% universidad y licenciatura y el 2% carrera técnica.

Figura 10
Nivel de escolaridad de los encuestados



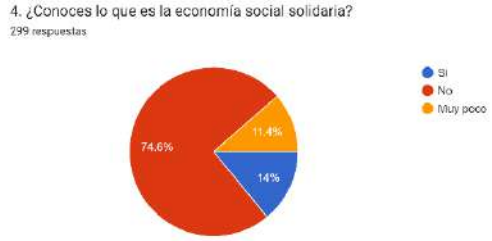
Al referir si conocen sobre los Nodos de Impulso a la Economía Social Solidaria, la mayor parte de la población lo desconoce, arrojando la encuesta que solamente una minoría del 8.4% respondió favorablemente, o como se muestra en la figura 11 el 7% conoce muy poco.

Figura 11
Nivel del conocimiento de lo que es un NODESS



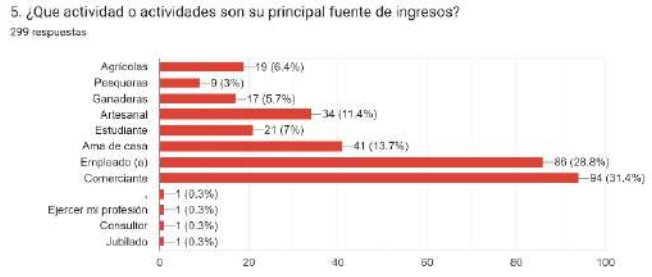
Al sondear si hablar de economía social solidaria les es familiar el 74.6% no conoce y nuevamente como se muestra en la figura 12, el 25.4% conoce algo o poco sobre el tema.

Figura 12
Nivel del conocimiento de lo que es un NODESS



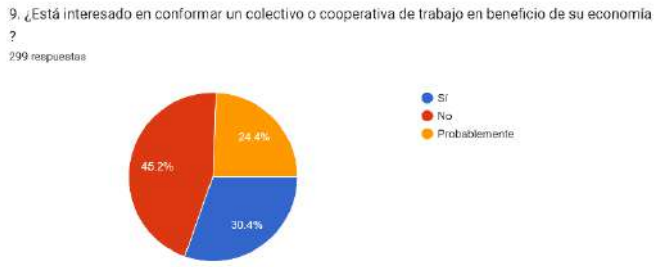
Corroborar las vocaciones permite identificar las áreas de oportunidad para la creación de emprendimientos colectivos, tal como se muestra en la figura 13, donde el 31.4% se dedica al comercio y la segunda ocupación más alta es el ser empleados.

Figura 13
Vocaciones productivas de la región



Al preguntar sobre el posible interés de conformar un colectivo o cooperativa, la figura 14 arroja que el 45.2% respondieron que no, sin embargo, es notable que a pesar de no conocer sobre el enfoque de economía social solidaria, hubo un 30.4% de personas interesadas y un 24.4% que vieron una posibilidad.

Figura 14
Interés por conformar un emprendimiento colectivo

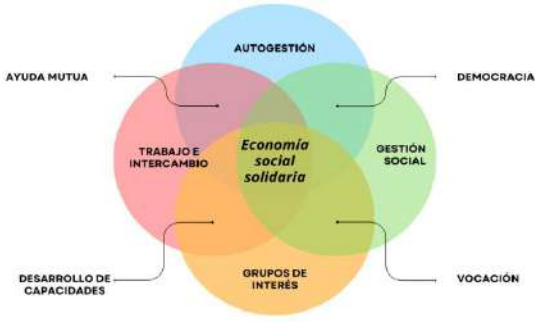


Finalmente la disposición por conocer más sobre las funciones que realiza el NODESS en beneficio del territorio, fue positiva como se muestra en la figura 15 el 30.8% de los encuestados mostró interés y el 26.8% no lo descartó, esto genera una gran oportunidad de incidir y motivar a las personas en general a conocer sobre los beneficios de emprender de manera solidaria.

Figura 15
Interés por conocer las funciones del NODESS

II. La perspectiva de integración del NODESS Pátzcuaro Zirahuén se basa en la colaboración de los actores y la trazabilidad con los principios y valores de la economía social solidaria como se muestra en la figura 16, basada en las estrategias diseñadas con el órgano rector y los organismos del sector social de la economía.

Figura 16
Integración de alianzas



Nota: Fuente de elaboración propia

IV. CONCLUSIONES

Las personas que forman parte de los colectivos que actualmente interactúan con el NODESS Pátzcuaro Zirahuén, reconocen los beneficios tangibles que han logrado adoptar y aplicar en sus prácticas emprendedoras.

Las habilidades emprendedoras adquiridas a través de los talleres y cursos de fortalecimiento de capacidades, les han impulsado a reconocer la necesidad de transitar a modelos de economía formales y a reconocer las posibilidades que se generan si se involucran todos y todas en la profesionalización de quienes integran sus colectivos.

El tránsito desde los modelos económicos tradicionales hacia uno que se ajuste a observar cambios en la cultura emprendedora asociativa no es sencillo. Este proceso toma tiempo y requiere de acciones globales y políticas públicas que incentiven a las personas a adoptar este enfoque.

La difusión y promoción del modelo de gestión y fortalecimiento de empresas sociales con visión solidaria es limitada; la mayoría de las personas no están familiarizadas con el tema en su vida cotidiana, lo que evidencia la necesidad de movilizar a los tres actores involucrados en el modelo para que más personas estén convencidas y participen activamente.

Las vocaciones productivas nativas de la región están siendo abandonadas en favor de otras actividades que generan a las personas mayores ingresos y oportunidades de crecimiento económico, pero que no necesariamente le representan desarrollo y bienestar a largo plazo, muchas de estas acciones tienen que ver con prácticas de salarios a destajo, sin seguridad social y en condiciones no seguras, lo que representa un alto riesgo de la pérdida de identidad hacia lo local.

Impulsar la economía social solidaria no solo contribuye a un desarrollo económico más justo y equilibrado, sino que también crea sociedades más cohesivas y sostenibles, por ello la relevancia de generar mecanismos con mayor claridad y pertinencia entre la academia, el sector gubernamental y los organismos sociales, que articulen la comunicación, gestión y aplicación tangible de iniciativas de desarrollo a corto plazo, que eliminen la burocracia, la competencia desleal y el encubrimiento de negocios capitalistas con cara de cooperativismo.

El cooperativismo en México ha evolucionado, diversificándose a otros sectores como el financiero, el de consumo y el de ahorro y préstamos, sin embargo, ha presentado también grandes desafíos en el contexto interno, sus dirigentes y administradores no están educados bajo los principios del cooperativismo, las prácticas empresariales siguen teniendo la influencia de la economía centrada en el dinero y no en las personas, pues la información que se tiene no permea a los sectores vulnerables y

que tienen la posibilidad de girar su enfoque empresarial hacia modelos más justos y equitativos.

Es prioritario que la estructura operativa de los NODESS se organice de manera congruente con actores que implementen más estrategias de gestión, vinculación y fortalecimiento de programas. Estos programas deben estar dirigidos a la formación de cooperativas y modelos asociativos integrales, pero también requieren de la renovación de las estructuras organizacionales para que quienes están a cargo tengan la disponibilidad de movilizarse y atender a los grupos, no una carga extra, pesada y poco eficiente.

Para el caso que se presenta en este trabajo, la muestra analizada es representativa, debido a la complejidad de incidir en el territorio, sin embargo, la relevancia es alta, pues muestra un panorama de la magnitud que implica influir en el cambio de paradigmas sin que ello le represente a las personas un riesgo, temor o inseguridad respecto a la estabilidad de su economía.

La convicción de generar cambios en los modelos económicos que han fortalecido la riqueza de unos cuantos a costa de la mano de obra de muchos, no será bien aceptada mientras no se den las condiciones que generen seguridad y confianza, desde la congruencia en la administración pública, la organización comunitaria y la intervención académica activa.

Las estrategias para la implementación de programas de capacitación y la formación en habilidades empresariales y gestión económica para los miembros de los colectivos, debe tener continuidad en los procesos de escalar a proyectos maduros, con capacidad para la toma de decisiones.

Promover la creación de redes de colaboración y cooperación entre los diferentes actores de la economía social y solidaria en las comunidades, que no solo sean foros para retroalimentación o compartir experiencias, sino que generen propuestas de políticas públicas tangibles y que se traduzcan en modelos de emprendimiento asociativo operando.

Las gestiones directas para la comercialización de productos y servicios ofertados por los colectivos, tanto a nivel local como regional e internacional, avalados por los procesos que dentro de los nodos se llevan a cabo es necesaria, para minimizar el intermediario o el acaparamiento y que estos fluyan de manera más ágil, de tal manera que se vean motivados a continuar con los procesos administrativos, pero también con las finanzas sanas y en crecimiento.

Fomentar la participación activa de las mujeres en iniciativas de economía social y solidaria, garantizando su inclusión y empoderamiento dentro de las comunidades es un capital humano que puede florecer y potencializar, las capacidades y habilidades que ellas aportan son fundamentales, pero aún se requiere la intervención psicoemocional en ellas para que generen condiciones de autoestima y motivación.

La regulación fiscal y legal en torno a los modelos de cooperativismo requiere revisión para sentar bases desde lo local, no desde lo general, pues las condiciones de las vocaciones del país son múltiples y limitan las posibilidades desde lo legal de constituir empresas sociales con practicidad y eficiencia, tal es el caso, de la asignación de personas en las dependencias de desarrollo económico municipales, que tienen poco o nulo conocimiento en economía social solidaria y/o de los nodos de impulso a la economía social solidaria.

Finalmente, proponemos hacer una revisión detallada de la estructura organizacional de las instituciones que coordinan los Nodos, determinar figuras de responsabilidad bajo las propias características de la ESS, trabajo colaborativo, empático, comprometido y centrado en las personas, eliminar la burocracia, la cuota que sume personas y no resultados, eficientizar la comunicación y en consecuencia el establecimiento de iniciativas para inyectar capital a estos grupos que animados se incorporan a adquirir conocimientos, a realizar trámites, por las gestiones de los nodos inician en procesos de capacitación y formalización, pero que del mismo modo se desmotivan al no ver agilidad, ni observar que se valore el esfuerzo en la mejora de sus emprendimientos y que estos son colocados en la misma fila que el resto de las formas legales de hacer negocios.

V. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro por brindar los recursos necesarios para poder llevar a cabo esta investigación, a la Ingeniería en Gestión Empresarial que tiene la visión clara de promover en el estudiantado proyectos orientados al desarrollo de la economía social solidaria, a las artesanas y artesanos que nos aportaron información valiosa y que han estado confiando en las gestiones que se realizan para beneficio de sus valores y finalmente a la coordinación de NODESS Pátzcuaro-Zirahuén por brindar las posibilidades para reconocer las vocaciones locales.

VI. REFERENCIAS

Ajibola Anthony Akanji, Aligleri, L., Benilson Borinelli, Camilo Fernando Calderón-Suaza, Paola Andrea Cardona-Buendía, Juliana Flórez, Hoinle, B., Miguel, L., Jarrison Martínez Collazos, Alexandre, R., Rocío Rueda-Ortiz, Pavão, C., Rosas-Baños, M., Robert Sangué Fotso, & Tadjudje, W. (2020). *Economía social y solidaria en la educación superior: un espacio para la innovación (Tomo 2)*. https://doi.org/10.16925/9789587602241

Amador Santiago, J. E., Tejeida Padilla, R., Badillo Piña, I., & Coria Páez, A. L. (2023*). Una perspectiva sistémica de la Triple Hélice en la innovación social en la Ciudad de México:* Revisión de literatura. Revista De El Colegio De San Luis, 13(24), 1–34. https://doi.org/10.21696/rcsl132420231514

Bautista Páez, D. (2022). *Origins of cooperativism in Mexico. Notes to historicize the other economy*. Religación, 7(31), e210904. https://doi.org/10.46652/rgn.v7i31.904

Desigualdad S.A. (2024, enero 18). Oxfam International. https://www.oxfam.org/es/informes/desigualdad-sa

Morillo J., Medina, M. y Flores, A. (2022): *Efectos del proceso de empobrecimiento en la desigualdad y el desarrollo social en los territorios. 1a ed., Vol. VI, pp. 223–244)*UNAM-AMECIDER, México. ISBN UNAM 978-607-30-6943-4, AMECIDER 978-607-8632-30-5

Frías Figueroa, J. M. (2011*). Proceso de surgimiento de una economía social y solidaria en Michoacán. En el periodo 2000 a 2008 y algunos elementos críticos sobre dicho proceso*. *Economía y Sociedad*, XVII(27), 103-125. http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=51021186007

Gracia, M., y Cendejas, J. (2020). *Iniciativas agroalimentarias ante la pandemia y pospandemia: Estrategias e innovaciones en México*. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y El Colegio de la Frontera Sur. ISBN UMSNH 978-607-542-243-5, ISBN ECOSUR 978-607-8767-86-1. https://doi.org/10.35830/lib.iapp

Ibarra, M. R. G. (2020*). Emprendimiento social para el desarrollo comunitario en México: el caso del centro de desarrollo comunitario sustentable (CEDECOSU) del CREFAL en Pátzcuaro, Michoacán*. *Revista Exitus*, *10*, e020071. https://doi.org/10.24065/2237-9460.2020v10n1id1465

INEGI. (2023). *Indicador trimestral de la actividad económica estatal Michoacán de Ocampo tercer trimestre de 2022*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2023/itaee/itaee2023_01_Mich.pdf

Instituto de Planeación del Estado de Michoacán, *Carpeta de Estadística Básica 2020 (2021*). Región VII Pátzcuaro Zirahuén. https://cplademich.michoacan.gob.mx/wp-content/uploads/2022/01/Region-VII-Patzcuaro-2020.pdf

Izquierdo Muciño, M. E. (2020). *El cooperativismo mexicano a través de sus leyes. Deusto Estudios Cooperativos*, 16, 43-67. https://doi.org/10.18543/dec-16-2020pp43-67

Muñiz Díaz C., y Alanís Tavira, J. D. (2020). *Antecedentes de las sociedades cooperativas en México. Deusto Estudios Cooperativos,* (16), 15-41. https://doi.org/10.18543/dec-16-2020pp15-41

Quispe Andía, R. G. (2020). *Economía solidaria: ¿Utopía o alternativa posible? Discursos Del Sur, Revista De teoría crítica En Ciencias Sociales*, *6*, 177-189. https://doi.org/10.15381/dds.v0i6.19321

Riveros Vargas, C., Rodríguez González, P., y Barrientos Romero, P. (2020). *Programas de empoderamiento a través del desarrollo de autonomías de fundación PRODEMU una lectura desde la perspectiva de economía solidaria feminista*. Bibliotecadigital.academia.cl. http://bibliotecadigital.academia.cl/xmlui/handle/123456789/6032

Rodríguez, H., Rivera, I. y Cruz,D. (2018). *Política Pública para el impulso de la economía social solidaria a través de alianzas territoriales en México*. http://ciriec.es/wp-content/uploads/2020/09/COMUN-029-TG-RODRIGUEZ-RIVERA-CRUZ-ok.pdf.

Rojas Herrera, J. J. (2021). *La economía social solidaria y la política social del nuevo gobierno federal . Nóesis. Revista De Ciencias Sociales Y Humanidades*, *29*(57), 68–87. https://doi.org/10.20983/noesis.2020.1.4

Rúa, S., Monroy, V., Jiménez, H., Peñuela, J., Pérez, P., Calderón, A., y Arenas, C. (2018). *La integración económica desde la perspectiva solidaria. En Modelos de integración económica solidaria: teoría y acción* (pp. 19-44) . Bogotá: Universidad Cooperativa de Colombia. https://ediciones.ucc.edu.co/index.php/ucc/catalog/download/150/149/794?inline=1

Sistema Nacional de Capacitación. (2024). Sinca.gob.mx. https://sinca.gob.mx/nodess#:~:text=Conoce%20m%C3%A1s%20de%20los%20NODESS&text=Los%20nodos%20de%20impulso%20a

Secretaría de Educación Pública. (2024). *Marco de Emprendimiento Social*. Subsecretaría de Educación Superior. https://educacionsuperior.sep.gob.mx/pdfs/2024/Marco_Emprendimiento_Social.pdf

Valencia Pérez, L. R., Peña Aguilar, J. M., Lamadrid Álvarez, A., Pastrana Palma, A., Quevedo, J. C., & Rodríguez Rojano, G. (2011). *Estrategia de la Triple Hélice en Proyectos de Gestión Tecnológica e Innovación*. Universidad Autónoma de Querétaro. https://repositorio.altecasociacion.org/bitstream/handle/20.500.13048/587/2163-2163-1-PB.pdf?sequence=1&isAllowed=y

VII. AUTORES

Miriam E Aguirre Arias

https://orcid.org/0000-0003-4128-7282

María Paola Sánchez Reyes

https://orcid.org/0009-0009-5447-6745

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

Desarrollo del Sistema Institucional de Tutorías para el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo Usando Javascript, PHP y SQL

Rodríguez-Chacón, R.C.[1]; Badillo-Alonso, C.L.[1]✉; Aguirre-Mejía, E.T. [1]; Parada-Morado, L. [1.]

Datos de Adscripción:
[1]Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Divisiones de Ing. Informática, Ing. Sistemas Computacionales Av. Tecnológico No. 1555 Sur Periférico Gómez-Lerdo Km. 14.5, Ciudad Lerdo, Estado de Durango C.P. 35150

✉ carlos.ba@itslerdo.edu.mx

Resumen **- Este artículo presenta un resumen exhaustivo de los resultados obtenidos y su relevancia, centrándose en el desarrollo de un sistema web diseñado específicamente para mejorar la generación y visualización de informes destinados al personal implicado en el Programa Institucional de Tutorías del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. El propósito principal de este sistema es agilizar y optimizar el proceso de creación y acceso a los informes para garantizar una gestión eficiente del programa y facilitar el seguimiento de los avances y resultados obtenidos. El enfoque de desarrollo adoptado se basa en una metodología incremental, que divide el proyecto en fases para abordar los requisitos de manera progresiva. Esto involucra análisis, diseño, desarrollo, pruebas e implementación en el servidor. Se emplean tecnologías avanzadas como JavaScript y PHP para la programación, SQL para gestionar la base de datos y herramientas líderes en el mercado como Angular, Laravel, HTML, CSS y Bootstrap para mejorar la apariencia visual y la experiencia del usuario. El sistema se organiza en módulos específicos, cada uno adaptado a las diversas funciones desempeñadas por el personal del programa de tutorías.**

Palabras Clave **- Módulos, Usuario, Sistema, Tutorías**

Abstract **- This article presents a comprehensive summary of the results obtained and their relevance, focusing on the development of a web system specifically designed to enhance the generation and visualization of reports for staff involved in the Institutional Tutoring Program at the Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. The primary purpose of this system is to streamline and optimize the process of creating and accessing reports, ensuring efficient management of the program and facilitating monitoring of progress and results. The development approach adopted is based on an incremental methodology, dividing the project into phases to address requirements progressively. This includes analysis, design, development, testing, and server implementation. Advanced technologies such as JavaScript and PHP are used for programming, SQL for database management, and market-leading tools like Angular, Laravel, HTML, CSS, and Bootstrap to enhance visual appearance and user experience. The system is organized into specific modules, each tailored to the various roles performed by tutoring program personnel. Furthermore, the article provides a detailed exposition of the methodology guiding the development of the Institutional Tutoring System. It outlines the steps followed from initial analysis to the operation and maintenance of the tutoring personnel-oriented system. Conclusions, recommendations, and results are presented, demonstrating the system's utility.**

Keywords **- Modules, User, System, Tutorials**

I. INTRODUCCIÓN

La presente investigación se centra en la creación de un "Sistema Institucional de Tutorías" específicamente diseñado para el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. El propósito principal de este sistema es mejorar la eficiencia de las tareas administrativas relacionadas con el Programa Institucional de Tutorías. Esto incluye la generación precisa de informes y una gestión efectiva de tutores, tutorados y personal involucrado en el programa.

El enfoque principal de este estudio es desarrollar un sistema altamente funcional que conste de interfaces accesibles para los distintos usuarios del Programa Institucional de Tutorías. Estos usuarios comprenden tutores, coordinadores de tutorías, el coordinador institucional y el jefe del departamento de desarrollo académico. La implementación de este sistema se llevará a cabo a través de una aplicación web compatible con los navegadores convencionales. Donde un "Desarrollo web significa construir y mantener sitios web; es el trabajo que tiene lugar en un segundo plano y que permite que una web tenga una apariencia impecable, un funcionamiento rápido y un buen desempeño para permitir la mejor experiencia de usuario." (OpenClassrooms, 2017)
Para lograr esto, se emplearán lenguajes de programación esenciales como JavaScript y PHP (Preprocesador de Hipertexto), y se utilizará SQL (Structured Query Language) para la comunicación con la base de datos. Este documento proporciona un análisis detallado de las diferentes etapas del proceso de desarrollo del proyecto, que incluyen análisis, diseño e implementación del sistema. Además, se describe la metodología de trabajo adoptada y se presentan las herramientas utilizadas en la creación del sistema.

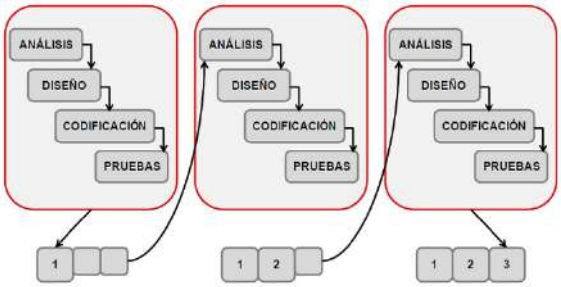
II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

A. Metodología de desarrollo

La metodología incremental es la base de la mayoría de los enfoques de desarrollo de software ágil, con ella se han desarrollado encuestas y entrevistas demostrando su fácil aplicación, además de generar buenos resultados. Esta metodología inicia con un bosquejo de descripción y finaliza con

una versión final que cumple con los requerimientos de información y administración, así como las necesidades del usuario (León Yacelga, Acosta Espinoza, & Díaz Vásquez, 2021), las etapas de este modelo se representan en la "Figura1".

Figura 1
Modelo de desarrollo incremental



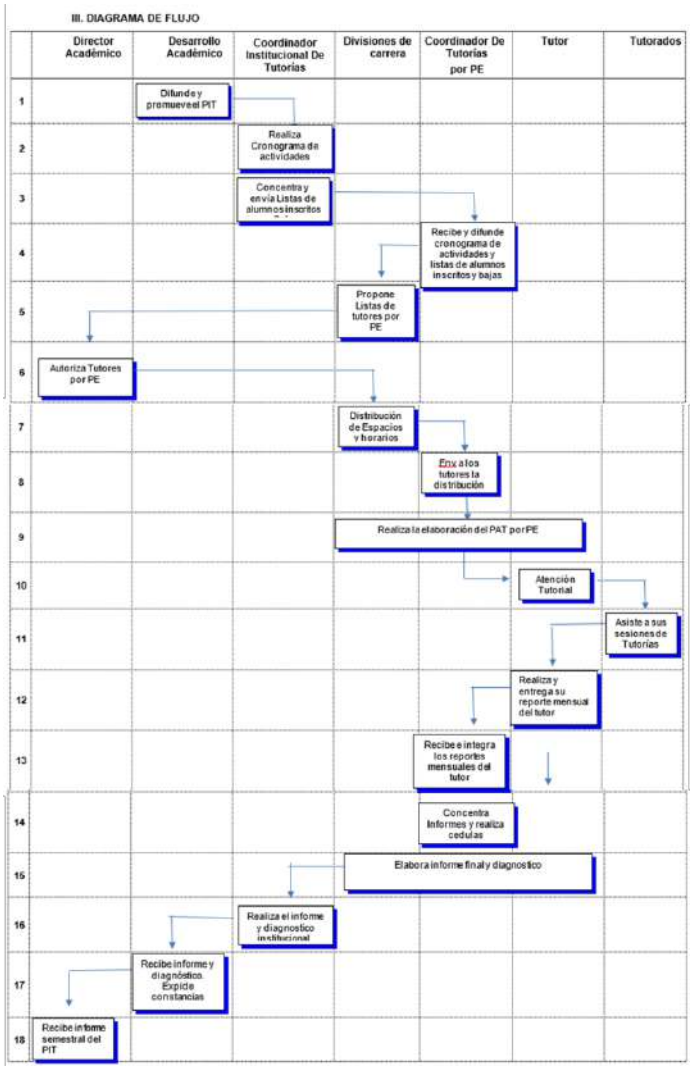
En el presente desarrollo, se utilizó la metodología incremental puesto que se buscó trabajar de manera colectiva bajo etapas, entregas parciales y funcionales, retroalimentación temprana, adaptabilidad, flexibilidad ante cambios, reducción de riesgos y pruebas específicas. Lo anterior permitió la generación de un sistema que agrega un valor significativo al proceso del sistema institucional de tutorías.

La fase inicial permitió identificar y definir los roles del personal académico encargados del programa de tutorías, además se obtuvo las especificaciones de los requisitos IEEE 830 que incluye los requisitos funcionales del sistema. Además, de la metodología estructurada y la metodología orientada a objetos (DFDs y UML). La metodología estructurada está basada en la representación de las funciones que debe realizar el sistema y el fluido de datos. Mientras que, en la metodología orientada a objetos se utiliza el UML que se representa con diagramas (casos de uso) y que permite definir el sistema desde el punto de vista del usuario estableciendo las relaciones entre el futuro sistema y su entorno (Pierre-Alain, 1997).

B. Análisis y estudio, diagramas y prototipo

Se identificaron requisitos y necesidades del sistema de tutorías del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo que se implementa a través del software Excel, esto se realiza a través del diagrama de procesos del procedimiento del "Programa Institucional de tutorías" del sistema de gestión de calidad del Tecnológico de Lerdo, mostrado en la (Figura 2). Para ello se realizó un estudio y análisis de las actividades de cada miembro del personal académico, así como problemas que se presentaban con el uso del software de Excel. El siguiente paso fue la creación de diagramas de casos de uso a través del software Lucidchart para representar las relaciones que existen entre los distintos usuarios del sistema. Enseguida se generó un prototipo estructural que integró las características esenciales que conforman el sistema, para ello se utilizó la herramienta de diseño de imágenes para ejemplificar el mismo, así como MySQL Workbench para la generación de base de datos.

Figura 2
Diagrama de flujo del procedimiento del programa de tutorías.



C. Desarrollo de software

En el presente proyecto, se emplearon diversas tecnologías avanzadas para su desarrollo. La selección de estas herramientas y plataformas fue crucial para asegurar la eficiencia, robustez y escalabilidad del producto final. Entre las tecnologías utilizadas se encuentran lenguajes de programación modernos, entornos de desarrollo integrados, bases de datos de alto rendimiento, y frameworks de desarrollo tanto para el Frontend como para el Backend. A continuación, se detallan cada una de ellas.

- PHP (acrónimo recursivo de PHP: Hypertext Preprocessor) es un lenguaje de código abierto muy popular especialmente adecuado para el desarrollo web y que puede ser incrustado en HTML. (Php, 2023)
- SQL (Structured Query Language) es un lenguaje de programación que permite manipular los datos y los sistemas de bases de datos relacionales. Este lenguaje se utiliza principalmente para comunicarse con las bases de datos con el fin de gestionar los datos que contienen. (DataScientest, 202)

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

- JavaScript es un lenguaje de programación diseñado en un principio para añadir interactividad a las páginas web y crear aplicaciones web. Se emplea en el desarrollo de páginas web para tareas como cambiar automáticamente la fecha de una página, hacer que una página aparezca en una ventana emergente al hacer clic en un enlace o que un texto o imagen cambien al pasar el ratón por encima. Se ejecuta en el ordenador del visitante a la web, por lo que no requiere descargas constantes desde el sitio web. (Urrutia, 2020)
- HTML, lenguaje de marcado de hipertexto o HyperText Markup Language por sus siglas en inglés. Es un lenguaje que permite definir la estructura a las páginas web. (Kolade, 2023)
- CSS es un lenguaje de programación que se utiliza para definir el estilo y el aspecto de un documento que se ha escrito a través de un lenguaje de etiquetas, como HTML. Conocido también como hojas de estilo en cascada, es el que se emplea para dar colores, indicar tipos 16 de letra o incluso señalar aspectos como el espacio entre elementos para dotar de estilo a una web. (NeoAttack, 2020)
- Bootstrap es un kit de herramientas de código abierto para desarrollos web responsive con HTML, CSS y JavaScript. Con él puedes darle forma a tu sitio web a través del uso de sus librerías CSS y JavaScript. (Suárez, 2020)
- Laravel es un framework de desarrollo web de código abierto escrito en PHP que se utiliza para crear aplicaciones web de alta calidad y escalables, siendo uno de los frameworks de PHP más populares. Se basa en el patrón de diseño MVC (Model-View-Controller) y utiliza una sintaxis intuitiva que facilita la lectura y el mantenimiento del código. (Morales, 2023)
- Angular 15, la nueva versión de uno de los frameworks de código abierto más utilizados por los desarrolladores que crean aplicaciones para la Web, ha sido lanzada trayendo consigo varias mejoras en términos de rendimiento y corrección de errores. (Corredera, 2022)
- Git es un sistema de control de versiones distribuido, lo que significa que un clon local del proyecto es un repositorio de control de versiones completo. Estos repositorios locales plenamente funcionales permiten trabajar sin conexión o de forma remota con facilidad. (Jacobs et al., 2023)

D. Pruebas, verificación e implementación

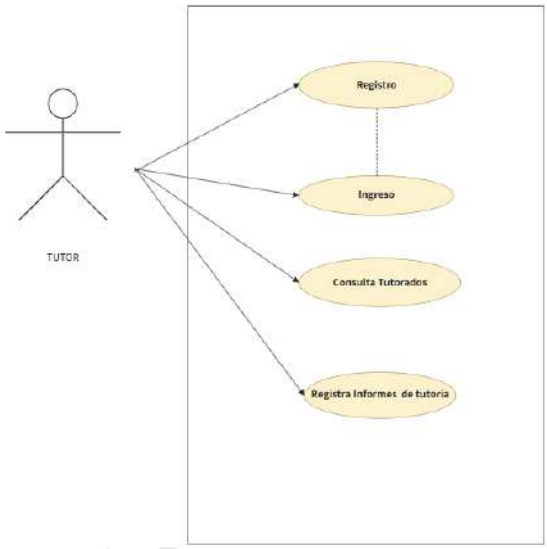
Para conocer el buen funcionamiento del sistema se realizaron pruebas locales como a nivel del servidor. Así mismo, se generaron capturas de informes correspondientes a las primeras y segundas sesiones de tutorías para comprobar la robustez del sistema frente a un elevado número de solicitudes simultáneas. La verificación permitió validar las funcionalidades asignadas a cada rol dentro del sistema de tutorías. Finalmente, la implementación incluyó la configuración, instalación y ejecución del sistema en el servidor.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Resultado del análisis y estudio

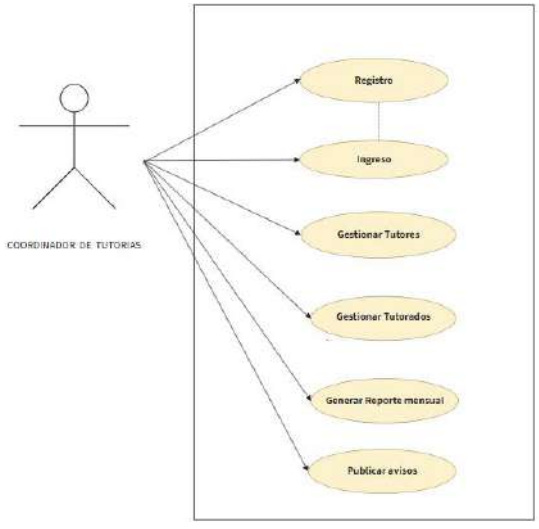
Los diagramas se llevaron a cabo con la división del sistema en componentes independientes, abordando cada uno en su desarrollo de manera separada y cohesionada para representar de una manera efectiva las relaciones que existen entre los distintos usuarios del sistema y su interacción. En el siguiente diagrama de caso de uso representado en la figura 3 se muestran las funciones del Sistema Institucional de Tutorías (SIT) para el rol de tutor. Este podrá acceder al sistema para consultar la lista de sus tutorados, elaborar informes de las sesiones de tutoría, visualizar avisos publicados por el coordinador institucional, el departamento de desarrollo académico y el coordinador de tutorías. Además, podrá gestionar datos y actividades específicas relacionadas con su rol.

Figura 3
Diagrama de Casos de Uso del tutor



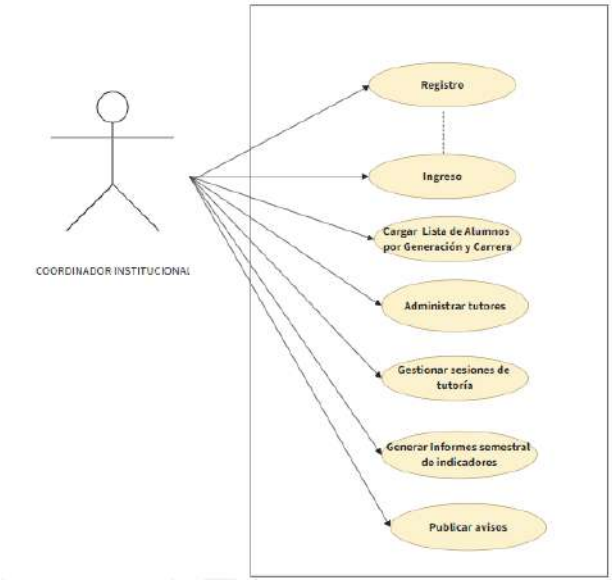
En el diagrama de casos de uso mostrado en la figura 4 se presentan las funciones del Sistema para el rol de Coordinador de Tutorías. Este podrá acceder al sistema y asignar alumnos a los docentes tutores, generar un PDF con la lista de tutorados de cada tutor y generar informes. Además, tendrá la capacidad de gestionar datos y actividades específicas relacionadas con su rol.

Figura 4
Diagrama de Casos de Uso de coordinador de tutorías



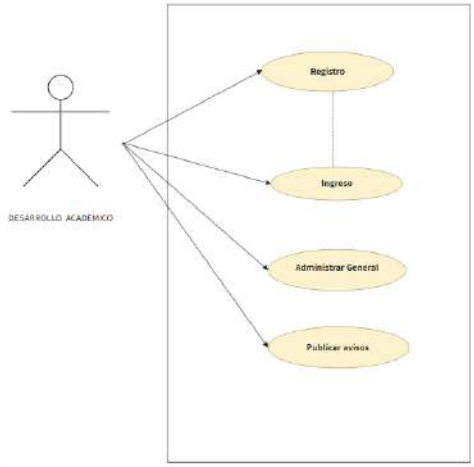
El diagrama de casos de uso de la figura 5 se presentan las funcionalidades del sistema para el rol de coordinador institucional. Este usuario podrá agregar y visualizar el nombre de la generación, asignar fechas, cargar datos de alumnos, docentes y tutores, y generar reportes de indicadores. Además, tendrá la capacidad de gestionar datos y actividades específicas relacionadas con su rol.

Figura 5
Diagrama de Casos de Uso de coordinador institucional.



En el diagrama de casos de uso de la figura 6 se describen las funcionalidades del sistema para el rol de desarrollo académico. Este podrá asignar fechas para las tres sesiones, seleccionando la generación y el período correspondientes, subir un archivo con la información de los docentes según la carrera, visualizar y publicar avisos para tutores, el coordinador institucional y el coordinador de tutorías. Además, tendrá la capacidad de gestionar datos y actividades específicas relacionadas con su rol.

Figura 6
Diagrama de Casos de Uso del desarrollo académico.



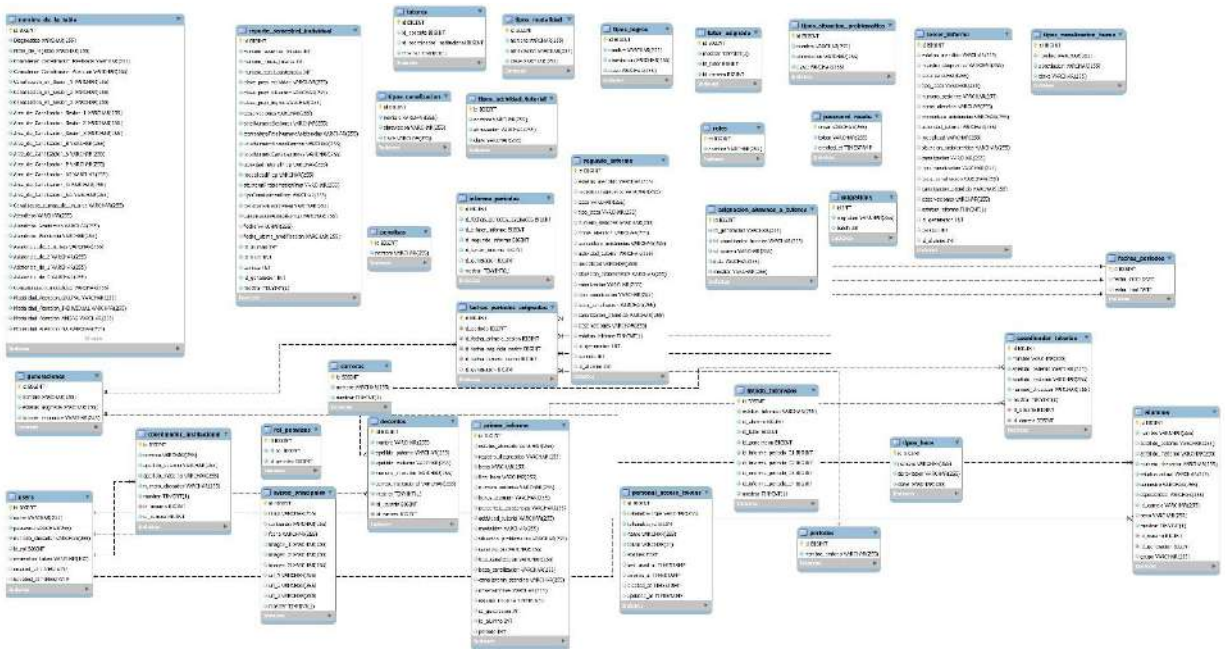
Así mismo, se diseñó el prototipo del Sistema Institucional de Tutorías. Se estructuró de modo que incorpora algunas de sus características esenciales. Para conseguirlo, se desarrolló un modelo de las pantallas que conformarán el sistema, acompañadas de sus funciones correspondientes. En la figura 7 se ejemplifica el primer prototipo del sistema de tutorías.

Figura 7
Prototipo del sistema de tutorías.

B. Resultados del desarrollo del software

En el diagrama entidad-relación que muestra la Figura 8 se presentan las tablas que conforman la base de datos del sistema, junto con las respectivas relaciones que existen entre ellas. Estas tablas y sus conexiones son fundamentales para el correcto funcionamiento del sistema, ya que permiten la organización y el manejo eficiente de la información. Estas estructuras y relaciones permiten al sistema gestionar eficientemente los datos, facilitando operaciones.

Figura 8
Diagrama entidad relación



En esta última etapa crucial, se muestra cómo se transfieren los archivos y se configuran los componentes necesarios para que el software funcione correctamente en el entorno del servidor. Este proceso incluye la validación de la integridad de los archivos, la configuración de las variables de entorno, y la instalación de dependencias específicas del servidor. Además, se visualizan los mecanismos de seguridad implementados para garantizar que la transferencia de datos se realice de manera segura y sin interrupciones. La correcta ejecución de este paso es fundamental para asegurar que el software funcione de manera óptima y esté listo para su uso por parte de los usuarios finales.

C. Resultados de las pruebas, verificación e implementación

El sistema consta de varios métodos que incluyen diferentes sentencias de programación, librerías, controladores y otros componentes. Debido a esta complejidad, se decidió realizar pruebas unitarias (unit testing) para validar cada módulo programado y asegurar su correcto funcionamiento en funciones y procesos específicos a nivel local antes de integrarlo en el sistema principal alojado en el servidor. Esto garantiza una mayor calidad y confiabilidad del sistema, reduciendo posibles errores y conflictos durante la implementación en el servidor, y permite identificar y corregir problemas antes de afectar a los usuarios o al funcionamiento en producción.

Durante estas pruebas, se utilizaron los roles de tutores, coordinador institucional y coordinador de tutorías. En el caso del coordinador institucional, se cargaron los datos de los docentes y alumnos de la carrera de ingeniería en informática a través de un archivo, verificando que la carga en la base de datos se realizara sin inconvenientes. Mostrados en las siguientes Figuras 11 y 12.

Figura 11
Prueba de carga de docentes

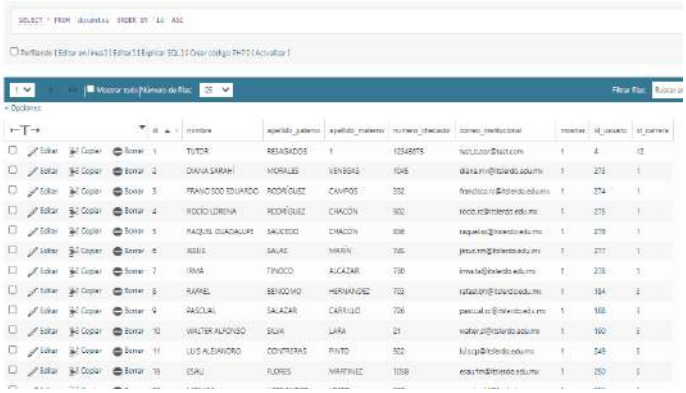


Figura 12
Prueba de mensaje de docentes cargados correctamente e interfaz de alerta

Una vez completadas las pruebas locales, se realizaron pruebas de estrés en el servidor, conocidas también como pruebas de resistencia, para evaluar el sistema de tutorías bajo niveles extremadamente altos de demanda. El objetivo principal era identificar posibles debilidades y garantizar un rendimiento óptimo en escenarios críticos. Durante estas pruebas, se simuló una carga representativa de los usuarios clave del sistema, incluidos docentes de ingeniería informática y alumnos. La evaluación se centró en observar la respuesta del sistema al aumento significativo de usuarios, asegurando su estabilidad bajo condiciones de alta exigencia.

Además, se realizaron pruebas de captura de informes de las primeras y segundas sesiones de tutorías de los tutorados de diferentes tutores de ingeniería informática. Estas pruebas comprobaron la robustez del sistema frente a un elevado número de solicitudes simultáneas, demostrando su capacidad para gestionar múltiples interacciones concurrentes sin fallos. La captura de los informes se llevó a cabo exitosamente y se muestran en (Figura 13 y 14)

Para la verificación, se realizó una revisión exhaustiva para asegurar que el sistema desarrollado se alineará con los requisitos establecidos durante la fase de análisis. Además, se validaron las funcionalidades asignadas a cada rol dentro del sistema de tutorías, garantizando que estuvieran correctamente definidas y en sintonía con las necesidades y expectativas de los usuarios.

Figura 13

Pantalla de prueba primer informe captura completa e interfaz de carga de informes

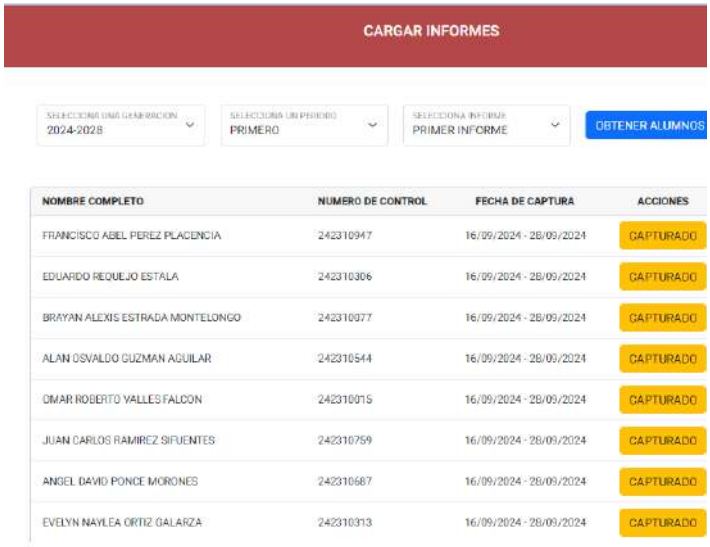


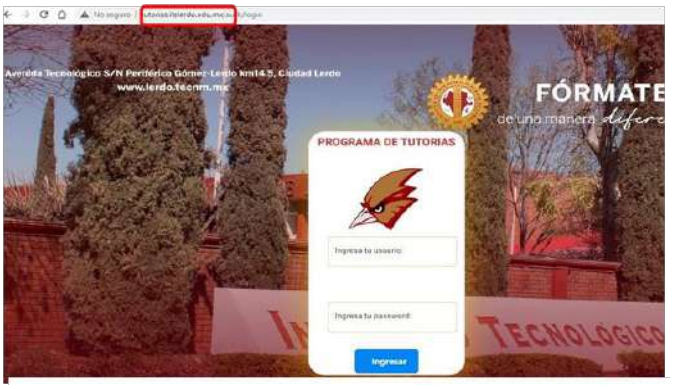
Figura 14

Pantalla de prueba del registro del primer informe de su interfaz

Finalmente, para la implementación el sistema se desplego en el servidor designado para su funcionamiento. El servidor del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo alojó el sistema de tutorías; accesible a través del dominio http://tutorias.itslerdo.edu.mx. El proceso de implementación incluyó la configuración, instalación y puesta en marcha del sistema en dicho servidor, asegurando su disponibilidad para la comunidad educativa del instituto, como se muestra en la figura (Figura 15).

Figura 15

Pantalla del Sistema implementado en el servidor e interfaz de inicio de sesión



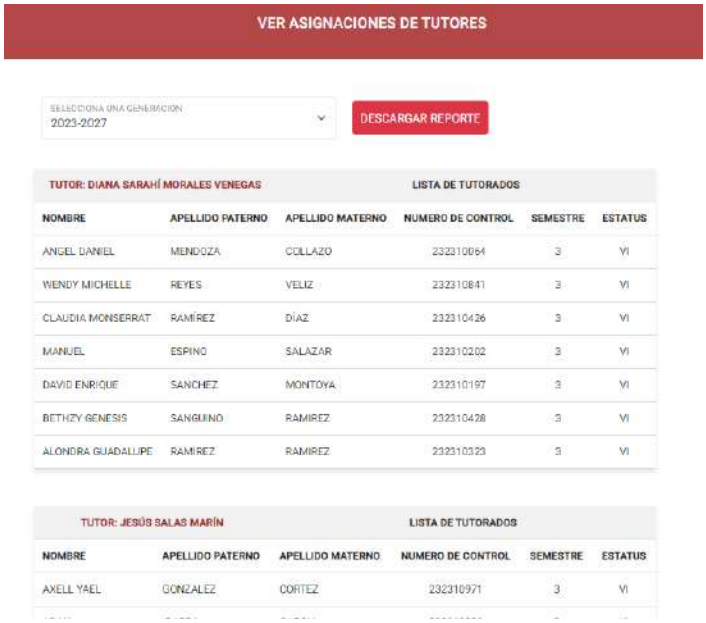
Finalmente, el sistema se puso en operación para la carrera de informática en noviembre de 2023 dándoles una capacitación del funcionamiento. Posteriormente se pretende que el sistema pueda implementarse en otras carreras del campus. El mantenimiento deberá ser periódico y correctivo, abordando cualquier problema que pueda surgir en su entorno operativo.

En la pantalla mostrada en la figura 16, se presenta la interfaz del coordinador de tutorías, donde se puede visualizar un reporte mensual por generación y seleccionar el tipo de informe necesario, con la opción de descargarlo en formato PDF.

Figura 16
Pantalla de la Interfaz del reporte mensual para el coordinador de tutorías

En la figura 17 se presenta la pantalla interfaz la asignación de tutores a los docentes de la ingeniería dando la opción de vista por generación y la opción de descarga en formato PDF.

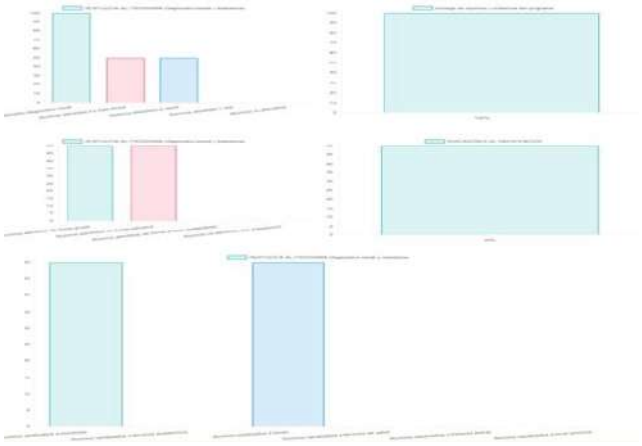
Figura 17
Pantalla de Interfaz de asignaciones de tutores.



En las figuras 18 y 19 se presentan las pantallas del informe general del tutor, los tutorados que tuvo y los datos que en particular necesita el coordinador de tutorías acompañado de la representación gráfica.

Figura 19
Pantalla de Informe general

Figura 20
Pantalla de gráficos.



IV. CONCLUSIONES

Este desarrollo produjo resultados altamente positivos para el personal vinculado al programa institucional de tutorías, incluyendo tutores, coordinadores de tutorías y coordinadores institucionales, así como para el desarrollo académico. La esencia de este proyecto radica en la creación de un sistema web diseñado para simplificar las tareas administrativas y operativas del programa, facilitando la elaboración de informes y la gestión de tutores, tutorados y personal administrativo.

Es crucial destacar que este proyecto no solo se enfocó en alcanzar los objetivos iniciales, sino que también se diseñó pensando en su futura expansión mediante actualizaciones y mejoras continúas. La exitosa conclusión de este proyecto se atribuye a la combinación de una metodología precisa para la estructuración de los procesos y una comprensión detallada de los requisitos solicitados por el Instituto para su implementación.

Este desarrollo no solo atiende las necesidades inmediatas, sino que también se presenta como una herramienta valiosa para el personal vinculado al programa de tutorías. Su implementación conlleva una mejora tangible en la eficiencia de la creación de informes, minimizando errores en la elaboración de reportes y en la generación de gráficos y tablas. Se considera que este sistema no solo contribuirá significativamente al Instituto en el presente, sino que también evolucionará continuamente para adaptarse a nuevos requerimientos que puedan surgir en el futuro. La flexibilidad y capacidad de actualización del proyecto están diseñadas para garantizar su relevancia a largo plazo y cumplir con los estándares de calidad en el diseño y desarrollo de software.

V. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen en primer lugar al titular de la Subdirección de Investigación y Desarrollo Tecnológico del ITSL, Ing. Jesús Alejandro Valdés Nieblas, por su apoyo en este proyecto. También desean expresar su gratitud a los estudiantes que, a lo largo del desarrollo, han colaborado con dedicación y esfuerzo.

VI. REFERENCIAS

Alegsa, L. (2023, 12 de junio). *Definición de UML*. Alegsa.com.ar. https://www.alegsa.com.ar/Dic/uml.php#google_vignette&gsc.tab=0

Rodríguez, A. (2023, 20 de julio). *¿Cuáles son las metodologías de desarrollo de software más eficaces?* Emprende con tu web. https://emprendecontuweb.com/cuales-son-las-metodologias-de-desarrollo-de-software-mas-eficaces/

OpenClassrooms, M. d. (2017, 11 de septiembre). Qué es JavaScript. OpenClassrooms. https://blog.openclassrooms.com/es/2017/09/11/que-es-el-desarrollo-web/

García, F. J., & García, A. (2017). *Fundamentos de la vista de Casos de uso. Repositorio Grial.* https://repositorio.grial.eu/bitstream/grial/1155/1/UML%20-%20Casos%20de%20uso.pdf

Monferrer, R. (2000). Especificación de Requisitos Software según el estándar de IEEE 830. http://zeus.inf.ucv.cl/~bcrawford/AULA_ICI_3242/ERS_IEEE830.pdf

Mancuzo, G. (2022, 25 de agosto). *Qué es el modelo incremental. Comparasoftware*. https://blog.comparasoftware.com/que-es-el-modelo-incremental/

Morales, J. (2023, 4 de marzo). Qué es Laravel y cuáles son sus beneficios para desarrollo. WWWhat's New. https://wwwhatsnew.com/2023/03/06/que-es-laravel-y-cuales-son-sus-beneficios-para-desarrollo-web/

Dimaggio, M. (2013, 24 de julio). *Una metodología de desarrollo de software.* 4rsoluciones. https://www.4rsoluciones.com/blog/una-metodologia-desarrollo-software/

Jacobs et al. (2023, 4 de agosto). ¿Qué es Git?. Microsoft Learn. https://learn.microsoft.com/es-es/devops/develop/git/what-is-git

Corredera, P. Á. (2022, 23 de noviembre). Lanzado Angular 15 con API independiente. Ciberninjas. https://ciberninjas.com/lanzado-angular-15-con-api-independiente/

Suárez, D. (2020, 14 de octubre). *Qué es Bootstrap y cómo usarlo.* Raiola Networks. https://raiolanetworks.es/blog/bootstrap

NeoAttack. (2020, 27 de agosto). *¿Qué es el CSS y para qué sirve?.* Neowiki. https://neoattack.com/neowiki/css/

Kolade, C. (2023, 26 de enero). Qué es HTML – Definición y significado de lenguaje de marcado de hipertexto. freeCodeCamp. https://www.freecodecamp.org/espanol/news/que-es-html-definicion-y-significado-de-lenguaje-de-marcado-de-hipertexto/

Urrutia, D. (2020, 28 de enero). *Qué es JavaScript.* Arimetrics. https://www.arimetrics.com/glosario-digital/javascript

DataScientest. (2021, 3 de diciembre). *SQL: todo lo que necesitas saber sobre el lenguaje de programación de bases de datos. DataScientest.* https://datascientest.com/es/sql-todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-el-lenguaje-de-programacion-de-bases-de-datos

Php. (2023, 28 de enero). ¿Qué es PHP?. PHP.net. https://www.php.net/manual/es/intro-whatis.php

León Yacelga, A. R., Acosta Espinoza, J. L., & Díaz Vásquez, R. A. (2021). *Aplicación de la metodología incremental en el desarrollo de sistemas de información. Revista Universidad y Sociedad,* 13(5), 175-182. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202021000500175&lng=es&tlng=es

VII. AUTORES

Roció Lorena Rodríguez Chacón
https://orcid.org/0009-0001-0842-1585

Carlos Leobardo Badillo Alonso
https://orcid.org/0009-0001-0265-0686

Elena Tzetzangary Aguirre Mejía
https://orcid.org/0000-0003-4472-6025

Lilia Parada Morado
https://orcid.org/0000-0003-2169-0533

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

Desarrollo de un Sistema IoT Básico para Monitoreo en Tiempo Real de Consumo y Demanda Energética Doméstica Usando Microcontrolador ESP32 y ThingSpeak de Matlab

Román-Reyes J.E[1].; González-Vargas, L. A.[1] ✉; Alvarado-Tovar, N.[2]; Manqueros-Avilés, V.E.[1]

Datos de Adscripción:

[1] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Av. Tecnológico No.1555 Sur, Periférico Gómez-Lerdo Km. 14.5. Ciudad Lerdo, Estado de Durango. México. C.P. 35150.

[2] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de la Laguna. Blvd. Revolución y Av. Instituto Tecnológico de La Laguna, Torreón, Coahuila, C.P. 27000

✉ luis.gv@lerdo.tecnm.mx

Resumen **– El articulo presenta la implementación detallada de un sistema IoT para monitorear en tiempo real la demanda energética doméstica. La aplicación de IoT en el monitoreo del consumo de energía en entornos domésticos es crucial para promover la eficiencia energética y reducir costos. Permite una supervisión continua y en tiempo real de los patrones de consumo, facilitando la identificación de áreas de mejora y la toma de decisiones informadas para optimizar el uso de la energía. En este proyecto, se utiliza un microcontrolador ESP32 junto con sensores de corriente (transformadores de corriente) para capturar datos sobre el consumo energético. Para la visualización remota de estos datos, se emplea ThingSpeak, una plataforma basada en MATLAB que permite trabajar con aplicaciones IoT. El proyecto se centra en la implementación de un sistema IoT básico para monitorear en tiempo real el consumo y la demanda energética doméstica. Se configura el hardware mencionado para recopilar datos de consumo de energía, que luego se transmiten a ThingSpeak para visualización local y remota. Los usuarios pueden acceder a esta información tanto localmente, a través de un display, como de manera remota utilizando la herramienta ThingSpeak. Se obtienen resultados significativos. Los usuarios pueden monitorear su consumo energético de forma precisa y en tiempo real, lo que les permite tomar medidas para mejorar la eficiencia y reducir el desperdicio de energía. La combinación de hardware y software seleccionados ha demostrado ser efectiva para este propósito, destacando el potencial de la tecnología IoT en la gestión energética residencial.**

Palabras Clave: Demanda, Energía, IoT, Microcontrolador ESP32, Monitoreo energético, ThingSpeak.

Abstract **– The article presents the detailed implementation of an IoT system for real-time monitoring of household energy demand. The application of IoT in monitoring energy consumption in domestic environments is crucial for promoting energy efficiency and reducing costs. It enables continuous and real-time monitoring of consumption patterns, facilitating the identification of areas for improvement and informed decision-making to optimize energy usage. In this project, an ESP32 microcontroller is utilized alongside current sensors (current transformers) to capture data on energy consumption. For remote visualization of this data, ThingSpeak, a MATLAB-based platform for IoT applications, is employed. The focus of the project is on implementing a basic IoT system to monitor real-time energy consumption and demand. The hardware is configured to collect energy consumption data, which is then transmitted to ThingSpeak for local and remote visualization. Users can access this information both locally, through a display, and remotely using the ThingSpeak platform. Significant results have been obtained, allowing users to monitor their energy consumption accurately and in real-time. This capability enables them to take measures to improve efficiency and reduce energy waste.**

Keywords: IoT; Energy Monitoring, Demand, Energy, ThingSpeak, ESP32 Microcontroller.

I. INTRODUCCIÓN

La integración de la tecnología del Internet de las Cosas (IoT) en la gestión de la energía doméstica representa un avance significativo hacia la optimización del consumo energético y la sostenibilidad ambiental (Gubbi et al., 2013). En el contexto actual, donde la eficiencia energética es imperativa para la conservación de recursos y la reducción de costos, el monitoreo en tiempo real de la demanda energética emerge como una solución prometedora (Al-Fuqaha et al., 2015).

Este artículo explora la implementación de un sistema IoT diseñado para el monitoreo preciso y en tiempo real del consumo de energía en hogares, utilizando un enfoque innovador que combina el microcontrolador ESP32 con sensores de corriente para la recolección de datos (Kumar & Singh, 2020). La relevancia de este estudio radica en su contribución al campo de la gestión inteligente de la energía, proporcionando una plataforma que no solo facilita la supervisión energética, sino que también promueve la toma de decisiones basada en datos para la mejora continua (Priyadharshini et al., 2019).

La utilización de ThingSpeak como herramienta de visualización remota resalta la viabilidad de aplicar plataformas basadas en Matlab en aplicaciones IoT, ampliando las posibilidades de interacción y un acceso visual de los datos hacia usuarios. Este trabajo se inscribe dentro de una línea de investigación que busca promover la tecnología IoT para aplicaciones residenciales, contribuyendo así a un futuro más eficiente y sostenible (Gubbi et al., 2013).

La elección de Matlab y ThingSpeak para el monitoreo de energía sobre otras plataformas se puede fundamentar en varias razones técnicas y funcionales.

Open-source y flexibilidad: Plataformas como Arduino con integración a servicios en la nube como AWS IoT Core permiten una configuración flexible y de código abierto, ideal para proyectos personalizados y accesibles en términos de costo.

Capacidades analíticas: En contraste, Matlab proporciona robustas capacidades de análisis y procesamiento de datos, esencial para aplicaciones que requieren análisis avanzado de tendencias y predicciones basadas en datos históricos.
Facilidad de integración: ThingSpeak se destaca por su simplicidad en la integración de dispositivos IoT mediante APIs claras y documentación detallada, lo que facilita la implementación rápida y escalable de sistemas de monitoreo energético.
La elección de Matlab-ThingSpeak para el monitoreo de energía se justifica por su combinación única de capacidades analíticas avanzadas, facilidad de integración IoT y soporte robusto, haciendo de esta combinación una opción potente para aplicaciones de monitoreo energético exigentes.

El proyecto de diseño e implementación de un sistema de monitoreo remoto de consumo de energía eléctrica basado en el microcontrolador ESP32 requería una plataforma que proporciona herramientas robustas para la recolección, análisis y visualización de datos en tiempo real. Después de evaluar varias opciones disponibles, se optó por la plataforma ThingSpeak ya que tiene grandes capacidades de procesamiento en la nube, su integración sencilla con el hardware utilizado, visualización en tiempo real, soporte para IoT y dispositivos integrados, amplias opciones de soporte documentación con comunidad de usuarios. Al considerar otras plataformas como Blynk, Adafruit IO y Google Cloud IoT, se observaron varias diferencias significativas.
Las principales ventajas de un sistema IoT para el monitoreo de la demanda energética doméstica incluyen la capacidad de realizar un seguimiento preciso y en tiempo real del consumo de energía, lo que permite a los usuarios identificar patrones de uso y áreas de ineficiencia (Priyadharshini et al., 2019). Esto facilita la implementación de medidas correctivas para optimizar el uso de la energía, resultando en una reducción significativa de los costos operativos (Al-Fuqaha et al., 2015). Además, la supervisión continua proporciona datos valiosos para la toma de decisiones informadas, mejorando así la eficiencia energética general del hogar (Macheso & Thotho, 2022).

La integración de plataformas como ThingSpeak proporciona una interfaz accesible para poder visualizar y analizar datos, lo que mejora la interacción del usuario con el sistema. Por último, el uso de hardware como el microcontrolador ESP32 y sensores de corriente asegura una solución rentable y escalable, adecuada para la implementación en una amplia gama de entornos domésticos (Macheso & Thotho, 2022).
Estas ventajas resaltan el potencial transformador de la tecnología IoT en la gestión energética residencial y su contribución a un futuro más sostenible (Gubbi et al., 2013; Al-Fuqaha et al., 2015; Macheso & Thotho, 2022).

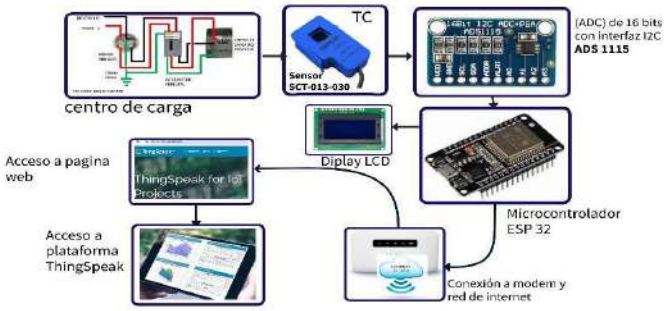
II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

El objetivo de este proyecto es diseñar e implementar un sistema IoT basado en el microcontrolador ESP32 y la plataforma ThingSpeak de Matlab para el monitoreo en tiempo real de consumo y demanda energética doméstica. El sistema nos permite observar y analizar sus patrones de consumo energético, a través de una interfaz web.

2.1 Arquitectura del Sistema

En este sistema IoT consta de los componentes principales siguientes.

Figura 1
Arquitectura del sistema IoT para el monitoreo de energía



En la figura 1 se muestra un esquema de un sistema IoT diseñado para el monitoreo en tiempo real del consumo energético doméstico. A continuación, se describe el proceso y los componentes involucrados:

2.2 Descripción del Proceso y Componentes

A. Centro de carga

Sensor de Corriente (TC - Transformador de Corriente SCT-013-030): El proceso comienza en el centro de carga, donde un sensor de corriente (SCT-013-030) nos ayuda a tener una lectura de la corriente eléctrica que transcurre a través del cable. Este tipo de sensor es un transformador de corriente que convierte la corriente medida en una señal de voltaje proporcional. La tabla 1 muestra los principales datos técnicos de este sensor.

Tabla 1
Datos técnicos del sensor SCT-013-030 (DataSheetHub, s.f.)

$\mathbf{I_{PN}}$	**Entrada nominal**	**0 – 30A**
$\mathbf{I_{OUT}}$	Salida nominal	0 – 1V
X	Exactitud	±1%
$\boldsymbol{\varepsilon_L}$	Linealidad	≤0.2%
N	relación de tunes	1:1800
$\boldsymbol{V_{PN}}$	voltaje de trabajo	660V
f	Frecuencia de trabajo	50 – 1kHz
$\boldsymbol{T_A}$	Temperatura de funcionamiento	-25 – 70°C
$\boldsymbol{T_S}$	Temperatura de almacenam.	-40 – 85°C
Vd	Resistencia dieléctrica, 50Hz	3kV

B. Convertidor ADC (ADS1115)

Los datos de voltaje proporcionada por el sensor de corriente son enviados hacia un convertidor de señal analógica a digital (ADC) ADS1115. Este ADC de 16 bits con interfaz I2C convierte la señal analógica en datos digitales con alta precisión. Ver figura y tabla 2.

Figura 2
convertidor análogo digital ADS1115 (DataSheetHub, s.f.)

Tabla 2
Características del ADS 1115 (DataSheetHub, s.f.)

Características	Descripción
Resolución	16 bits
Canales	Cuatro canales de entrada analógicos configurables como diferenciales o de un solo extremo
Tasa de Muestreo	Hasta 860 muestras por segundo
Rango de Entrada	Diferentes rangos seleccionables mediante un amplificador de ganancia programable (PGA)
Interfaz	Comunicación a través de bus I2C
Bajo Consumo de Energía	Ideal en las aplicaciones de bajo consumo
Tensión de Alimentación	Entre 2.0V y 5.5V

El ADS1115 soporta varios modos de operación y configuración para adaptarse a diferentes necesidades de medición. Se explican los modos de un solo extremo, diferencial y comparador.

Modo de Un Solo Extremo

En el modo de un solo extremo, cada canal del ADS1115 mide el voltaje en relación con un punto común de referencia, generalmente el voltaje de tierra (GND). Este modo permite leer voltajes individuales en cada entrada analógica.

- *Configuración*: Se pueden medir hasta cuatro canales (A0, A1, A2, A3) de forma independiente.
- *Uso Típico*: Este modo es adecuado para aplicaciones donde se requiere medir voltajes absolutos en cada canal.
- *Ventaja*: Es simple de configurar y utilizar, ideal para la mayoría de las aplicaciones básicas.

Modo Diferencial

En el modo diferencial, el ADS1115 mide la diferencia de voltaje entre dos entradas seleccionadas. Esto permite una medición más precisa en entornos ruidosos, ya que se elimina el ruido común presente en ambas señales.

- *Configuración*: Se pueden configurar combinaciones de dos entradas para medir la diferencia entre ellas (por ejemplo, A0-A1, A2-A3, A0-A3, A1-A3).
- *Uso Típico*: Ideal para sensores que producen señales diferenciales y aplicaciones donde es crucial la eliminación de ruido y la precisión.
- *Ventaja*: Mejora la precisión en mediciones en entornos ruidosos.

Modo Comparador

El modo comparador del ADS1115 permite que el ADC funcione como un comparador digital. En este modo, el ADS1115 compara la señal de entrada con un valor de referencia y genera una señal de interrupción si la entrada supera el umbral establecido. Este modo puede configurarse para operar en ventanas (comparando si la señal está dentro de un rango específico) o comparaciones simples.

- *Configuración:* Se establecen umbrales de alta y baja a través de registros específicos. El comparador puede configurarse para generar una interrupción cuando el valor de entrada esté por encima o por debajo de estos umbrales.

- *Uso Típico*: Utilizado en aplicaciones donde se necesita monitorear niveles de voltaje específicos y tomar acciones basadas en estos eventos, como protección de sobrevoltaje, monitoreo de baterías, y sistemas de alarma.

- *Ventaja:* Reduce la carga del microcontrolador al manejar comparaciones de voltaje en hardware, permitiendo respuestas rápidas a eventos de umbral.

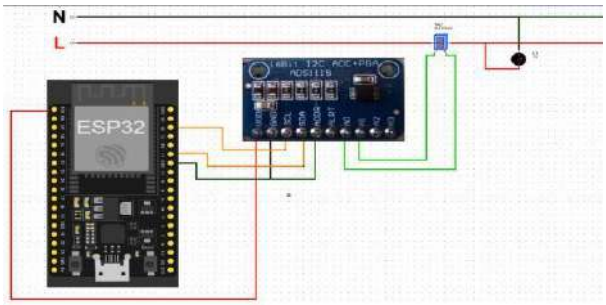
B. Microcontrolador ESP32

Desarrollado por Espressif Systems, el ESP32 es un SoC (System On Chip) económico y eficiente en consumo de energía que incluye Wi-Fi y Bluetooth de modo dual.
Las placas ESP32 cuentan con el procesador de 2 núcleos Xtensa LX6, lo que les permite realizar dos procesos simultáneamente. Estas MCU son eficientes en consumo energético (con un modo de bajo consumo deep sleep) y de bajo costo. El sistema de comunicaciones inalámbricas está optimizado mediante el uso de tecnologías avanzadas como amplificadores de potencia, amplificadores de bajo ruido para recepción, filtros, y módulos de gestión de energía, lo que contribuye a la reducción del consumo energético durante su operación.
Las especificaciones principales incluyen una velocidad máxima de 260 MHz. También ofrece 4 interfaces SPI, 2 interfaces I2C, 2 interfaces I2S y 3 interfaces UART, junto con un bus CAN 2.0. Dispone de 36 pines GPIO, de los cuales 16 pueden configurarse como salidas PWM y 18 pueden utilizarse como entradas analógicas. Para gestionar las señales analógicas, cuenta con 2 ADC de entrada múltiple. Estos convertidores son de 12 bits, lo que permite una mayor resolución al leer señales analógicas. El voltaje de operación es de 3.3VDC.

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

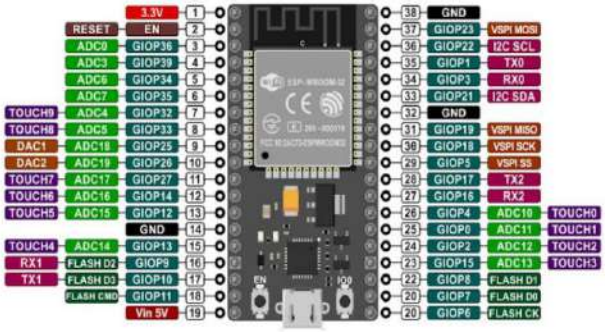
La figura 3 muestra el microcontrolador ESP32 conectado al sensor de corriente *SCT-013-030* mediante el ADS 1115, en la figura 4 se observa la dispersión de pines.

Figura 3
Microcontrolador ESP32 (diseño propio)



}

Figura 4
Distribución de pines Microcontrolador ESP32 (ElectronicaThido, s.f.)



C. Pantalla LCD

Una pantalla LCD (Liquid Crystal Display, en inglés) es una tecnología de visualización utilizada en una amplia gama de dispositivos electrónicos debido a su eficiencia energética, delgadez y capacidad para ofrecer imágenes de alta calidad. A continuación, se detallan las especificaciones y características técnicas comunes de las pantallas LCD. La figura 5 muestra una pantalla tipo LCD

Figura 5.
Pantalla LCD (DataSheetHub, s.f.)

Tipos de Pantallas LCD

Cada tipo de pantalla tiene sus propias aplicaciones y es más adecuado para ciertas situaciones y dispositivos según sus características específicas. La selección del tipo de pantalla depende de varios factores. como el costo, la calidad de imagen, la eficiencia energética y el uso previsto del dispositivo.

- TN (Twisted Nematic): Ofrecen tiempos de respuesta rápidos y son económicas, pero tienen ángulos de visión y reproducción de color limitados.
- IPS (In-Plane Switching): Mejor reproducción de color y ángulos de visión, aunque con tiempos de respuesta y consumo de energía mayores que TN.
- VA (Vertical Alignment): Ofrecen buenos contrastes y ángulos de visión, con un rendimiento intermedio entre TN e IPS.

Especificaciones Comunes

- Resolución: Definida por el número de píxeles en la pantalla (por ejemplo, 1920x1080 píxeles).
- Tamaño de Pantalla: Medido diagonalmente, comúnmente expresado en pulgadas (por ejemplo, 5 pulgadas, 15.6 pulgadas, etc.).
- Relación de Aspecto: Relación entre el ancho y la altura de la pantalla.
- Brillo: Medido en candelas por metro cuadrado (cd/m²), típicamente de 200 a 500 cd/m² para pantallas de consumo.
- Contraste: Relación entre la luminancia del color más brillante y el más oscuro que la pantalla puede producir (por ejemplo, 1000:1).
- Ángulos de Visión: Máximo ángulo desde el cual se puede ver la pantalla sin distorsión significativa del color (por ejemplo, 178° horizontal y vertical para IPS).
- Tiempo de Respuesta: El tiempo que un píxel necesita para cambiar de un estado a otro, medido en milisegundos (ms). Los tiempos típicos varían entre 1 ms y 20 ms.
- Consumo de Energía: Varía según las dimensiones y la tecnología de la pantalla, generalmente entre 5W y 50W para pantallas de tamaño pequeño a mediano.

Ventajas

- Eficiencia Energética: Bajo consumo de energía en comparación con tecnologías más antiguas como CRT.
- Delgadez y Ligereza: Permiten diseños de dispositivos delgados y ligeros.
- Calidad de Imagen: Ofrecen alta resolución y buena calidad de imagen.

Desventajas

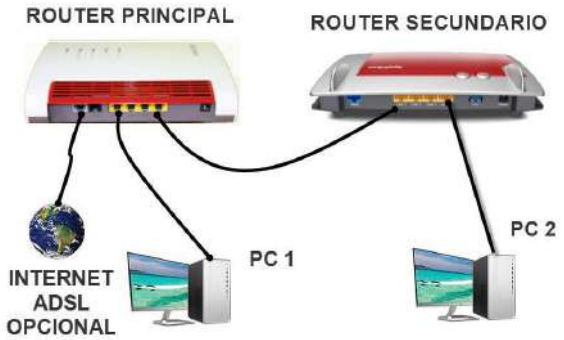
- Ángulos de Visión: Limitados en algunas tecnologías como TN.
- Tiempo de Respuesta: Pueden ser más lentos comparados con otras tecnologías como OLED.
- Reproducción de Color: Menos precisa en comparación con OLED y otras tecnologías emergentes.

Las pantallas LCD son una tecnología versátil y ampliamente utilizada en la electrónica moderna, ofreciendo un equilibrio entre rendimiento, calidad de imagen y eficiencia energética.

E. Conexión a Modem

La conexión a un módem y a una red de Internet es fundamental para establecer y mantener la comunicación con el mundo exterior en entornos residenciales y comerciales. En la figura 6 se detallan los componentes, tipos de conexiones y protocolos involucrados en este proceso.

Figura 6.
Conexión a Módem y Red de Internet (RedesZone, s.f.)



Componente Principales
Módem (Modulador-Demodulador):

- Función: Convierte las señales digitales de un dispositivo en la transmisión de señales analógicas a través de líneas telefónicas, cables coaxiales o fibra óptica, y viceversa.
- Tipos: ADSL (Línea de Abonado Digital Asimétrica), VDSL (Línea de Abonado Digital de Muy Alta Velocidad), Cable, Fibra Óptica, Satelital, LTE/5G.

Router:

- Función: Dirige el tráfico de intercambio de datos entre los dispositivos dentro de la red local(LAN) y el módem. Proporciona funcionalidad de red, como DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) y NAT (Network Address Translation).
- Tipos: Routers con y sin cables (Wi-Fi).

Switch: (Opcional en redes complejas)

- Función: Conecta varios dispositivos en una red local y gestiona el flujo de datos entre ellos de manera eficiente.

Puntos de Acceso (Access Points):

- Función: Extienden la cobertura de la red Wi-Fi, Permite la conexión de un mayor número de dispositivos a la red inalámbrica.

El uso y funcionamiento de la conexión al modem y red de internet, la conexión a un módem y una red de Internet implica una combinación de hardware y software que trabaja en conjunto para proporcionar acceso fiable y seguro a los recursos de Internet. La elección del tipo de conexión y la correcta configuración y mantenimiento de los dispositivos de red son fundamentales para asegurar un rendimiento óptimo y una experiencia de usuario satisfactoria.

F. ThingSpeak™

ThingSpeak es una plataforma IoT que hace más sencilla la recopilación, visualización y análisis de datos en tiempo real en la nube. Permite transmitir datos desde dispositivos, crear visualizaciones inmediatas y enviar alertas utilizando servicios web. Con la integración de capacidades de análisis de Matlab, los usuarios pueden escribir y ejecutar código para procesar, visualizar y analizar datos directamente en la plataforma. ThingSpeak facilita a ingenieros y científicos la creación de prototipos y el desarrollo de sistemas IoT sin la necesidad de configurar servidores ni desarrollar software web adicional.
ThingSpeak utiliza canales para almacenar datos provenientes de aplicaciones o dispositivos. Permite la lectura de datos a través de llamadas HTTP y la API REST, además de emplear MQTT para recibir notificaciones cada vez que se actualiza un canal. Las figuras 7,8 y 9 muestran la plataforma y su integración con dispositivos como el ESP32 y Matlab.

Figura 7
ThingSpeak con ESP32 (Random Nerd Tutorials, s.f.)

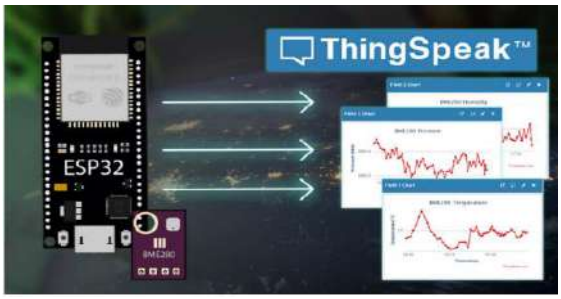
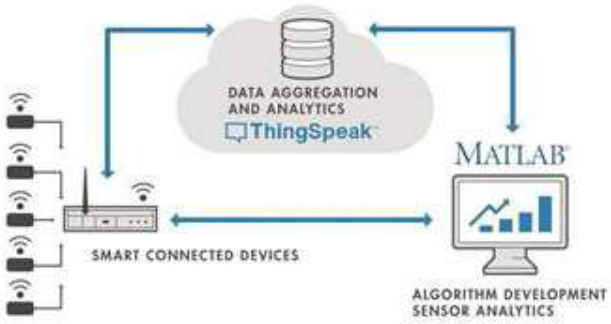


Figura 8
Página web ThingSpeak (ThingSpeak, s.f.)



Características Principales

Recopilación de datos en tiempo real: ThingSpeak permite a los usuarios enviar datos de sensores a la plataforma de manera inmediata, facilitando así el monitoreo constante de variables ambientales, condiciones de equipos y otros aspectos.

Visualización de datos: Los datos recopilados se pueden visualizar en gráficos interactivos, facilitando a los usuarios analizar tendencias, patrones y anomalías en los datos.

Análisis de datos: ThingSpeak ofrece herramientas básicas de análisis de herramientas de datos que permiten a los usuarios calcular estadísticas, tendencias y realizar operaciones matemáticas en los datos recopilados.
Integración con MATLAB: Los usuarios pueden aplicar algoritmos de MATLAB personalizados para realizar análisis avanzados en los datos recopilados en ThingSpeak. Esto proporciona una flexibilidad adicional para analizar datos complejos.

Alertas y notificaciones: ThingSpeak permite a los usuarios configurar umbrales y condiciones para recibir alertas y notificaciones mediante correo electrónico o mensajes de texto cuando se detectan eventos específicos en los datos.

API abierto: ThingSpeak ofrece una API abierta que permite a los desarrolladores integrar fácilmente la plataforma con otros servicios y aplicaciones.

Formato de Datos: Los datos se envían en formato URL-encoded a través de solicitudes HTTP o HTTPS.

Figura 9
Plataforma ThingSpeak (Programar Fácil, s.f.)

Plataforma descargable de ThingSpeak

ThingSpeak es típicamente una plataforma alojada en la nube, pero MathWorks ofrece la capacidad de ejecutar ThingSpeak localmente para cumplir con requisitos específicos de seguridad, privacidad, o personalización. Esta versión descargable se integra con MATLAB y Simulink, proporcionando un entorno robusto para el análisis avanzado de datos de IoT.

Requisitos del Sistema

Hardware:

- Con un procesador Multinúcleo de 64 bits.
- Una memoria con al menos 8 GB de RAM (16 GB recomendados).
- Con un disco SSD de 256 GB o más para gestionar grandes cantidades de datos.

Software:

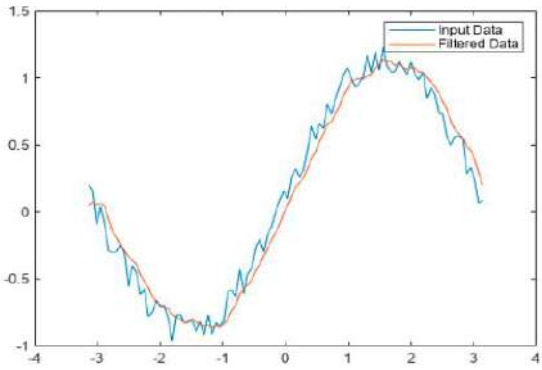
- Con un sistema operativo de Windows Server 2016/2019, Ubuntu 18.04 o superior, o Red Hat Enterprise Linux 7/8.
- Para MATLAB requiere una instalación de MATLAB (R2019b o superior) para integración y análisis avanzado.

En resumen, ThingSpeak proporciona una solución integral y adaptable para la gestión de datos de IoT, adecuada para entornos que requieren un control total sobre la infraestructura y la seguridad. La integración con MATLAB permite un análisis avanzado de datos, y su versatilidad en configuración y operación la convierte en ideal para diversas aplicaciones.

G. Filtro Digital Media Móvil

El filtro de media móvil es un método de procesamiento de señales ampliamente utilizada para suavizar una serie temporal o una secuencia de datos. Este filtro es simple de implementar y es útil para eliminar el ruido de las señales mientras preserva las tendencias y patrones importantes. El filtro de media móvil calcula el promedio de un número fijo de puntos de datos adyacentes en una señal. Este promedio se desplaza a través de la señal, punto por punto, produciendo una nueva serie de valores suavizados. La figura 10 muestra el funcionamiento de este filtro.

Figura 10
Filtro Digital Media Móvil en funcionamiento (MathWorks, s.f.)



Para una serie temporal x[n], la salida filtrada y[n] se define como:

$$y[n] = \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} x\,[n-k] \qquad (1)$$

donde M representa el número de puntos de datos que se utilizan para calcular el promedio (ventana de media móvil). (1) Ecuación general del filtro digital de media móvil.

Ventajas de Filtros digitales sobre Filtros analógicos

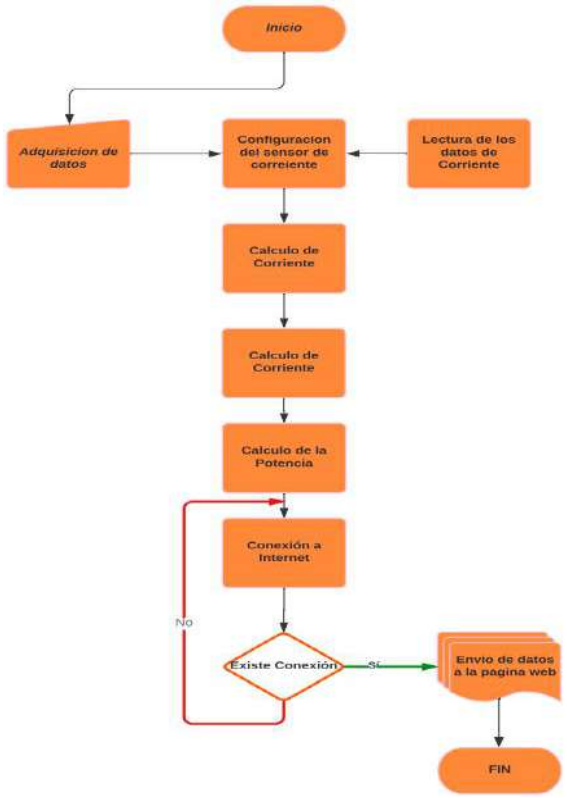
Los filtros digitales son preferidos sobre los filtros analógicos debido a su importancia en el procesamiento digital de señales en aplicaciones como procesamiento de voz, transmisión de datos, audio digital y señales biométricas, entre otras, la cual estas razones incluyen:

- Los filtros digitales pueden ofrecer características que los filtros analógicos no pueden, como una respuesta de fase lineal precisa.
- El rendimiento de los filtros digitales se mantiene constante sin importar las condiciones ambientales, como temperatura y humedad, a diferencia de los filtros analógicos que pueden verse afectados y requieren calibración regular.
- Cuando se implementa un filtro digital con un procesador programable, la respuesta en frecuencia del filtro se puede ajustar libremente.

2.3 Algoritmo de programación y código

La figura 11 detalla las etapas del algoritmo para el código de programación desarrollado para este proyecto.

Figura 11
Diagrama de flujo de algoritmo de programación (propio)



A. Bibliotecas Utilizadas

Las siguientes bibliotecas se emplearon para el desarrollo del código.

```
#include <WiFi.h>
#include <ThingSpeak.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_ADS1X15.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#define ADS1115_ADDRESS 0x48
#define ADS1115_CONVERSIONDELAY (16)
```

- WiFi.h: Permite la conexión a redes WiFi.
- ThingSpeak.h: Permite la interacción con la plataforma ThingSpeak.
- Wire.h: Facilita la comunicación I2C.
- Adafruit_ADS1X15.h: Maneja la comunicación con el convertidor ADC ADS1115.
- LiquidCrystal_I2C.h: Para futuras implementaciones con pantallas LCD I2C.

B. Credenciales de Red y Plataforma

```
const char *ssid = "Jesus";
const char *password = "123456789";
unsigned long channelID = 2479492;
const char *WriteAPIKey = "0B2HPE85QKJ4XP1Z";
```

- Const char *ssid: Usuario de acceso a la red WiFi.
- Const char *password Clave de acceso de la red WiFi.
- Unsigned long channelID: ID del canal de ThingSpeak.
- Const char *WriteAPIKey: API Key para escribir datos en ThingSpeak.

D. Configuración de WiFi y ThingSpeak

Para la configuración del Wifi y del ThingSpeak se empleó las siguientes líneas de código.

```
WiFiClient cliente;
WiFiServer server(80);

void setup()
{
 Serial.begin(115200);
 delay(1000);

  ads.setGain(GAIN_TWO);
  ads.begin();

  Serial.println("Sensores Instalados y listos");
  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED)
  {
    delay(500);
    Serial.println("Conectando a WiFi...");
  }
  Serial.println("Conectado al WiFi");
  ThingSpeak.begin(cliente);
  delay(5000);
}
```

E. Función de Medición

Esta función realiza la lectura del sensor, calcula la corriente RMS utilizando un filtro de media móvil y envía los datos a ThingSpeak., el código siguiente muestra está función.

```
void medicion()
{
  long tiempo = millis();
  long rawAdc = ads.readADC_Differential_0_1();
  long minRaw = rawAdc;
  long maxRaw = rawAdc;
  int N=0;
 while(N<30)
  {
    rawAdc = ads.readADC_Differential_0_1();
    maxRaw = maxRaw > rawAdc ? maxRaw : rawAdc;
    minRaw = minRaw < rawAdc ? minRaw : rawAdc;
    N=N+1;
  }

  maxRaw = maxRaw > -minRaw ? maxRaw : -minRaw;

  float voltagePeak = maxRaw * multiplier / 10000;
  float voltageRMS = voltagePeak * 0.70710678118;
  float currentRMS = voltageRMS * FACTOR;

  // Filtro de media móvil
  datos[indice] = currentRMS;
  indice = (indice + 1) % ventana;

  // Calcula la suma de los últimos datos en la ventana
  float sumaVentana = 0;
  for (int i = 0; i < ventana; i++) {
    sumaVentana += datos[i];
```

```
    }

    // Calcula la media móvil
    currentRMS = sumaVentana / ventana;
    float power = 120.0 * currentRMS;
    float energy = power * 15.0 / 36000.0;
    accumulatedEnergy += energy;

    ThingSpeak.setField(1, currentRMS);
    ThingSpeak.setField(2, power);
    ThingSpeak.setField(3, accumulatedEnergy);
}
```

F. Bucle Principal

El código siguiente es para el bucle principal que llama a la función de medición y envía los datos a ThingSpeak.

```
void loop()
{
  delay(5000);
  medicion();
  ThingSpeak.writeFields(channelID, WriteAPIKey);
  Serial.println("Datos enviados a ThingSpeak!");
  delay(10000);
}
```

G. Filtro Digital Media Móvil.

Esta sería la parte de las líneas de código utilizadas para el filtro digital de Media Móvil.

```
const int ventana = 15;
float datos[ventana];
int indice = 0;

// Filtro de media móvil
  datos[indice] = currentRMS;
  indice = (indice + 1) % ventana;

  // Calcula la suma de los últimos datos en la ventana
  float sumaVentana = 0;
  for (int i = 0; i < ventana; i++) {
    sumaVentana += datos[i];
  }

  // Calcula la media móvil
  currentRMS = sumaVentana / ventana;
  float power = 120.0 * currentRMS;
  float energy = power * 15.0 / 36000.0;
  accumulatedEnergy += energy;
```

El código configura un sistema para monitorear la corriente usando un ADS1115 y un filtro de media móvil para suavizar los datos, antes de enviarlos a ThingSpeak para su almacenamiento y análisis. El sistema se conecta a una red WiFi y utiliza un cliente WiFi para enviar datos a la plataforma IoT ThingSpeak.

II. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos permiten observaciones que se consideran relevantes:

- Consistencia y Precisión: Las mediciones son consistentes, con incrementos regulares en los valores de corriente y potencia, lo que demuestra la precisión del sistema implementado.
- Patrones de Consumo: Los resultados reflejan patrones de consumo energético típicos en hogares, como el incremento gradual en el uso de energía a lo largo del día.
- Identificación de Ineficiencias: Al analizar los datos en ThingSpeak, se pueden identificar períodos de alto consumo que podrían ser optimizados para reducir el desperdicio energético. Por ejemplo, si se observa un alto consumo durante la noche, podría indicar que ciertos dispositivos están consumiendo energía innecesariamente.
- Comparación con Otros Estudios: Comparando estos resultados con estudios previos (Priyadharshini et al., 2019; Macheso & Thotho, 2022), se confirma que el uso de IoT para el monitoreo energético proporciona datos valiosos para la toma de decisiones informadas y la implementación de medidas correctivas.
- Eficiencia del Sistema: La combinación del microcontrolador ESP32 con ThingSpeak ha demostrado ser una solución efectiva y económica para el monitoreo energético, permitiendo tanto la visualización local como remota de los datos.

La tabla 3 y las figuras 12-17 muestran los resultados generados y el hardware desarrollado en este trabajo.

Tabla 3
Resultados de Medición.

Corriente (A)	Potencia (W)	Energía (KWh)
0.29	34.79	0.01
0.32	39.76	0.01
0.33	39.38	0.66
0.33	39.57	0.81
0.33	39.88	1.11
0.34	40.25	1.49
0.34	40.92	1.80
0.34	40.88	2.40
0.33	40.19	3.21

Figura 12.
Prueba Final #1 medición y comunicación.

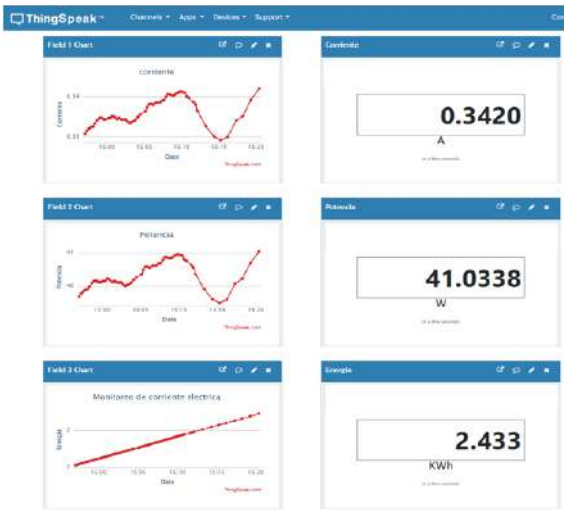


Figura 13
Datos de medición en monitor serial.

```
----------------------------------------
Datos enviados a ThingSpeak!
Corriente registrada: 0.33A
Potencia registrada: 40.08W
Energía acumulada: 0.97 KWH
----------------------------------------
Datos enviados a ThingSpeak!
Corriente registrada: 0.33A
Potencia registrada: 40.00W
Energía acumulada: 0.99 KWH
----------------------------------------
Datos enviados a ThingSpeak!
Corriente registrada: 0.33A
Potencia registrada: 39.95W
Energía acumulada: 1.01 KWH
----------------------------------------
```

Figura 15
Prueba Final #2 medición y comunicación.

***Figura* 16**
Prueba Final #3 medición y comunicación.

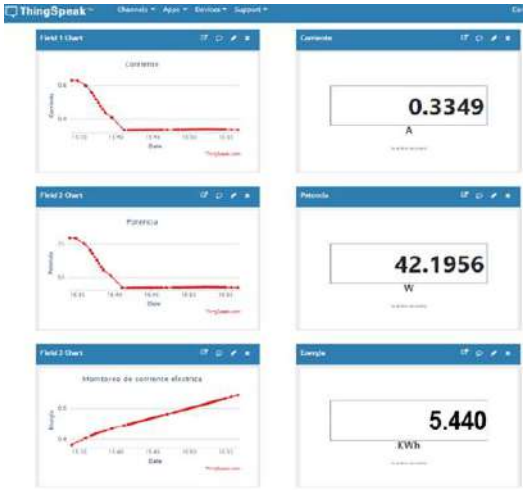


***Figura* 17**
Acabado de circuito integrado en baquelita.

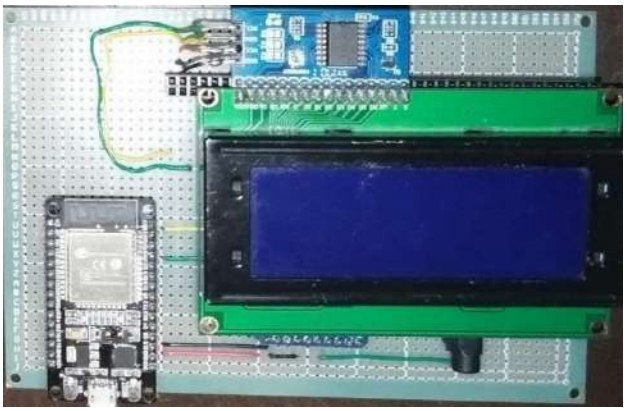


***Figura* 18**
Circuito finalizado Funcionando

IV. CONCLUSIONES

Este trabajo presenta de manera clara el diseño e implementación de un sistema IoT para la supervisión en tiempo real del consumo energético en hogares. Utilizando un microcontrolador ESP32 y sensores de corriente, el sistema captura datos precisos sobre el uso de energía, que son transmitidos y visualizados a través de la plataforma ThingSpeak, basada en Matlab. Los resultados demuestran que el sistema permite a los usuarios monitorear en tiempo real su consumo de energía, identificando patrones de consumo ineficientes y por lo tanto la toma de decisiones informadas para optimizar el consumo energético. Esto no solo promueve un uso eficiente de la energía y la reducción de gastos, sino que también apoya la sostenibilidad ambiental. La combinación de hardware y software implementados ha demostrado ser efectiva, destacando el potencial transformador de la tecnología IoT en la gestión energética residencial.

Los resultados obtenidos del sistema de monitoreo energético implementado muestran varias ventajas significativas. En primer lugar, la precisión y el tiempo real en la captura de datos permiten una supervisión detallada del consumo energético, lo que es crucial para identificar patrones de uso ineficientes. Este nivel de

detalle posibilita a los usuarios ajustar su comportamiento energético, lo cual puede llevar a una reducción significativa en los costos de electricidad y una mayor eficiencia en el uso de recursos energéticos.

La integración con ThingSpeak y Matlab facilita no solo la visualización de datos en tiempo real, sino también la aplicación de técnicas avanzadas de análisis de datos. Esto permite a los usuarios no solo ver sus datos históricos y actuales, sino también la posibilidad de aplicar modelos predictivos para anticipar futuros consumos y ajustar sus estrategias de uso de energía.
Se destaca la facilidad de implementación y escalabilidad del sistema. La elección del ESP32, conocido por su bajo costo y alta eficiencia, junto con la robustez de ThingSpeak, hacen que este sistema sea accesible tanto para pequeños proyectos residenciales como para aplicaciones a mayor escala.
Se identificaron algunos desafíos; una conexión estable a internet para la transmisión de datos lo cual puede ser una limitación en áreas con conectividad deficiente.
El sistema IoT para el monitoreo energético implementado no solo demuestra efectividad y precisión, sino que también subraya el potencial de la tecnología IoT en la promoción de la eficiencia energética y la sostenibilidad ambiental.

V. AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Tecnológico Nacional de México, Campus Lerdo, así como al Departamento de Investigación y Desarrollo Tecnológico, por su apoyo y proporcionar los recursos, infraestructura y herramientas necesarias para llevar a cabo este trabajo. Al igual que el Tecnológico Nacional de México, Campus Laguna.

VI. REFERENCIAS

Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 17(4), 2347-2376.

DataSheetHub. (s.f.). DataSheetHub. Recuperado de https://www.datasheethub.com

ElectronicaThido. (s.f.). Detalles del producto. Recuperado de https://electronicathido.com/detallesProducto.php?id=VEhMVmxLTFIxSnFDQU5JNzAyNTZBZz09

García, M., & López, R. (2020). Real-time energy consumption monitoring using ESP32 and ThingSpeak. International Journal of IoT Applications, 7(2), 45-58. https://doi.org/10.1109/IJOTA.2020.2045678

Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. Future Generation Computer Systems, 29(7), 1645-1660.

Gyrard, A., Serrano, M., & Atemezing, G. A. (2015). Semantic web methodologies, best practices and ontology engineering applied to Internet of Things. In 2015 IEEE 2nd World Forum on Internet of Things (WF-IoT) (pp. 412-417). IEEE. https://doi.org/10.1109/WF-IoT.2015.7389096

Instructables. (s.f.). Medidor de corriente no invasivo IoT - Sensor SCT-01. Recuperado de https://www.instructables.com/Medidor-De-Corriente-No-Invasivo-IoT-Sensor-SCT-01

Kim, S., & Park, J. (2019). Energy efficiency in smart homes: A comprehensive review on IoT-based approaches. Energy Efficiency Journal, 12(4), 847-862. https://doi.org/10.1007/s12053-019-09786-4

Kumar, N., & Singh, P. (2018). Microcontroller-based energy monitoring systems for residential applications. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 64(2), 202-210. https://doi.org/10.1109/TCE.2018.2858943

Macheso, P. S., & Thotho, D. (2022). ESP32 Based Electric Energy Consumption Meter. International Journal of Computer Communication and Informatics, 4(1), 23-35. https://doi.org/10.34256/ijcci2213

MathWorks. (2024). ThingSpeak™ IoT analytics platform. Recuperado de https://thingspeak.com

MathWorks. (s.f.). Take derivatives of a signal. Recuperado de https://la.mathworks.com/help/signal/ug/take-derivatives-of-a signal.html

M. Talavera. (2020). Electrónica Estudio. MCU Estudio. [Online]. Disponible en: www.estudioelectronica.com/que-es-un-microcontrolador/. [Accessed 26 Agosto 2020].

Priyadharshini, S. G., Subramani, C., & Roselyn, J. P. (2019). An IOT based smart metering development for energy management system. International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), 9(4), 3041-3050.

Programar Fácil. (s.f.). Cómo utilizar ThingSpeak con ESP8266. Recuperado de https://programarfacil.com/esp8266/thingspeak/

Random Nerd Tutorials. (s.f.). ESP32 ThingSpeak - Publicar datos usando Arduino IDE. Recuperado de https://randomnerdtutorials.com/esp32-thingspeak-publish-arduino/

RedesZone. (s.f.). Cómo conectar dos routers para ampliar la red WiFi. Recuperado de https://www.redeszone.net/tutoriales/redes-cable/conectar-dos-routers-ampliar-wifi-red/

ThingSpeak. (s.f.). Inicio de sesión. Recuperado de https://thingspeak.com/login?skipSSOCheck=true

VII. AUTORES

Luis Amado González Vargas
https://orcid.org/0009-0008-9094-6188

Jesús Emmanuel Román Reyes
https://orcid.org/0009-0003-5758-9645

Noé Alvarado Tovar
https://orcid.org/0000-0002-0218-0813

Víctor Edi Manqueros Avilés
https://orcid.org/0009-0003-9717-1542

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

Diseño y Manufactura de un Dispositivo para el Monitoreo de Condiciones Ambientales Urbanas

Castro-Zenil, M. S.[1] ✉; Alvarado-López, A.[2] ; Peñaloza-Mendoza, G. R.[1].

Datos de Adscripción:
[1] Tecnológico Nacional de México / TecNM Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro, Academia de Ingeniería Biomédica; Avenida Tecnológico No.1, C.P. 61615, Zurumutaro, Pátzcuaro Michoacán, México.
[2] Tecnológico Nacional de México / TecNM Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro, Academia de Ingeniería en Desarrollo Comunitario; Avenida Tecnológico No.1, C.P. 61615, Zurumutaro, Pátzcuaro Michoacán, México.
✉ mcastro@itspa.edu.mx

Resumen **- Las condiciones ambientales en las ciudades han decaído considerablemente, el crecimiento de la mancha urbana, la mala planificación y la tala inmoderada nos están llevando a situaciones muy complejas, la falta de agua y la mala calidad del aire que se respira son factores que están impactando en la población. En este trabajo se plantea una medición de la calidad del aire en ciudades, como caso de estudio Morelia, Michoacán. En el país en muchas ciudades por cuestiones políticas, no se tienen esquemas de medición de índices de contaminación, ni una obligatoriedad de la verificación vehicular. Este proyecto deriva de la necesidad de llevar una estadística que abone para una toma de acciones ambientales. Para esto se construyó un dispositivo que mide la contaminación del aire a través de sensores que miden parámetros PM2.5, PM10, NOx, SOx, O3, Temperatura ambiente y humedad relativa con la finalidad de tener datos reales y actualizados, este dispositivo contará con una tarjeta ESP32 y enviará los datos recabados a la nube, el dispositivo estará conectado a la red del dispositivo celular del usuario y la caja de sensores anclados al vehículo en el brazo del limpiabrisas. El prototipo es funcional, y esta siendo probado, los datos se han enviado a un servidor MQTT, en este caso es ThingSpeak, del cual los datos pueden ser descargados a través de archivos csv o a través de MatLab. Los datos recabados se parametrizan de acuerdo a la norma la NADF-009-AIRE-2006, debido a que no se cuenta con una regulación estatal, ni existe una NOM, por lo tanto, se hace referencia a la norma empleada en la CDMX.**

Palabras Clave **– Aire, Calidad, ESP32, IoT, Monitoreo, Sensores.**

Abstract - The environmental conditions in cities have declined considerably due to urban sprawl, poor planning and excessive logging, leading to complex issues such as water scarcity and poor air quality. This work proposes a measurement system for a quality in cities, using Morelia, Michoacán, as a case study. In Mexico, many cities lack pollution index measurement schemes and mandatory vehicle inspections due to political issues. This project addresses the need to gather statistics that can inform environmental actions. To achieve this, a device was developed to measure air pollution using sensors that monitor parameters such as PM2.5, PM10, NOx, SOx, O3, ambient temperature and relative humidity, providing real-time and updated data. The device incorporates an ESP32 microcontroller to send collected data to the cloud. It connects to the user's cellular network, with the sensor box mounted on the vehicle's windshield wiper arm. The prototype is functional and currently undergoing testing. Data has been transmitted to an MQTT server, specifically ThingSpeak, from which it can be downloaded as CSV files or accessed through MATLAB. The collected data are parameterized according to the NADF-009-AIRE-2006 standard, as there is no state regulation or official Mexican standards NOM available, therefore we reference the standard used in the CDMX.

Keywords **- Air, Quality, ESP32, IoT, Monitoring, Sensors.**

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente las condiciones ambientales de nuestro planeta están en franca crisis, la huella urbana está deteriorando de forma acelerada y alarmante a nuestros ecosistemas. La huella de carbono del ser humano en el planeta cada vez es más grande y su recuperación natural es una tarea cada vez más compleja. Si bien la naturaleza trata de reponerse de nuestro impacto en ella, esta tarea se la estamos complicando cada día más.

El cambio climático es una de las evidencias más tangibles del daño que estamos provocando y la falta de empeño en realizar acciones que aporten a mitigar este cambio en las condiciones de nuestro entorno es algo que debería de ser nuestra mayor preocupación.

En cuanto a la contaminación del aire, en diversas ciudades se están tomando medidas, como sanciones a industrias que no optimizan sus chimeneas, verificaciones vehiculares, control de la cantidad de automóviles que deben de circular en los días de mayor concentración de contaminantes.

Un ejemplo en nuestro país es la CDMX, en la cual se toman medidas derivadas de los altos índices de contaminación. En el año de 1982, se creó un indicador para informar a la población del estado de la calidad del aire y los efectos que esta provoca en su salud, dicho índice fue denominado IMECA (índice Metropolitano de la Calidad del Aire).

El índice IMECA toma su fundamento en el Pollutand Estándar Index (PSI) de los Estados Unidos, y se toma como límite superior los 100 puntos, superando este nivel se deben activar los protocolos. Este índice tiene como regulación la NADF-009-AIRE-2006 (Norma Ambiental del Distrito Federal), la cual contempla 5 contaminantes: dióxido de azufre, monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, ozono y partículas suspendidas.

En el resto de la república, en pocas ciudades se tiene una obligatoriedad con la verificación vehicular, y se torna más como una situación de gobierno, tanto de presión como de acuerdos para evitar este proceso, sobre todo en el parque vehicular del transporte público.

Por esto la necesidad de generar bancos de información sobre las condiciones del aire en las ciudades. Particularmente la ciudad de Morelia en Michoacán, es un ejemplo de contaminación del aire, al acercarte a ella desde la carretera hacia la ciudad de Pátzcuaro, se nota una nube de contaminantes, lo que provoca entre otras cosas, las altas temperaturas que hoy en día se presentan en la ciudad.

Este cúmulo de información puede ser recabada a través de sensores, esto genera la posibilidad de tomar decisiones fundamentadas, que permitan al gobierno implementar políticas para la disminución de contaminantes al medio ambiente, tal como se realiza en la capital del país. Este es un reto de gobierno, pues el tomar medidas como el control del número de vehículos que puedan circular al día, o la verificación vehicular obligatoria, generará divergencia de los diversos actores sociales, tanto a favor como en contra, pero la información de las condiciones reales no solo ayudará a la reducción de contaminantes en el aire, sino apoyará a mejorar la calidad de vida de los habitantes de las grandes urbes.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

En el trabajo realizado por Duran (2021), se hace referencia a la medición de la calidad del aire en ciudades como Medellín y Bogotá, para esto hacen uso del sensor Temtop M2000C, y correlacionan los resultados de esta medición con los arrojados por estaciones de calidad del aire ubicadas en la ciudad. Según lo reportado este sensor además de reportar datos de temperatura y humedad, mide dos distribuciones de tamaño aerodinámico, las menores a 2.5 micrómetros que conoceremos como PM 2.5 y las menores a 10 micrómetros o PM10.

En su experimentación Duran (2021) indica que su sensor fue ubicado a las cercanías de la estación de calidad del aire, reportando valores directamente proporcionales entre ambos dispositivos, con los datos mostrados en su estudio, se dota de valides al uso de estos dispositivos de bajo costo contra las estaciones de calidad del aire proporcionadas por empresas y con altos costos.

Por su parte Hoffman(2020), hace referencia del trabajo con sensores basándose en IoT, y la rectificación de datos a través de aprendizaje automático, él en su estudio utiliza el manejo de los datos en la nube para inferir las mediciones puntuales espacio temporales, este trabajo busca mejoras en la calidad de los datos del algoritmo de calibración en la nube, en la búsqueda de la construcción de mapas de calidad del aire altamente granulares que permitan tener una mejor evaluación de la calidad del aire.

En el artículo que publicó Salas (2023), hace referencia del trabajo de evaluación de la calidad del aire, para esto evaluó a 5 ciudades del estado de Guanajuato, México. En esta entidad federativa se instauró el programa PROAIRE, que esta operado por la URCA (Unidad Responsable de la Calidad del Aire). Este estudio es interesante dado que marca una intencionalidad de parte del gobierno y de la academia sobre la importancia de medir las diversas aristas del problema y que los datos pueden transformase en información que apoye a tomar decisiones.

En el trabajo de Lancheros(2017), propone debido a los altos costos de los dispositivos de medición de la calidad del aire, la creación de un arreglo de sensores, aunque no declara que clase de sensor utiliza, si argumenta las variables a medir: humedad, temperatura, partículas suspendidas, monóxido de carbono.

Al análisis del código que Lancheros(2017) comparte en su artículo se deduce que utiliza un sensor DHT11 para la medición de la temperatura y la humedad, y un sensor mq3 para la medición de los otros dos parámetros.

A través de una conexión bluetooth, recaba los datos de su dispositivo en una aplicación móvil de código abierto llamada AirCasting.

III. METODOLOGÍA

Para el desarrollo de este trabajo se hizo uso de una metodología ágil, en este caso SCRUM, este marco de trabajo es utilizado mayormente para el desarrollo de software, pero debido a sus características de flexibilidad y adaptabilidad, es aplicable a otros contextos, como en este caso donde se requiere el desarrollo a la par de software y hardware.

Como este proceso requiere productos de calidad en iteraciones cortas el concepto que maneja SCRUM denominado sprints, se adapta de manera ideal al proceso que se plantea.

De acuerdo a esta metodología como primer paso realizamos la identificación de requisitos, los cuales los categorizamos en tres apartados: identificación de necesidades donde se platea la medición de los parámetros PM2.5, PM10, NOx, SOx, O3, Temperatura ambiente y humedad relativa.

Como segundo punto definimos las especificaciones técnicas, para determinar la clase de sensores a utilizar de acuerdo a la precisión requerida, el rango de medición y las condiciones operativas como la latencia, la forma de comunicación (I2C, SPI, etc.), el consumo de batería, etc.

Como tercer factor analizamos los requisitos de software que permitan codificar de acuerdo a las necesidades como la recolección de datos, la visualización en tiempo real, el almacenamiento y el análisis de datos históricos.

Los siguientes pasos de la metodología SCRUM nos llevan a la investigación y selección de componentes, al diseño del sistema subdividido en: diseño electrónico, donde se crea el diagrama de circuito, el diseño del software para el control del dispositivo y el prototipo de hardware, donde se realiza la conexión y se diseña la carcasa para el dispositivo.

Como última etapa realizamos la iteración y mejora, donde se trabaja la revisión de resultados que nos lleven a generar mejoras necesarias en el diseño de hardware y software.

IV. DESARROLLO

Una vez analizado el problema y documentado sobre las diversas opciones, considerando la pertinencia, la economía y la factibilidad de uso, optamos por los componentes que a continuación listamos.

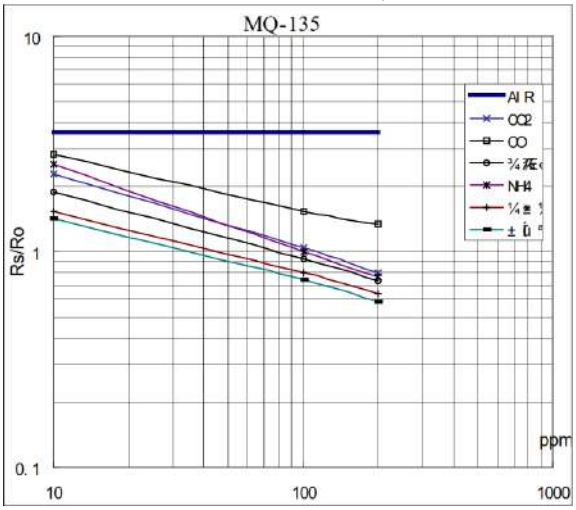
MQ-135, el cual es un detector de calidad del aire, este componente es un sensor electroquímico, el cual como principio de funcionamiento presenta una variación en su resistencia al entrar en contacto con gases como el amoniaco, alcohol, benceno, humo y dióxido de carbono en el aire.

El MQ-135 está conformado por un circuito electrónico que funge como interfaz para la conexión con una tarjeta de desarrollo a través de un pin digital o de un pin analógico. En el caso de acceder a través del pin digital solo estaremos leyendo una bandera para determinar la presencia o ausencia de gas.

En nuestro caso hacemos uso de la lectura analógica del sensor, este se encuentra encerrado entre dos mallas de acero inoxidable, lo cual según el fabricante nos indica es para la prevención de explosión del elemento calentador interno por presencia de gases inflamables en el ambiente además de que filtrará las partículas suspendidas para que solo los gases entren a dicha cámara. Su principio de funcionamiento es una bobina de níquel-cromo para formar el sistema de calefacción y dióxido de estaño como revestimiento, el cual funge como sistema de detección. La figura 1, nos muestra las características de sensibilidad de los gases detectados por el MQ-135

Cuando se calienta el dióxido de estaño, este absorbe el oxígeno en su superficie y atrae electrones del dióxido de estaño generando resistencia al flujo de corriente a través del mismo, a la presencia de gases, la densidad de oxígeno absorbido disminuye permitiendo un mayor flujo de corriente.
Debido a esta delta de flujo de corriente el voltaje de la salida analógica del circuito variará por la concentración de gas, a mayor concentración mayor voltaje de salida. El módulo incorpora un comparador de alta precisión para poder medir la señal y un potenciómetro para calibrar el nivel de concentración umbral para el caso en que se utilice el pin digital para determinar el paso de estado bajo a alto.
Ya que este sensor es sensible a más de un gas debemos de obtener los valores en unidades correspondientes a la concentración del gas medido, gracias a la hoja de datos podemos hacer un escalado por software.

Figura 1
Características de Sensibilidad del Sensor MQ-135



Nota: Fuente Technical Data MQ-135 Gas Sensor tomada de https://uelectronics.com/wp-content/uploads/2018/01/SNS-MQ135.pdf

Al no tener una ecuación hay que encontrarla, esto se realiza a través de una estimación de la curva, el método que optamos es una regresión lineal. Para esto realizamos una ecuación lineal de la forma:

$$y = mx + b \tag{1}$$

La ecuación resultante para nuestro proceso es:

$$CO_2(ppm) = 0.04 \times lectura_{sensor} - 10 \tag{2}$$

El código para poder realizar la lectura es el siguiente

```
const int MQ135_PIN = A0;
int sensorValue = 0;
const float slope = 0.04; // Pendiente (m)
const float intercept = -10.0; // Ordenada al origen (b)

void setup() {
Serial.begin(9600);
pinMode(MQ135_PIN, INPUT);
}

void loop() {
sensorValue = analogRead(MQ135_PIN);
float co2_ppm = slope * sensorValue + intercept;
Serial.print("Valor del sensor: ");
Serial.print(sensorValue);
Serial.print(" - CO2: ");
Serial.print(co2_ppm);
Serial.println(" ppm");
delay(2000);
}
```

El siguiente sensor a utilizar es el GP2Y1010AU0F es un sensor óptico de calidad del aire, diseñado para detectar partículas de polvo. Utiliza un diodo emisor de luz (LED) y un fototransistor para detectar la cantidad de luz dispersada por las partículas de polvo que pasan a través del sensor.
El sensor tiene un LED infrarrojo que emite luz hacia una cámara de detección, las partículas de polvo en el aire entran en la cámara de detección y dispersan la luz emitida por el LED, después un fototransistor colocado en un ángulo con respecto al LED detecta la luz dispersada por las partículas de polvo.
La cantidad de luz dispersada que alcanza el fototransistor es proporcional a la concentración de polvo en el aire. El sensor proporciona una señal de salida analógica que varía según la cantidad de luz dispersada detectada, es decir, según la concentración de polvo.
Para poder determinar la calidad del aire que detecta este sensor se implementó el siguiente código:

```
// Define los pines utilizados
const int sensorPin = A1;
const int ledPin = 2;

// Variables para almacenar los valores leídos del sensor
int sensorValue = 0;
float voltage = 0;
float dustDensity = 0;
```

Para el setup, agregamos la configuración de los pines digitales y conservamos la inicialización del puerto serial del código anterior

```
void setup() {
pinMode(sensorPin, INPUT);
pinMode(ledPin, OUTPUT);
digitalWrite(ledPin, LOW); // Apaga el LED del sensor
}
```

De igual manera, se agrega el trabajo de este sensor adicional al código de lectura para el MQ135.

```
1.  void loop() {
2.  // Enciende el LED del sensor
3.  digitalWrite(ledPin, HIGH);
4.  delayMicroseconds(280);//Espera 280 microsegs para
    estabilizar

5.  // Lee el valor del sensor
6.  sensorValue = analogRead(sensorPin);

7.  // Apaga el LED del sensor
8.  digitalWrite(ledPin, LOW);
9.  delayMicroseconds(40);//Espera 40 microseg después y
    apaga LED

10. // Convierte el valor leído a voltaje
11. voltage = sensorValue * (5.0 / 1023.0);

12. // Convierte el voltaje a densidad de polvo (mg/m³)
13. // Fórmula basada en el datasheet del sensor
14. dustDensity = 0.17 * voltage - 0.1;

15. if (dustDensity < 0) {
16. dustDensity = 0;
17. }

18. Serial.print("Valor del sensor: ");
19. Serial.print(sensorValue);
20. Serial.print(" - Voltaje: ");
21. Serial.print(voltage);
22. Serial.print(" V - Densidad de polvo: ");
23. Serial.print(dustDensity);
24. Serial.println(" mg/m³");

25. // Espera 1 segundo antes de la próxima lectura
26. delay(1000);
27. }
```

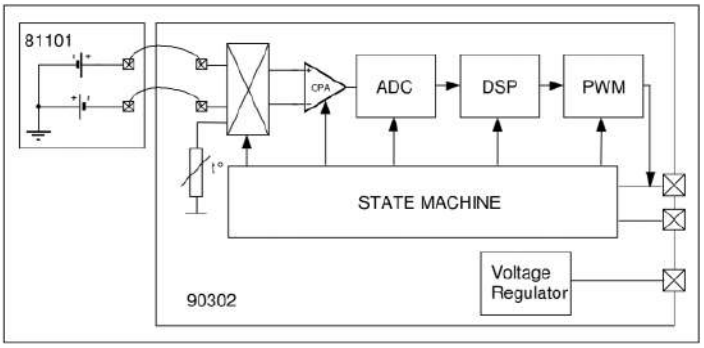
Figura 2
Sensor SHARP GP2Y1010AU0F

Nota: Imagen obtenida de https://m.media-amazon.com/images/I/51NIHSfv5FL._AC_UF894,1000_QL80_.jpg

Otro de los componentes utilizados es el sensor de temperatura infrarroja GY-906 MLX90614, el cual nos permite medir la temperatura a distancia en un rango de -70º C a 380º C con una precisión de 0.5ºC. Este sensor tiene dos opciones de medición, la temperatura ambiental y la de un objeto contundente, utiliza una comunicación por el protocolo I²C

El MLX90614 es la combinación de dos dispositivos, por lo cual nos facilita el trabajo en la lectura de la temperatura, un detector de temperatura de termopila de infrarrojos y un detector de aplicaciones de acondicionamiento de la señal.
Este sensor sigue la Ley de Stefan-Boltzmann, según la cual todo objeto que no esté por debajo del cero absoluto, emite radiación en el espectro infrarrojo, el cual es directamente proporcional a su temperatura, y la termopila infrarroja detecta cuanta energía infrarroja emiten los materiales en su campo de visión y produce una señal eléctrica proporcional a esta.
Después el voltaje que genera la termopila es captado por el ADC de 17 bits y acondicionado antes de pasar al microcontrolador que en nuestro caso será una placa esp32.

Figura 3
Diagrama de Bloque Interno MLX90614 muestra la termopila (MLX81101) y ASSP (MLX90302)



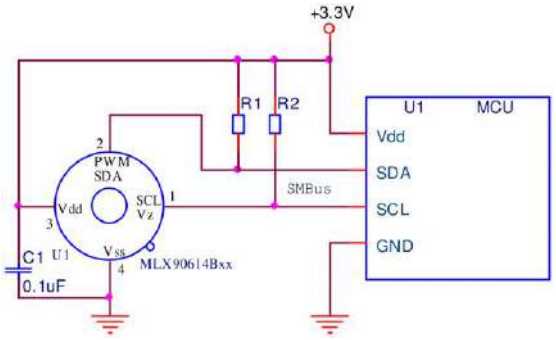
Nota: Imagen tomada de la Hoja de Datos del MXL90614 https://www.google.com/aclk?sa=l&ai=DChcSEwjX7fqZx7iGAxVNTEcBHcQNDOgYABAAGgJxdQ&ase=2&gclid=Cj0KCQjw6uWyBhD1ARIsAIMcADof-P7JHWLxFw4HLALIUh34OC5qgSlYmcLFLkT6Hwpxyup_TXedd5AaAih8EALw_wcB&sig=AOD64_1s4GNRcaGzbnrQa-QEfz_3wDTg4A&q&nis=4&adurl&ved=2ahUKEwik5PSZx7iGAxVaN2IAHRsYA7oQ0Qx6BAgIEAE

Como se mencionó este sensor tiene la capacidad de otorgar dos mediciones, la de un objeto y la del medio ambiente, esta última que es la que para nuestra aplicación interesa se toma en la matriz del sensor, la cual tiene una resolución de 0.02 ºC.

Otra de las características de este sensor es que se configura y lee a través de una interfaz SMBus de 2 cables, muy similar y casi funcionalmente equivalente a I²C. Las dos señales, SDA y SCL, transportan los datos y las señales de reloj respectivamente. Un dispositivo maestro controla el reloj, mientras que la señal de datos se controla bidireccionalmente.

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

Figura 4
Diagrama de comunicación del MLX90614



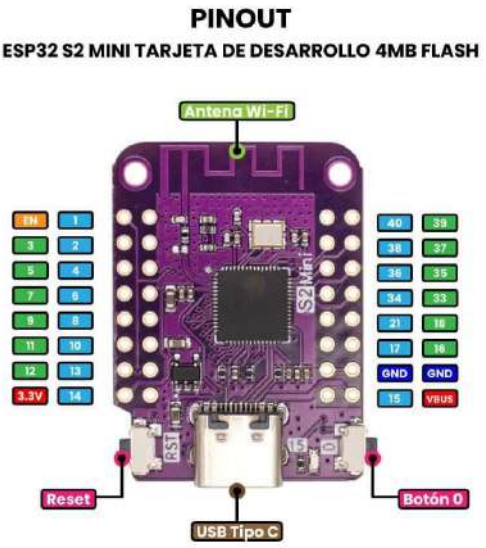
Nota: Imagen tomada de la Hoja de Datos del MXL90614 https://www.google.com/aclk?sa=l&ai=DChcSEwjX7fqZx7iGAxVNTEcBHcQNDOgYABAAGgJxdQ&ase=2&gclid=Cj0KCQjw6uWyBhD1ARIsAIMcADof-P7JHWLxFw4HLALIUh34OC5qgSlYmcLFLkT6Hwpxyup_TXedd5AaAih8EALw_wcB&sig=AOD64_1s4GNRcaGzbnrQa-QEfz_3wDTg4A&q&nis=4&adurl&ved=2ahUKEwik5PSZx7iGAxVaN2IAHRsYA7oQ0Qx6BAgIEAE

En cuanto al cerebro a utilizar en este dispositivo es una esp32 s2 mini, la cual es una mini tarjeta de desarrollo basada en el chip de Expressif ESP32-S2FN4R2, la cual está diseñada con una interfaz USB tipo C y soporte Wi-Fi. A pesar de su compacto tamaño ESP32 S2 Mini incluye 27 pines de entradas/salidas e interfaces ADC, DAC, I2C, SPI, UART, USB OTG. También es compatible con mini shields LOLIN D1 y se puede programar a través de Micropython, Arduino, CircuitPython y ESP-IDF.
Estas características la hacen idónea para nuestro desarrollo, sobre todo que su voltaje de operación a 3.3 Volts nos permite operarla con baterías pequeñas, lo cual es deseable para la manufactura de la carcasa donde se encontrará el dispositivo.

Otra de las características deseables de esta tarjeta es que cuenta con una antena WIFI lo que nos permitirá compartir en la nube los datos generados por el dispositivo, lo cual es uno de los objetivos de este proceso.
Todos estos componentes se integrarán para construir una solución que nos permita mantener un monitoreo de la calidad del aire, dicho dispositivo está pensado para que sea incorporado en los vehículos, la batería le dota de una autonomía de 8 a 12 horas de funcionamiento, en este tiempo se pretende que se estén enviando datos a una plataforma que se encargará de almacenarlos para su posterior procesamiento.

La configuración de esta tarjeta nos permitirá conectarnos a la Zona WiFi personal que pueden generar los celulares de los usuarios, teniendo con este enlace independencia de alguna aplicación instalada en el dispositivo celular, lo cual es una ventaja, también se trabaja en una aplicación que guarde los datos de manera local para después enviarlos cuando se tenga acceso a una red WIFI por parte del dispositivo móvil en la búsqueda de reducir el consumo de datos.

Figura 5
PinOUT de la tarjeta de desarrollo ESP32 S2 MINI



Nota: Imagen tomada de https://uelectronics.com/producto/esp32-s2-mini-tarjeta-de-desarrollo-4mb-flash/

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

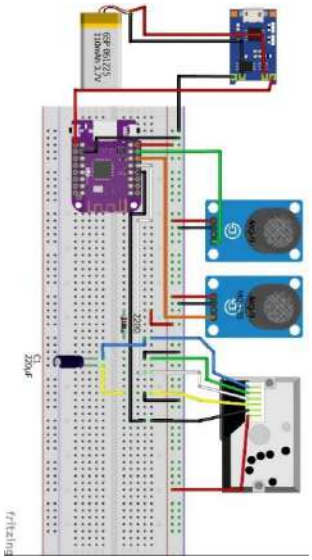
Para la integración del dispositivo, realizamos el diagrama esquemático del circuito, para tener una relación de como conectar los diversos componentes electrónicos para el posterior diseño del PCB. Para hacer este esquema utilizamos el software Fritzing, el cual nos permite tener un prototipado rápido para realizar las conexiones y las pruebas de funcionamiento antes de soldarlos en el PCB.

Se utilizó una batería diferente a la que se marca en la Figura 6, debido a que no se encontró en los repositorios del software el modelo con el que está operando el dispositivo, la imagen presenta una pila LiPo de 3.7 volts a 110mAh, que no nos daría la autonomía deseada, por lo tanto, estamos operando con el mismo tipo de batería, pero a 2500 mAh, este incremento sustancial nos permite llegar a oscilar entre 8 y 12 horas de autonomía que marca la bibliografía.

Las pruebas realizadas nos dan una media de 10.2 horas de funcionamiento continuo del dispositivo, para llegar a este valor se realizaron 20 ejercicios de carga completa y descarga con el dispositivo en funcionamiento, en dichas corridas se estuvieron tomando datos, en diversas posiciones geográficas por lo cual nos dio un parámetro de mediciones del dispositivo en entornos reales.

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

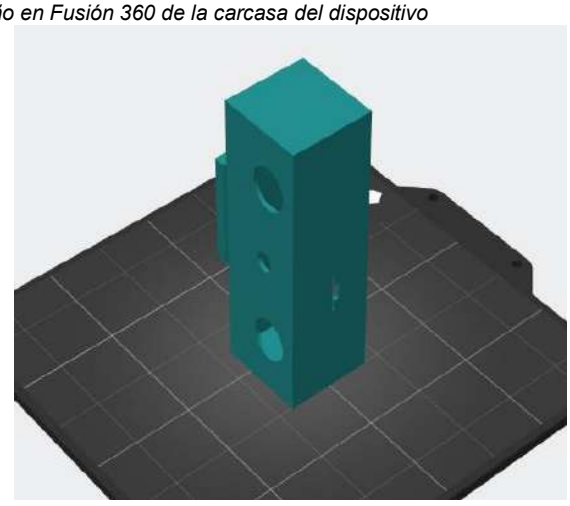
Figura 6
Diseño en Fritzing de los componentes electrónicos de la solución



Nota: Fuente elaboración propia

Una vez que se tienen los componentes que integrarán al sistema procedimos al diseño de la carcasa, la cual está pensada para que pueda ser instalada en el limpiabrisas de los automóviles, el brazo de estos por lo regular tiene medidas estándar, por lo que el diseño parte de este supuesto.
Para el diseño utilizamos el software Fusión 360, el cual cuenta con una licencia para profesores y estudiantes que permite hacer uso de todas sus características de forma gratuita, este es un producto de Autodesk y nos permite trabajar CAD, CAM y CAE.
Buscamos tener un diseño que permitiera que los sensores estuvieran ubicados de forma que trabajaran de la mejor manera, como puede verse en la Figura 7, se dejan espacios para la entrada de aire del sensor Sharp, y las dos rejillas de los sensores MQ-135 y MQ-9.

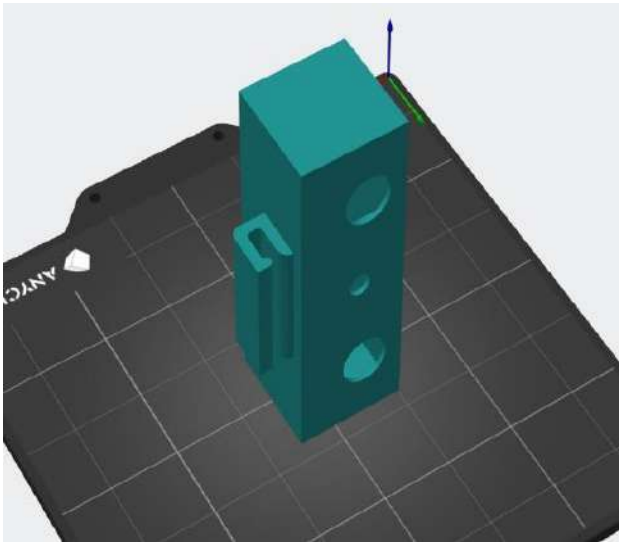
Figura 7
Diseño en Fusión 360 de la carcasa del dispositivo



Nota: Fuente elaboración propia

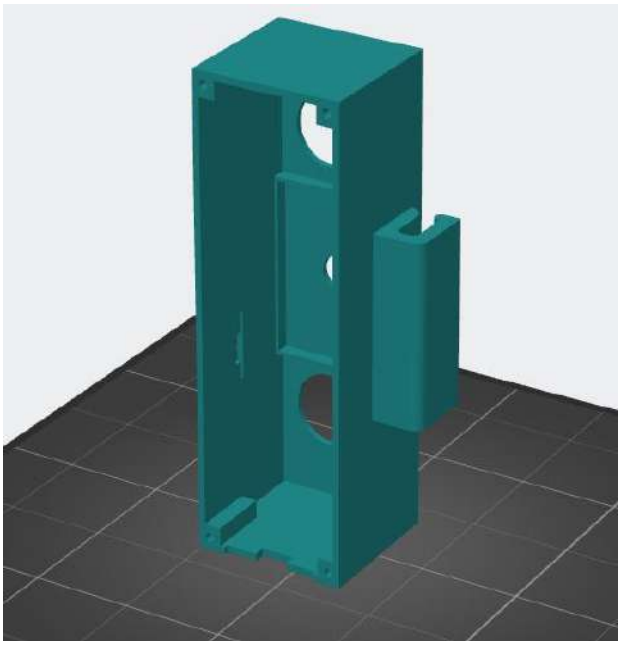
En las Figuras 8 y 9 podrá observarse desde diferentes ángulos el diseño de la carcasa y en la Figura 10, la tapa de la misma.

Figura 8
Vista Superior de la Carcasa



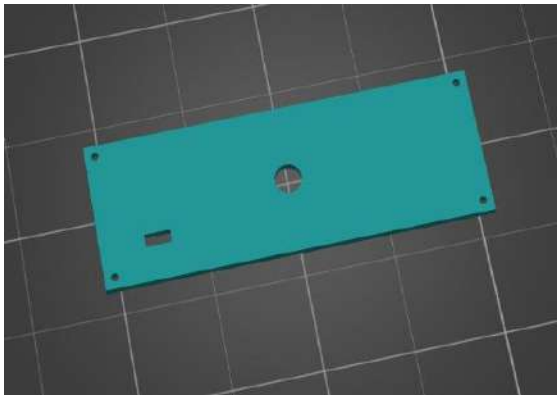
Nota: Elaboración Propia

Figura 9
Vista Interior de la Carcasa



Nota: Elaboración Propia

Figura 10
Diseño de la tapa de la carcasa



Nota: Elaboración propia

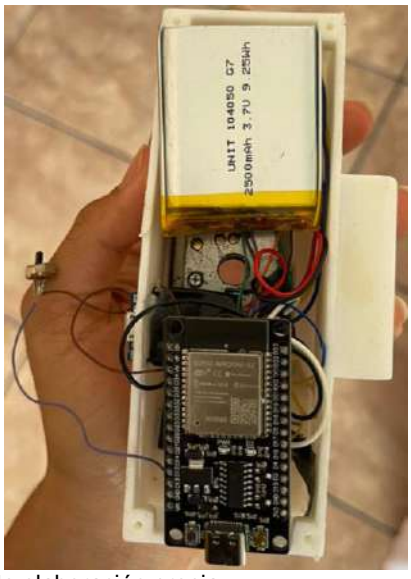
La impresión la realizamos con filamento PETG, que nos brinda mejores prestaciones mecánicas que el PLA, debido a la naturaleza de la aplicación del prototipo era necesario tener un material que soportara mayor esfuerzo y fuera más resistente a la intemperie, al agua y a los cambios de temperatura.
En la Figura 11, podemos observar cómo quedo impreso y armado el dispositivo, el cual soporto la colocación en un vehículo bajo el movimiento propio del trabajo del limpiabrisas.

Figura 11
Prototipo terminado

Nota: Fuente elaboración propia

El dispositivo tiene acceso a la tarjeta de desarrollo ESP32 S2 Mini, para poder realizar algún ajuste al código, cambiar algún parámetro o para poder tener lectura de los datos por monitor serial, lo cual nos fue de gran ayuda para poder estar comparando las lecturas de nuestro dispositivo con las mediciones de una estación meteorológica que está ubicada en la Institución.
Además, tiene otra entrada la cual es de tipo USB micro, para alimentar el modulo de carga de la batería, haciendo posible que esta pueda ser cargada con un cable y eliminador de celular con dicha entrada lo que facilitará el uso del dispositivo por cualquier usuario, además de un micro switch para el encendido y apagado del dispositivo, lo anterior podemos verlo en la Figura 12.

Figura 11
Interior del prototipo



Nota: Fuente elaboración propia

Los datos generados por el sensor son enviados a través de la conexión Wifi a una plataforma en la nube, ThingSpeak nos permite almacenar los datos enviados por nuestro dispositivo y nos da la posibilidad de graficar la información, exportarla como un archivo csv o de realizar visualización y análisis a través de MatLab.

Figura 13 *Interface de ThingSpeak para la visualización de datos del prototipo*

V. CONCLUSIONES

El poder recabar datos de la calidad del aire es una necesidad hoy en día, el gran incremento del parque vehicular, el cambio climático, los gases de efecto invernadero están afectado la calidad de vida de las personas y estamos dañando los ecosistemas hasta un punto de no retorno.
El uso de este dispositivo nos permitirá ir generando un banco de información que permita, en su posterior análisis, generar conocimiento que apoye a la toma de decisiones y al planteamiento de políticas públicas que incidan en mejorar la

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

calidad del aire, pues esto permitirá no solo contribuir con la mitigación del cambio climático sino tener una mejor calidad de vida al incidir en la disminución de enfermedades respiratorias.

El dispositivo está operando y sigue recabando información, como puede verse en las Figuras 14 y 15, se realizaron sellos de silicón para evitar que líquidos se filtren en la carcasa y se está trabajando en diseñar e imprimir tapones de TPU, para que se tenga una mejor presentación.

Como trabajo futuro se pretende incluir a través de una aplicación la ubicación GPS para poder correlacionar las rutas que siguen los vehículos que cuentan con el dispositivo y generar mapas de zonas con mayor contaminación y los horarios en los que esta se presenta.

El manejo de todos los datos recabados, pretendemos que sean analizados través de Deep Learning, es otra de las tareas que tenemos a futuro y en la cual ya se trabaja en el Cuerpo Académico al que pertenecemos, bajo la línea de Instrumentación y Control.

De las pruebas realizadas tenemos que los datos leídos con los sensores son correctos al compararlos con los de la estación de medición de la calidad del aire que tenemos en la institución, dado lo anterior, el dispositivo ha estado recabando datos en la ciudad de morelia, mostrando que ciertas zonas de la ciudad se encuentran altamente contaminadas, las regiones cercanas a la industria papelera, a la ciudad industrial y al centro de la entidad son las que manejan altos niveles de partículas, tomando la fórmula para el cálculo de los valores IMECA:

$$IMECA = \left(\frac{c_i - c_{min}}{c_{max} - c_{min}}\right) \times (IMECA_{max} - IMECA_{min}) + IMECA_{min} \qquad (1)$$

la concentración de PM10 medida es de 120 µg/m³ y los límites para PM10 son los siguientes:

0-50 µg/m³ (Buena calidad, IMECA 0-50)
51-100 µg/m³ (Regular, IMECA 51-100)
101-150 µg/m³ (Mala, IMECA 101-150)
151-200 µg/m³ (Muy mala, IMECA 151-200)
201-300 µg/m³ (Extremadamente mala, IMECA 201-300)

Para una concentración promedio medida de 120 µg/m³ aplicando la formula obtuvimos un valor de 101, entrando en la categoría de la mala calidad del aire, en otras zonas de la ciudad donde se estuvo midiendo obtuvimos valores de 76 a 90, teniendo una regular calidad del aire.

Dados los datos anteriores, podemos concluir que el dispositivo funciona de acuerdo a lo previsto y nos da la pauta para manufacturar otros dispositivos que nos permitan alcanzar el propósito futuro de análisis de la información para tener un banco de datos que nos arroje conocimiento y con este tener la posibilidad de tomar decisiones informadas sobre acciones para mejorar la calidad del aire en las ciudades contaminadas.

Figura 14
Prototipo instalado y en operación

Nota: Fuente elaboración propia

Figura 15
Prototipo fijo en limpiabrisas

Nota: Fuente elaboración propia

VI. AGRADECIMIENTOS

Del presente trabajo se agradece a los estudiantes del Club de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico CIIDTE del TecNM Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro, por su colaboración y aporte al presente trabajo, así como al Cuerpo Académico ITSPA-CA3, al que pertenecemos los autores del mismo.

VI. REFERENCIAS

Durán Caro, S., Aldana Montero, E. Y., Altamar Consuegra, A. del S., & Santos Montero, A. (2021). EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE UN SENSOR DE BAJO COSTO PARA MEDIR LA CALIDAD DEL AIRE. Encuentro Internacional De Educación En Ingeniería. https://doi.org/10.26507/ponencia.1999

Hofman, J., Nikolaou, M. E., Do, T. H., Qin, X., Rodrigo, E., Philips, W., ... & La Manna, V. P. (2020, October). Mapping air quality in IoT cities: Cloud calibration and air quality inference of sensor data. In 2020 IEEE SENSORS (pp. 1-4). IEEE.

Salas-Rodríguez, D. (2023). Modelo complejo para la evaluación de la gestión de la calidad del aire en cinco ciudades del estado de Guanajuato, México. Revista Internacional De Contaminación Ambiental, 39, 267–284.

Lancheros-Cuesta, D., Galvis, B., & Pachón, J. (2017). Dispositivo electrónico portable para la medición de la contaminación del aire. Ingenio Magno, 8(1), 8-18. Recuperado a partir de http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ingeniomagno/article/view/1386

Bernard, S. M., & Samet, J. M. (2011). Air pollution and public health: a guidance document for risk managers. Environmental Health Perspectives, 117(11), 1694-1699. https://doi.org/10.1289/ehp.11858

Pope, C. A., & Dockery, D. W. (2006). Health effects of fine particulate air pollution: lines that connect. Journal of the Air & Waste Management Association, 56(6), 709-742. https://doi.org/10.1080/10473289.2006.10464485

Kumar, P., & Morawska, L. (2019). The effects of indoor air pollution on human health and productivity. Atmospheric Environment, 201, 239-247. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.12.015

Dutta, T., & Pal, S. (2017). Real-time air quality monitoring through the Internet of Things using Big Data analytic techniques. Environmental Monitoring and Assessment, 189(6), 284. https://doi.org/10.1007/s10661-017-5994-2

Brook, R. D., Rajagopalan, S., & Pope, C. A. (2010). Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. Circulation, 121(21), 2331-2378. https://doi.org/10.1161/CIR.0b013e3181dbece1

Landrigan, P. J., & Fuller, R. (2019). The impact of pollution on global burden of disease. Lancet Planetary Health, 3(12), e452-e462. https://doi.org/10.1016/S2542-5196(19)30185-9

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2012). Norma Oficial Mexicana NOM-156-SEMARNAT-2012. Que establece los métodos de medición de la calidad del aire y los límites máximos permisibles de contaminantes en el aire ambiente. https://www.dof.gob.mx

International Organization for Standardization (ISO). (2016). ISO 4225:2016. Air quality — General aspects — Vocabulary. https://www.iso.org/standard/68498.html

International Organization for Standardization (ISO). (2019). ISO 16000-1:2019. Indoor air — Part 1: General aspects of sampling strategy. https://www.iso.org/standard/73284.html

VII. AUTORES

Mario Salvador Castro Zenil

https://orcid.org/0000-0001-6880-1072

Alma Alvarado López

https://orcid.org/0000-0002-2995-6749

Guillermo Rey Peñaloza Mendoza

https://orcid.org/0000-0003-2795-670X

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

Desarrollo e Implementación de Estrategias para el Cumplimiento de la Norma ISO 14001:2015, en el Sistema de Gestión Ambiental del Tecnológico Nacional de México Campus Lerdo

Vidaña-Martínez, S. A.[1]; Moreno-Núñez, E.[1] ✉, Bonilla-Rodríguez, F. S.[1]; Jaquez-Cervantes, S. A.[2]

Datos de Adscripción:
[1] Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Av. Tecnológico No. 1555 sur. C.P. 35150. Periférico Gómez-Lerdo Km. 14.5. Cd. Lerdo, Dgo. México.
[2] Centro de Estudios Tecnológicos Industrial y de Servicios No 47. Calzada Lázaro Cárdenas S/N, C.P. 35070. Armando del Castillo. Gómez Palacio, Dgo
✉ elda.mn@lerdo.tecnm.mx

Resumen **- El cumplimiento de la Norma ISO 14001 es un objetivo fundamental para las organizaciones comprometidas con la gestión ambiental responsable. El Tecnológico Nacional de México Campus Lerdo ha avanzado significativamente en su compromiso con la sostenibilidad ambiental a través del desarrollo e implementación de estrategias alineadas con esa norma. Estrategias como la difusión de buenas prácticas medioambientales, educación en temas del cuidado del agua, el manejo integral de residuos, la forestación y reforestación en la Institución entre otras, han garantizado la observancia de esta normativa en su Sistema de Gestión Ambiental. Algunos resultados de estas acciones son: la instalación del 100% de luminarias tipo diodo emisor de luz (LED) en el campus; la capacitación en la plantación y cuidado de 127 especies adaptadas a la región y capacitación al 40% de la comunidad en el manejo integral de residuos, promoviendo una cultura de responsabilidad social y sostenibilidad. Adicionalmente, las actividades contaron con la participación de 168 estudiantes de las diferentes ingenierías del Tecnológico, lo que les permitió obtener créditos complementarios e incentivó su involucramiento en actividades ecológicas. Todas estas acciones reflejan el firme compromiso del Tecnológico Campus Lerdo con la sostenibilidad ambiental y la creación de un entorno educativo que fomenta la responsabilidad ecológica entre sus miembros.**

Palabras Clave **- Ambiental, Gestión, ISO 14001:2015, SGA**

Abstract **- Compliance with the ISO 14001 Standard is a fundamental objective for organizations committed to responsible environmental management. "Tecnológico Nacional de México" (TECNM) Campus Lerdo has made significant progress in its commitment to environmental sustainability through the development and implementation of strategies aligned with the standard. Strategies such as the dissemination of good environmental practices, education on water conservation, comprehensive waste management, afforestation and reforestation within the institution, among others, have ensured compliance with environmental regulations within its Environmental Management System. Some results of these actions include: the installation of 100% LED lighting on campus; training in the planting and care of 127 species adapted to the region, and training 40% of the community in comprehensive waste management, promoting a culture of responsibility and sustainability. Additionally, the activities involved the participation of 168 students from various engineering disciplines, allowing them to earn complementary credits and encouraging their involvement in ecological activities. All these actions reflect the Institute's commitment to environmental sustainability and the creation of an educational environment that promotes ecological responsibility among its members.**

Keywords **- Environmental, ISO 14001:2015, Management, SGA**

I. INTRODUCCIÓN

El medio ambiente es un tema de creciente preocupación y controversia en los últimos años, debido a la clara observación de los impactos negativos que las actividades humanas han causado en el planeta. Problemas como la contaminación del aire y del agua y la pérdida de biodiversidad son solo algunos de los ejemplos que han modificado significativamente nuestro entorno natural (Salinero, 2023). Ante esta realidad, es de vital importancia establecer estrategias que permitan minimizar o mitigar estos daños. Algunas alternativas incluyen la formulación de políticas y procedimientos, la implementación de certificaciones ambientales y la realización de capacitaciones para promover la educación ambiental y la conciencia sobre la importancia de proteger nuestro medio ambiente (Galvis, 2012). De igual manera, la implementación de programas de reforestación es crucial para restaurar ecosistemas, proporcionar hábitats para la flora y fauna, y mejorar la calidad del suelo y del agua (Herrera-Feijoo, 2024).

El Instituto Tecnológico Superior de Lerdo (ITSL) consciente de la problemática ambiental, ha emprendido un exhaustivo trabajo de implementación de la Norma Internacional ISO 14001, relacionada con el cuidado del medio ambiente. Esta norma ha sido fundamental para modificar las prácticas cotidianas del instituto hacia la sostenibilidad y la eficiencia ambiental. La ISO 14001 establece criterios para un sistema de gestión ambiental efectivo, proporcionando una estructura que permite la protección del medio ambiente y la adaptación a las condiciones ambientales cambiantes, en equilibrio con las necesidades socioeconómicas (Sanabria, 2019).
En este contexto, el Instituto ha implementado diversos mecanismos para contribuir a la sostenibilidad ambiental, tales como la gestión de impactos ambientales, el cumplimiento de normativas legales, el manejo, reducción y segregación de los residuos y la conservación de recursos.

La investigación que se realiza en el Tecnológico reafirma el interés por un entorno sostenible: entre los proyectos de investigación internos más relevantes, relacionados con la gestión óptima de los recursos, destaca un sistema de monitoreo automático en las cisternas instaladas dentro de la institución, para la evaluación de las condiciones actuales del uso y distribución del agua con la intención de evitar daños en los sistemas de bombeo y evitar el desperdicio de energía eléctrica por el uso excesivo de las bombas en vacío; así como otro proyecto cuya finalidad es la generación de energía mediante un sistema híbrido, para la autosuficiencia energética en el laboratorio de manufactura del ITSL. (Ávila, González, Alvarado, Machado, Vidaña, Rincón, Pérez y Amaro, 2023)

Todos esos esfuerzos han resultado en cambios significativos en las prácticas cotidianas de gestión ambiental. Se han establecido procedimientos para la correcta gestión de residuos, el control de las emisiones y el uso sostenible de recursos, incrementando la sensibilización y educación ambiental entre la comunidad del instituto y fomentando una cultura de responsabilidad y sostenibilidad. Además, demuestran el compromiso del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo con la sostenibilidad y hacia la formación de una comunidad educativa responsable, que contribuya al cumplimiento de la norma ISO 14001:2015, en el Sistema de Gestión Ambiental del Tecnológico Nacional de México Campus Lerdo.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

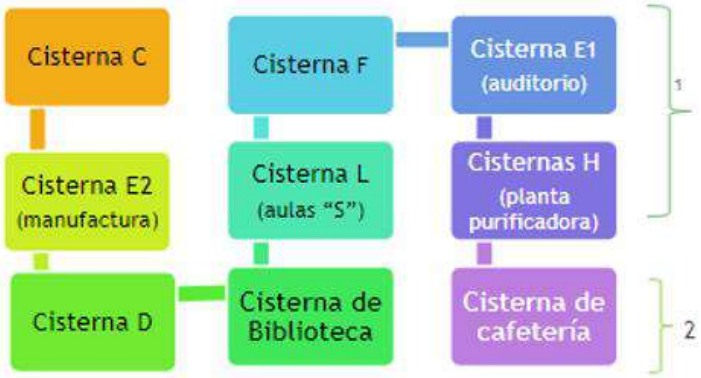
La implementación de la norma ISO 14001 ha permitido al Instituto Tecnológico Superior de Lerdo no sólo cumplir con los estándares internacionales de gestión ambiental, sino también liderar con el ejemplo en la adopción de prácticas sostenibles que contribuyen a la protección del medio ambiente.

Las siguientes son algunas de las estrategias y actividades destacadas:

2.1 Uso eficiente del agua dentro del Instituto:

Para el uso eficiente del agua dentro de la institución se desarrolló un proyecto de investigación en el que se evaluaron las condiciones actuales del uso y distribución del agua para la implementación de un sistema de monitoreo automático en las cisternas del ITSLerdo, cuyo objetivo es evitar daños en los equipos de bombeo y que se evite el funcionamiento de las bombas en condiciones de vacío.
El resultado de este proyecto incluye el diseño (layout) de una red de microcontroladores que permite monitorear todas las cisternas al mismo tiempo, lo que permite la medición en tiempo real de los niveles de líquido y el abastecimiento oportuno de las cisternas, así como la identificación de las irregularidades para que puedan ser corregidas a tiempo.

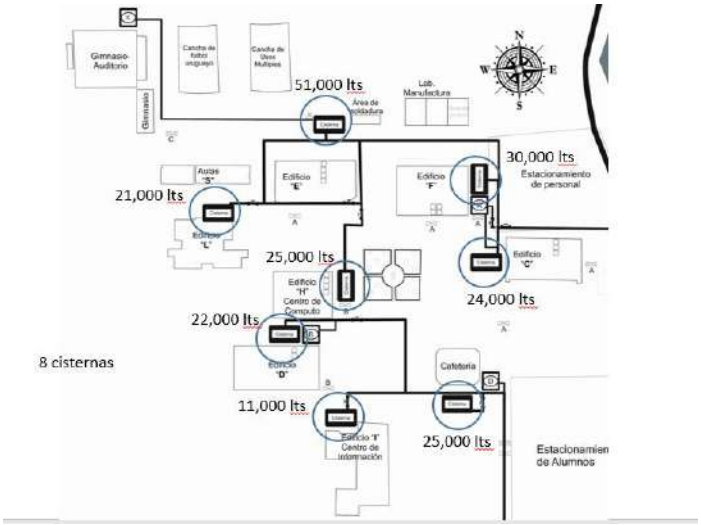
Figura 1.
Depósitos de agua en la institución para la identificación de áreas con alto consumo.



La Figura 1 es una imagen representativa de los depósitos en los cuales se hace la cuantificación del volumen que pasa desde el ramal hasta la red de distribución final.

En la Figura 2 se muestra el inventario de cisternas y tinacos, identificando las condiciones actuales de las cisternas en la institución; en el estudio también se identificaron equipos con alto consumo de agua.

Figura 2.
Condiciones actuales de las cisternas en la Institución



2.2 Campaña de forestación y reforestación

Desde el 2023 existe un programa continuo de forestación y reforestación en el que no solamente se plantan árboles, sino que además se les brindan cuidados continuos como riego, formación de cajete, tutorado, fertilización e identificación de especie. Se utiliza un sistema artesanal de riego con botellas de plástico reciclables, con el propósito de conservar la humedad y aumentar las probabilidades de supervivencia de los ejemplares plantados.

Durante el periodo enero – junio de 2023, se consiguieron donaciones, a través de diferentes instituciones públicas y privadas, de 127 árboles de especies como lágrima de San Pedro, pirul, acacia, guayabo, mezquite y huizache, que son especies adaptadas al clima semi desértico, propio de la región donde se encuentra el ITSL. En la Figura 3 se muestra una de las especies plantadas y conservada hasta el momento.

Figura 3
Campaña de forestación y reforestación

2.3. Manejo integral de los residuos

La Gestión de residuos sólidos urbanos (RSU) y Residuos Peligrosos (RP) en una Institución de Educación Superior es una tarea esencial para mantener un ambiente limpio y sostenible. Las acciones implican desde la instalación de contenedores de reciclaje para su separación, la recolección y transporte hasta la concientización de los estudiantes, profesores y personal administrativo acerca de la importancia del reciclaje y la separación de los residuos. En el caso del ITSL, una de las principales acciones con respecto al tema de RSU fue:

- Instalación de contenedores para la gestión de residuos sólidos urbanos (RSU) marcados para su identificación y una correcta clasificación. En la Figura 4 se muestran los contenedores instalados en todos los espacios del instituto para la recolección de los residuos orgánicos, inorgánicos, no reciclables y PET.

El ITSL cuenta con diferentes espacios que manejan residuos considerados peligrosos, por lo que necesita de personal capacitado para disponer de estos residuos, principalmente en el Laboratorio de Ingeniería Ambiental, en el que se requiere disponer de varias opciones para la disposición final de estos residuos.

- Se tiene actualmente un espacio asignado para la recolección de residuos peligrosos a cargo de personal de laboratorio de ingeniería ambiental, que organiza la entrega de los RP a las empresas autorizadas para su manejo.

Figura 4
Contenedores para el manejo integral de los residuos

2.4 Programas del uso eficiente de la energía

Se implementó el uso de luminarias tipo LED en toda la institución con el propósito de reducir el consumo eléctrico. En la figura 5 se muestra una de las lámparas instaladas en la Institución.

Figura 5
Luminarias tipo LED instaladas en el ITSL

En la figura 6 se muestra evidencia de la capacitación al personal administrativo del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo en los temas de cuidado del agua, de la energía y la separación de residuos sólidos urbanos.

Figura 6
Difusión de buenas prácticas medioambientales

En el contexto del ahorro energético, cabe mencionar otro de los proyectos multidisciplinarios desarrollado por docentes del instituto, que se enfoca en el estudio técnico para la instalación de un sistema híbrido para la generación de energía y la alimentación de cargas monofásicas en un edificio del ITSL, que en un futuro próximo garantice un suministro de energía confiable y sostenible en el laboratorio de manufactura. La figura 7 muestra diversas actividades y equipos involucrados en dicho proyecto.

Figura 7
Sistema híbrido para generación de energía

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Medición del uso de agua en dos periodos consecutivos

En la Tabla 1 y Tabla 2 se presentan los resultados obtenidos de la medición en cuanto al consumo de agua en los periodos de julio a diciembre de 2022 y de enero a junio de 2023.
Asimismo, en la Tabla 3 y Tabla 4, se muestra el concentrado de los consumos de agua por gasto del medidor y el gasto por consumo de pipas, en los mismos lapsos.

Sumando los resultados de las Tablas 1 y 3 se tiene un total de 3,885,052 litros durante el periodo de Julio a diciembre de 2022, generando un gasto de $816,480.00.
Al sumar los totales de las Tablas 2 y 4 se puede observar que, en el periodo de enero a junio de 2023, el consumo fue de 7,431,000 litros y esto generó un costo total de $337,730.00.

Tabla 1
Medición del uso del agua en el periodo Julio-diciembre 2022

Mes	*Consumo (litros)*	*Gasto $*
Julio	633,485	353,119.00
Agosto	633,485	92,783.00
Septiembre	617,300	95,629.00
Octubre	646,280	75,089.00
Noviembre	608,450	75,535.00
Diciembre	551,052	103,213.00
Total	3,690,052	795,368.5

Tabla 2
Medición del uso del agua en el periodo Enero—junio 2023

Mes	*Consumo (litros)*	*Gasto $*
Enero	592,000	29,892.5
Febrero	698,000	26,368.0
Marzo	806,000	71,897.00
Abril	1,812,000	66,429.00
Mayo	2,235,000	82,543.00
Junio	1,123,000	42,736.5
Total	7,266,000	319,866.00

Se puede observar que el consumo de agua aumentó considerablemente en el primer periodo del 2023, lo cual se atribuye a que las condiciones climáticas de esos meses son de calor extremo y por ende hay un mayor consumo de agua.
No se tiene acceso aún a los datos para hacer un comparativo completo con respecto al resto del periodo de 2023 y del año 2024; sin embargo, los resultados preliminares del Departamento de Evaluación y Estadística del instituto indican que sí hay un ahorro en el gasto de agua, aunque las cifras de reducción del consumo aún no se reportan de manera oficial. Cabe mencionar que esas mediciones han servido como respaldo para las gestiones con el Sistema de Agua Potable y Alcantarillado (SAPAL) de la ciudad de Lerdo, Dgo., para la firma de un convenio en el que se condona al ITSL una parte del costo por el gasto de agua.

Tabla 3
Consumo de agua en pipas Julio-diciembre 2022

Periodo	*# de pipas*	*Consumo (litros)*	*Gasto $*
Julio-Agosto	3	45,000	4,872.00
Septiembre- Octubre	10	150,000	16,240.00
Noviembre- Diciembre	0	0	0
Total	13	195,000	21,112.00

Tabla 4
Consumo de agua en pipas Enero-junio 2023

Periodo	*# de pipas*	*Consumo (litros)*	*Gasto $*
Enero-Febrero	11	165,000	17,864.00
Marzo-Abril	0	0	0.00
Mayo- Junio	0	0	0.00
Total	11	165,000	17,864.00

Desde inicios del 2023, de manera interna se estableció una política de uso eficiente del agua, con la reducción de riego del pasto y a la fecha se han promovido prácticas de jardinería sostenible, que involucran el reemplazamiento de las áreas verdes por plantas y árboles resistentes a las condiciones locales, que necesitan menos mantenimiento.

3.2 Forestación y reforestación

Se llevó a cabo la forestación y reforestación en las áreas verdes del Instituto, plantándose un total de 127 especies diferentes de árboles endémicos. La Tabla 5 muestra el conteo de las especies plantadas. Con cada uno de los árboles se hizo un ejercicio de geolocalización y en el afán de concientizar acerca de su cuidado, los participantes, miembros de la comunidad escolar, "nombraron" a su árbol.
Como parte de las actividades de seguimiento a esta estrategia, se cuenta con un listado en donde se encuentra el punto exacto de localización de cada árbol, el nombre del ejemplar y la persona responsable de su cuidado.

Tabla 5
Especies de árboles plantados en la forestación y reforestación

Especie	*Cantidad*
Acacia	8
Guayabo	6
Huizache	8
Lágrima de San Pedro	16
Mezquite	56
Mimbre	8
Pirul	23
Otras	2
Total:	127

La supervivencia de los árboles plantados ha sido del 65% de los individuos desde la plantación inicial y se ha dado continuidad a las actividades de reforestación en los espacios de los árboles que no prosperaron y otros lugares del instituto.
El éxito en la supervivencia de los ejemplares se atribuye a que pertenecen a especies endémicas o adaptadas perfectamente a las condiciones climáticas de la región, como es el caso de los mezquites, pirules, huizaches, las acacias y las lágrimas, que no necesitaron de riego más que una vez por semana, en las primeras semanas posteriores a su plantación.
A la fecha, todos los ejemplares plantados en la campaña cuentan con un sistema artesanal de riego por goteo mediante botellas de PET, para el mantenimiento de la humedad, lo que ha permitido su sostenimiento disminuyendo notoriamente la necesidad de riego.

3.3 Manejo Integral de Residuos

A raíz de la certificación de la norma ISO 14001, obtenida en 2023, ha sido necesario prestar especial atención al manejo de los residuos generados en el tecnológico; tanto los residuos peligrosos (RP) como los residuos sólidos urbanos (RSU). Lo anterior involucra conocer las cantidades generadas y la naturaleza de los residuos para su manejo, que permitan su clasificación y tomar las acciones adecuadas para su manejo.
Los resultados correspondientes al pesaje de los RSU generados en la Institución, se presentan en la Tabla 6.

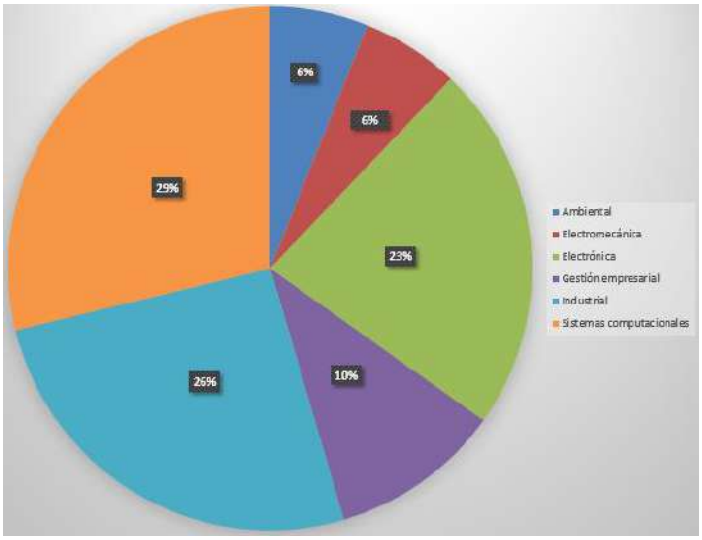
Tabla 6
Cantidad generada de Residuos Sólidos Urbanos. Abril-junio 2023

Mes	*Orgánicos*	*Reciclable*	*No Reciclable*	*PET*	*Cantidad Total generada*
Abril	16.29	98.70	165,000	135.55	533.37
Mayo	9.71	111	0	161.25	679.07
Junio	1.86	96.48	0	115.68	890.44
Total	27.86	306.75	165,000	412.48	2,102.88

En la Tabla 6 se muestran las cantidades generadas en kilogramos de residuos de los diferentes desechos, durante el periodo de abril a junio 2023; generando un total de 2,102.88 kilogramos; cada uno de estos residuos son canalizados a diferentes empresas que son las que se encargan de continuar su procesamiento para que sean reutilizados o bien para minimizar su impacto negativo.

Los estudiantes de las diversas especialidades de ingeniería del ITSL participaron con entusiasmo en las actividades de forestación y reforestación, así como en los talleres de capacitación sobre la gestión de residuos sólidos urbanos. Los proyectos y actividades realizadas desde el 2023 han contado con la participación de un total de 159 estudiantes pertenecientes a seis ingenierías, diversificados como se muestra en la Figura 7.

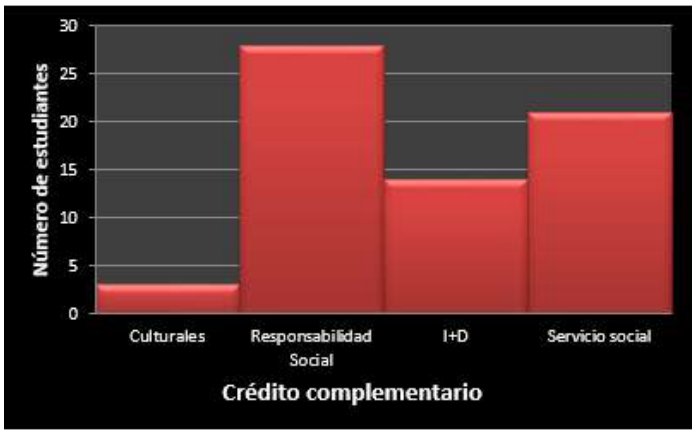
Figura 7.
Participación estudiantil de las diferentes ingenierías del ITSL



A través de esta iniciativa, se logró integrar la educación ambiental práctica con la formación académica, beneficiando tanto a los estudiantes como al medio ambiente.

Estas actividades no solo contribuyeron significativamente al bienestar del entorno natural y la concientización comunitaria, sino que también permitieron a algunos de los estudiantes cumplir con los requisitos de servicio social y créditos complementarios establecidos por la institución.
Los resultados generalizados de este beneficio se muestran en la Figura 8, en la que se puede observar el total de estudiantes liberados en 2023, en los créditos complementarios de: Responsabilidad Social (28), Investigación y Desarrollo (14), Actividades Culturales (3) y Servicio Social (21), sumando un total de 66. El resto de los estudiantes se involucraron por convicción en el apoyo a las actividades de sustentabilidad, gracias a la concienciación y el apoyo de los profesores que imparten la materia de Desarrollo Sustentable y otras relacionadas con el medio ambiente en las diversas carreras de ingeniería.

Figura 8.
Estudiantes acreditados en actividades complementarias y servicio social en 2023, por su participación en las estrategias mencionadas.



3.4 Programas del uso eficiente de la energía

El cambio de luminarias por focos LED y la reubicación de nuevas lámparas con luminarias de ese tipo son medidas importantes en términos de eficiencia energética y mejora de la iluminación.
Esta estrategia se realizó en la institución para optimizar el consumo energético y mejorar la calidad de la iluminación en las instalaciones.
A continuación en la tabla 7, se detalla la cantidad de lámparas instaladas, sus capacidades y el reporte de uso semanal total. En la Tabla 7 se muestra la cantidad de lámparas instaladas y la capacidad de cada una de ellas, para cubrir el 100% de las áreas del ITSL.

Tabla 7
Lámparas LED instaladas en el ITSL

Capacidad de las lámparas	*No de piezas*
400 Watts	16
100 Watts	6
65 Watts	33
18 Watts	449
11 Watts	168
Total	672

Tabla 8
Consumo de energía eléctrica anual. Fuente: Departamento de Estadística y Evaluación del ITSL.

Año	*Consumo kW/h*	*Factor de Potencia*	*Gasto $*
2021	487017	94.86	$ 1’ 300, 039.00
2022	774423	92.64	$ 2’ 362, 797.00
2023	773675	91.34	$ 2’ 518, 189.00
Total	**2035115**	**92.94**	**$ 6’ 181, 025.00**

En la Tabla 8 se reporta el consumo de energía anual de 2021 a 2023, reportándose el consumo en Kilowatts por hora, el factor de potencia así como el gasto económico generado. Es importante monitorear el factor de potencia para saber si el consumo de energía es eficiente; ya que un factor de potencia menor a 90 es causante de una penalización para la institución.
Se observa que en el año 2022 se registró un mayor consumo de energía con relación al 2021, estos dos periodos son un parteaguas, ya que en agosto del 2021 se comenzaron a regularizar las actividades dentro del instituto con el regreso a clases semipresenciales después de la pandemia de Covid-19. En el año 2022, se restablecieron por completo las actividades presenciales en el instituto.
Sin embargo, en los números que se muestran en la Tabla 8 se puede apreciar una reducción de 748 Kw/hora del año 2022 al 2023, que en este caso se atribuye a las modificaciones en las prácticas cotidianas, debido a las acciones de concientización dirigidas a la comunidad escolar, que involucran la difusión de los programas de energía como parte del cambio en la cultura organizacional que se pretende en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo para continuar con el cumplimiento de la Norma ISO 14000; las actividades de concientización iniciaron en el 2022 con la Campaña de Ahorro de Energía en el ITSL.

IV. CONCLUSIONES

El desarrollo y la implementación de las estrategias descritas para el cumplimiento de la norma ISO 14001:2015 y la obtención de la certificación de su Sistema de Gestión Ambiental (2023) han resultado en un conjunto de iniciativas exitosas que han mejorado significativamente la gestión del medio ambiente en el Tecnológico Nacional de México Campus Lerdo.
Las principales conclusiones son las siguientes:

Se han realizado programas de capacitación extensivos dirigidos a personal administrativo, profesores y estudiantes. Estas sesiones han cubierto los principios y requisitos de la norma ISO 14001:2015, enfatizando cómo cada miembro de la comunidad puede contribuir al cumplimiento de los objetivos ambientales del instituto.

La educación ambiental ha sido una piedra angular en el SGA del instituto. Se han incorporado módulos de sostenibilidad y gestión ambiental en el currículo académico, además de organizar charlas y seminarios para aumentar la conciencia sobre la importancia de prácticas sostenibles.

El instituto ha lanzado programas de forestación y reforestación, plantando árboles nativos en el campus y áreas circundantes. Estas iniciativas no solo mejoran la calidad del aire y embellecen el entorno, sino que también pueden ser aprovechadas para la investigación y la educación ambiental. La sustitución de áreas de pasto por plantas nativas y adaptadas a condiciones de baja disponibilidad de agua ha reducido significativamente el consumo de agua para riego, al tiempo que ha mejorado la resiliencia de los árboles plantados. La transición del ITSL que prioriza árboles adaptados a la sequía y la reducción del riego de césped no solo es una medida sostenible que contribuye a la conservación del agua, sino que a futuro también presenta ventajas económicas considerables y mejora la resiliencia ambiental de la Institución. Se espera que, a futuro, el programa de forestación y reforestación con especies locales tenga un impacto positivo en la calidad del aire, la estabilización del suelo, la biodiversidad y el uso del agua. Esta iniciativa ha promovido una mayor participación y concienciación ambiental entre los estudiantes, creando un entorno más saludable y sostenible.

Se han implementado medidas para reducir el consumo de energía, como la instalación de iluminación LED, la optimización de sistemas de calefacción y refrigeración y la promoción de prácticas de eficiencia energética entre el personal y los estudiantes. Además, se están explorando fuentes de energía renovable para el campus.

El instituto ha incentivado proyectos de investigación que se centran en la sostenibilidad, el ahorro de agua y energía, y la mitigación de impactos ambientales. Estos proyectos no solo contribuyen al avance del conocimiento científico, sino que también proporcionan soluciones prácticas y aplicables al entorno del campus y la comunidad local. La adopción de prácticas de eficiencia energética, incluyendo la instalación de lámparas LED, ha permitido una reducción considerable en el consumo de energía eléctrica. a largo plazo. Además, los proyectos de investigación centrados en la sostenibilidad, el ahorro de agua y el ahorro de energía no sólo benefician al Instituto Tecnológico Superior de Lerdo en términos académicos y operativos o para el cumplimiento de la norma ISO 14001:2015, sino que también marcan un impacto positivo en la comunidad y el medio ambiente. Estas iniciativas a futuro posicionarán al instituto como un líder en la educación y la innovación sostenible.

Se han organizado talleres prácticos y sesiones de capacitación continua para estudiantes, profesores y personal administrativo. Estos talleres cubren una amplia gama de temas, desde técnicas de reciclaje hasta la implementación de tecnologías verdes, fomentando una cultura de sostenibilidad en toda la comunidad.

La instalación de sistemas precisos de medición y monitoreo del consumo de agua ha permitido identificar áreas de alto consumo y aplicar medidas correctivas eficientes, como la sustitución del pasto por plantas y árboles endémicos.

La implementación de un sistema integral para la gestión de residuos sólidos, que incluye la separación, reciclaje y disposición adecuada, ha mejorado notablemente la eficiencia en el manejo de residuos. La educación y la capacitación en prácticas sostenibles han asegurado que toda la comunidad del campus participe activamente en la minimización del impacto ambiental de los residuos.

La integración de estas iniciativas ambientales con el programa de créditos complementarios ha sido altamente exitosa. Al involucrar a los estudiantes en actividades como forestación, manejo de residuos y proyectos de eficiencia energética, no solo se han cumplido los requisitos académicos, sino que también se ha fomentado un compromiso profundo con la sostenibilidad.

La participación de los estudiantes en el proyecto de implementación de estrategias para el cumplimiento de la norma ISO 14001 permitió el desarrollo básico de competencias que en el ámbito laboral son valoradas, ya que, en este caso, los estudiantes tuvieron la oportunidad de aplicar conocimientos teóricos en situaciones prácticas de auditorías internas, evaluación de impacto ambiental y el desarrollo de políticas ambientales. Asimismo, se fortalecieron en ellos Habilidades Blandas, ya que la participación en proyectos que involucran la gestión ambiental fomenta habilidades de trabajo en equipo, liderazgo, comunicación y resolución de conflictos.

Las estrategias implementadas han demostrado ser efectivas no solo para cumplir con la norma ISO 14001:2015, sino también para establecer un modelo sostenible y replicable de gestión ambiental en instituciones educativas. El éxito de estas iniciativas se manifiesta en múltiples áreas, incluyendo la conservación de recursos naturales, la reducción de la huella ambiental, y la promoción de una cultura de sostenibilidad entre la comunidad estudiantil.

Este proyecto ha proporcionado, desde el punto de vista de los docentes involucrados en las actividades, un marco práctico y efectivo para desarrollar las capacidades de liderazgo de los estudiantes, equipándolos con las habilidades necesarias para enfrentar los desafíos del futuro y liderar con responsabilidad y sostenibilidad. Así que en un futuro se tiene la intención de evaluar si las actividades realizadas como estrategia para el cumplimento de la Norma ISO 14001, no sólo impactan en la sostenibilidad, sino también en la formación de una nueva generación de líderes que hagan una diferencia significativa en cualquier ámbito en el que elijan trabajar.

El alcance de la certificación del Sistema de Gestión Ambiental incluye todas las actividades, procesos, productos y servicios del proceso educativo que se realizan en el TecNM; la vigencia de la certificación es hasta agosto de 2024 por lo que la promoción y el seguimiento de las buenas prácticas medio ambientales deberán ser permanentes, a fin de coadyuvar a que la certificación sea extendida.

A futuro se recomienda continuar con el monitoreo y la evaluación de las estrategias actuales, así como la exploración de nuevas tecnologías y prácticas sostenibles. La innovación y la mejora continua serán esenciales para mantener y mejorar los estándares ambientales alcanzados. La participación de la comunidad del campus seguirá siendo un factor crucial para el éxito continuo del Sistema de Gestión Ambiental y los proyectos con este enfoque, pues contribuyen a integrar la sostenibilidad en el núcleo de las operaciones del Tecnológico Nacional de

México Campus Lerdo, demostrando que con una planificación adecuada y la participación de la comunidad, es posible cumplir con los más altos estándares internacionales en gestión ambiental.

V. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su sincero agradecimiento al personal del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo que ha colaborado en la ejecución de este este proyecto: al titular de la Dirección del Instituto Dr. José Dimas López Martínez, por las facilidades brindadas hacia el Club de la Familia Sustentable y por su invaluable respaldo en las diversas estrategias realizadas; a la jefa del Departamento de Estadística y Evaluación Lic. Ana Gabriela González, por facilitar la documentación pertinente para complementar el conocimiento de la Norma ISO 14001:2015; al Subdirector de Posgrado e Investigación M.D.G.P.T. Jesús Alejandro Valdés Nieblas, por sus valiosos conocimientos, comentarios, orientación y participación en todas las actividades del proyecto. Estos actores y sus acciones han sido fundamentales para el éxito del proyecto y para la elaboración de este artículo.

A toda la comunidad del ITSL: estudiantes, docentes y personal administrativo que participaron en este proyecto, los resultados no se hubieran logrado sin su esfuerzo, creatividad y compromiso.

¡Gracias por hacer del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo una institución comprometida con la sostenibilidad y la responsabilidad social!

VI. REFERENCIAS

Araque Arellano, M., Avilés Sacoto, E., Castro Salvador, P., Vásconez Cruz, M., Álvarez Pulupa, D., Cuarán Sarzosa, F., & García Tumipamba, D. (2018). *Gestión Ambiental en la empresa mediante la Norma ISO 14001-2015*

Arreguin, F. (1997). El uso eficiente del agua y la tecnología. *Tecnología y ciencias del agua*, 12(1), 91-98

Ávila, L.O., González, V. L., Alvarado T. N., Machado, D.E., Vidaña, M.S., Rincón, G.Y., Pérez, P.L. y Amaro, R.J. (2023). Evaluación de las condiciones actuales del uso y distribución del agua para la implementación de un sistema de monitoreo automático en las cisternas instaladas en el ITSLerdo. *Artículos del Congreso Internacional de Investigación Academia Journals Puebla IEU*. Tomo 6, 37-44

Bermúdez, C. I. M. (1999). *Manejo de residuos sólidos. Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 8, 135-144

Cortés, F. I. A. (1991). Uso eficiente del agua. *Tecnología y ciencias del agua*, 9-22

Fernández, J. L. V., García, M. C. A., Morales, N. C., & Soto, M. N. (2016). Guía para la aplicación de ISO 14001 2015. Alpha Editorial

Galvis Creciente, J. M. (2012). Propuesta de un sistema de gestión ambiental basado en la norma ISO 14001: 2004 para una empresa de telecomunicaciones y tecnología, caso red de ingeniería Inred Ltda

García, H., Toyo, L., Acosta, Y., Rodríguez, L., & El Zauahre, M. (2014). Percepción del manejo de residuos sólidos urbanos (fracción inorgánica) en una comunidad universitaria. *Multiciencias*, 14(3), 247-256

Guallimba Catagña, C. M., & Ramos Romero, W. E. (2017). *Estudio energético y cambio de lámparas halogenadas por lámparas led en la bodega de productos terminados en la planta Pronaca Puembo para disminuir el consumo energético* [Bachelor's thesis, LATACUNGA/UTC/2017)

Guevara Bustamante, A. (2019*). Implementación de lámparas Led, con suministro fotovoltaico para reducir el consumo de energía eléctrica convencional en la Municipalidad Provincial de Utcubamba-Amazonas*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Lambayeque – Perú]. http://repositorio.unprg.edu.pe

Herrera-Feijoo, R. J. (2024). Principales amenazas e iniciativas de conservación de la biodiversidad en Ecuador. *Journal of Economic and Social Science Research*, 4(1), 33-56

Huerta, E., & García, J. (2009). Estrategias de gestión ambiental: Una perspectiva de las organizaciones modernas. *Clío América*, 3(5), 15-30

Machado, J. T., & Saldaña, Y. M. V. (2022). Manejo de residuos sólidos para reducir la contaminación del medio ambiente: Revisión sistemática. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(4), 578-601

Morales Aguilar, M. R. (1991). *Propuesta de un modelo de riego tipo artesanal para pequeñas explotaciones hortícolas* [Disertación Doctoral, Universidad de El Salvador]. http://oldri.ues.edu.sv

Mora-Ortiz, J. R. (2015). Los proyectos ambientales escolares. Herramientas de gestión ambiental. *Bitácora Urbano Territorial,* 25(2), 67-74

Orbegoso-Ayala, V. H., Martos, M., Bardales, R., Bardales, R., Cabrera, M., & Diego, L. (2023). Educación ambiental y su contribución en la gestión de residuos sólidos. *SCIÉNDO*, 26(3), 337-346

Reid, H., & Swiderska, K. (2008). *Biodiversidad, cambio climático y pobreza: una exploración de los vínculos*. International Institute for Environment and Development

Rodríguez, G. A. (2009). *La participación en la gestión ambiental: un reto para el nuevo milenio.* Universidad del Rosario [Archivo PDF]. https://philpapers.org/archive/RODLPE.pdf

Ruiz Sobenis, A. S. (2024). *Paneles solares y luces led como alternativas medioambientales para la reducción del consumo energético en Plantas de procesamiento de enlatados y conservas en el Ecuador* [Bachelor's thesis, Babahoyo: UTB, 2024]

Salinero, E. C., & Rodríguez-Ovelleiro, M. Á. M. (2023). Cuidar la Tierra. Introducción a la Ética Ambiental. *Digital Reasons*

Sampen Mego, M. L. A. (2018). *Propuesta de implementación de lámparas LED con suministro fotovoltaico para reducir el consumo de energía eléctrica de origen convencional en el SOLEC BUSINESS HOTEL CHICLAYO-Chiclayo-Lambayeque* [Archivo PDF] https://repositorio.unprg.edu.pe

Sanabria Alvarez, K. A. (2019). Análisis de la transición del sistema de gestión ambiental: norma ISO 14001 de la versión de 2004 a 2015

Sánchez Chávez, I., González Aldana, R. A., & Fuentes Téllez, J. M. (2023). *Forestación y reforestación del municipio de Aldama con especies endémicas*. [Archivo PDF].

https://ru.iiec.unam.mx/6098/1/9.%20165-Sánchez-González-Fuentes.pdf

Sanchez choque, I. I. M. B. E. R. T. (2022). *Ecologia urbana: forestación y reforestación con plantas nativas, en el área extensiva de la Ciudad de Oruro. Universidad Mayor de San Simón*. [Archivo PDF] http://ddigital.umss.edu.bo/handle/123456789/35389

Tavera Flores, H. P. (2023). *La relación entre la conciencia ecológica y el manejo de los residuos sólidos urbanos en un centro poblado de la región de Cajamarca, 2023*. [Archivo PDF]. https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/36112?locale-attribute=en

Tovar, I. L. J., & Benavides, H. S. (2015). Eficiencia del ahorro energético y reducción del impacto ambiental negativo de la tecnología led. *Revista Ingeniería, Matemáticas y Ciencias de la Información*, 2(3)

Valdemar, R. M. E., Marion, S. T., Solís, R. C. V., Morillas, A. V., Ramos, A. D. L. L. C., de la Torre Vega, A., & García, B. A. G. (2013). La gestión ambiental en una institución de educación superior asociada a las prácticas de separación y recuperación de residuos. *Revista internacional de contaminación ambiental*, *29*, 49-57

Vargas, O., Alvarado, E., López, C., & Cisneros, V. (2015). Plan de manejo de residuos sólidos generados en la Universidad Tecnológica de Salamanca. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 2(5), 83-91

Vargas-Restrepo, C. M., Gutiérrez-Monsalve, J. A., Vélez-Rivera, D. A., Gómez-Betancur, M. A., Aguirre-Cardona, D. A., Quintero-Osorio, L. A., & Franco-Montoya, J. C. (2021). Gestión del manejo de residuos sólidos: un problema ambiental en la universidad. *Pensamiento & gestión*, (50), 117-152

Vilchis Pérez, T. E., Aparicio López, J. L., Terrón Amigón, E., Rodríguez Alviso, C., & Arellano Wences, H. J. (2021). Representaciones sociales de la gestión ambiental para la sustentabilidad en una comunidad escolar privada. *RIDE. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo* 12(23)

Wightman, K. E., & Cruz, B. S. (2003). La cadena de la reforestación y la importancia en la calidad de las plantas. *Foresta Veracruzana,* 5(1), 45-51

VII. AUTORES

Silvia Adriana Vidaña Martínez

https://orcid.org/0009-0008-9633-1010

Elda Moreno Núñez

https://orcid.org/0000-0002-5912-082X

Francisco Samuel Bonilla Rodríguez

https://orcid.org/0009-0004-9813-9306

Silvia Adriana Jaquez Cervantes

https://orcid.org/0009-0005-2804-865X

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

Remoción de Colorantes Textiles por Hongos Inmovilizados

Vazquez-Jaime, L.L.[1]; Saavedra Arroyo, Q.E.[2]; Rodríguez-Nava, C.O.[3], Rodríguez-Gómez, D[1]✉

Datos de Adscripción:

[1]Tecnológico Nacional de México/ITS de Irapuato. División de Ingeniería Bioquímica. Carretera Irapuato-Silao km 12.5, C. P. 36821., Col. El Copal, Irapuato, Guanajuato, México.

[2] Tecnológico Nacional de México/ TecNM / ITS Irapuato. División de Ingeniería en Materiales, Silao-Irapuato Km 12.5, El Copal, Irapuato, Guanajuato, C.P. 36821, México.

[3] Instituto Politécnico Nacional-ENCB, Edificio 8, Av. Luis Enrique Erro S/N, UPALM, CDMX, C.P. 07738, México

✉ divanery.rg@irapuato.tecnm.mx

Resumen **- Los colorantes artificiales provenientes de industrias textileras están clasificados como compuestos recalcitrantes, lo cual se refiere a su dificultad para ser degradados, por tanto, su permanencia en el ambiente es prolongada. En medio líquido, los tiempos de degradación de colorantes por los hongos productores de lacasas pueden ser amplios, por lo que con el propósito de disminuir el tiempo de decoloración surge la alternativa de la inmovilización de la biomasa sobre algún soporte. La inmovilización consiste en confinar la biomasa del microorganismo en un área determinada sobre un material (soporte); sin dañar o impedir el metabolismo de éste, de manera que dicha biomasa sea permanentemente activa y su actividad catalítica sea constante. En este caso se inmovilizaron hongos ligninolíticos con capacidad de decolorar colorantes textiles, se evaluó un soporte sintético (espuma de poliuretano) y un soporte orgánico (caña de maíz) para inmovilización de las cepas 43 (*Trametes spp.*) y 38 (*Pleurotus ostreatus*); y posteriormente se expusieron a una concentración de colorante textil de 1500 ppm. Se demostró que ambas cepas colonizaron los dos diferentes soportes. La biomasa inmovilizada sobre la caña de maíz logró mayor eliminación del colorante (90%) que en el soporte sintético (85%). Los resultados sugieren que es probable implementar estos hongos fijados a la biomasa, de manera práctica para el tratamiento de aguas residuales de industrias textileras en algún sistema de recirculación del contaminante.**

Palabras Clave **- Bioremediación, Colorantes textiles, Inmovilización, Lacasa, Pleurotus spp., Trametes spp.**

Abstract **- Artificial dyes from textile industries are classified as recalcitrant compounds, which refers to their difficulty in being degraded, and their extensive permanence period in the environment. In liquid medium, the degradation times of dyes by fungi can be reduced through the alternative of biomass immobilization. The immobilization of microorganisms allows the biomass to be confined in a certain area on a material (support); without damaging or impeding its metabolism. Furthermore, it allows the fixed biomass and to maintain constant catalytic activity. In this case, ligninolytic fungi with the capacity to decolorize textile dyes were immobilized. A synthetic support (polyurethane foam) and an organic support (corn cane) were evaluated for immobilization of the strains 43 (*Trametes* spp.) and 38 (*Pleurotus ostreatus*); and subsequently exposed to a concentration of textile dye of 1500 ppm. It was shown that both strains colonized the two different supports, likewise, corn cane immobilized biomass achieved greater removal of the dye (90%) than the synthetic support immobilized biomass (85%). These results suggest that such strategy could be implemented together with these fungi fixed to biomass, in a practical way for the treatment of wastewater from textile industries.**

Keywords **- Immobilization, Bioremediation, Laccase, Pleurotus spp., Textile dyes, Trametes spp.,**

I. INTRODUCCIÓN

Los colorantes artificiales usados en las industrias textileras y en las curtidoras generan residuos que afectan la calidad del medio ambiente, ya que una vez terminada su función en el proceso primario se convierten en contaminantes (Dutta *et al.*, 2024). Se producen más de 700,000 toneladas anuales y cerca de 10,000 tipos diferentes de colorantes, que la mayoría de las veces terminan en cuerpos hídricos cuya concentración alcanza hasta las 1500 ppm (Fernandes *et al.*, 2024).

Los colorantes usados en la industria textil se pueden clasificar por su estructura química, clase de aplicación y por el tipo de uso final. Los colorantes están constituidos por dos grupos fundamentales: El grupo cromóforo, que produce el color y el auxocromóforo, el cual hace que las moléculas sean más solubles y tengan mayor afinidad hacia las fibras. Los cromóforos incluyen grupos -C = C-, -C = N-, -C = O, -N = N-, -NO_2, y anillos quinoides, mientras que los auxocromos incluyen grupos -NH_3, -COOH, -SO_3H y –OH (Gupta y Suhas, 2009).

Debido a su compleja estructura química, estos son compuestos xenobióticos recalcitrantes, es decir, difíciles de degradar y que se solubilizan en el medio, los cuales representan una gran amenaza debido al hecho de que persisten durante un largo período de tiempo. Además de afectar la estética del lugar contaminado, la transparencia del agua y la solubilidad del oxígeno en los cuerpos hídricos, por lo que alteran el equilibrio del ecosistema al modificar la capacidad fotosintética del cuerpo de agua; además de ser cancerígenos y generar daños a la salud (Dutta *et al*., 2024)

En cuanto a la remoción de estos colorantes del agua, varios métodos se han usado, entre los que destacan los fisicoquímicos como: coagulación/precipitación, ósmosis inversa, ultrafiltración, adsorción en carbón activado, entre otros. Sin embargo, la mayoría de estos tratamientos presentan como desventajas ser costosos, producir lodos, generar subproductos aún más tóxicos que el contaminante original o que solamente transfieren el problema de una fase líquida a una sólida (Karimifard &

Moghaddam, 2018). En busca de alternativas para la recuperación del estado natural de los ecosistemas se han implementado diferentes técnicas de biorremediación, la cual se basa en el uso de organismos vivos como bacterias, hongos, plantas o parte de ellos para degradar contaminantes presentes en un sistema. Además, la biorremediación se aprovecha de las reacciones y los procedimientos químicos naturales a través de los cuales los organismos descomponen los compuestos contaminantes como fuente de carbono para obtener nutrientes y energía, y que posteriormente será evidenciado como crecimiento (Sinharoy & Chung, 2024).

En la naturaleza los hongos se adaptan a distintas condiciones al degradar la materia orgánica mediante la secreción de enzimas, las cuales se encargan de hacer utilizables dichas moléculas como nutrientes que después será absorbidos de forma pasiva o integrados a la célula activamente (Przystaś *et al.*, 2018).

Los basidiomicetos son un grupo de gran importancia, en particular, los hongos de la podredumbre blanca, que se caracterizan por su capacidad de degradar compuestos aromáticos y heterogéneos como la lignina de las plantas de una manera eficiente (Montoya *et al.*, 2014). Estos hongos poseen un complejo enzimático oxidante inespecífico, lo cual permite aplicaciones ambientales como en la biorremediación de moléculas tóxicas y recalcitrantes que posean estructura química similar (Hatakka, 1994).

Las enzimas que llevan a cabo la fragmentación de la lignina son llamadas enzimas ligninolíticas como las lacasas (E.C. 1.10.3.2) (Dávila y Vázquez-Duhalt, 2006), las cuales presentan una gran versatilidad ya que catalizan una amplia gama de sustratos entre ellos los colorantes artificiales. Una de las especies más estudiadas respecto a la producción enzimática ha sido *Pleurotus ostreatus,* usado para la degradación de algunos colorantes (El-Batal *et al.,* 2015) y también del género *Trametes* se han reportado varias especies debido a su producción simultánea de enzimas ligninolíticas como son manganeso peroxidasa, lacasa y lignina peroxidasa (de Oliveira, 2017).

Debido a la manera en que crecen los hongos generando micelio sobre matrices naturales se ha implementado la inmovilización de la biomasa fúngica como alternativa para su uso en diversas aplicaciones. La inmovilización de microorganismos es un proceso en el que se confina o localiza a las células en una región definida del espacio, mediante algún soporte (Najim *et al.*, 2024), para retener su actividad catalítica y que pueden ser reutilizadas repetidamente (Wingard, 2005). Algunas de las ventajas de la inmovilización de la biomasa es el aumento en la estabilidad, así como el fácil manejo y control del sistema (Hartmeier, 1985), pero también se presentan algunos inconvenientes como puede ser la alteración de la conformación celular, la pérdida de actividad y los costos elevados debido al soporte empleado (Martinek y Mozhaev*,* 1987).

Adicionalmente, se ha reportado que la inmovilización de la biomasa fúngica incrementa la resistencia del hongo al estrés ambiental, tales como la presencia de moléculas tóxicas a altas concentraciones. La inmovilización mejora la eficiencia de la decoloración de la biomasa debido a una disminución de la densidad de empaquetamiento de las fibras con la biomasa, en comparación con la biomasa fúngica libre (Przystaś *et al.*, 2018).

En general, los materiales para inmovilizar células deben cumplir requisitos como: ser de bajo costo, tener alta disponibilidad, no ser degradables y que sean aptos para condiciones variables de pH y temperatura (Bakoyianis *et al.,* 1992 y 1996; Bardi y Koutinas, 1994; Daria Fumi *et al.,* 1987). La fijación de las células en las matrices sólidas se realiza por el atrapamiento de las mismas en el seno de un material polimérico. Las matrices más adecuadas son polímeros naturales como el alginato, el carragenato y el agar ya que polimerizan en condiciones muy suaves, aunque también se pueden usar matrices sintéticas como poliacrilamida y poliuretano (Groboillot *et al.,* 1994). No obstante, al igual que otros métodos de inmovilización, éste presenta desventajas como son los posibles problemas de difusión de nutrientes y productos a través de la matriz porosa y la pobre resistencia mecánica de los soportes sólidos (Verbelen *et al.,* 2006).

El cultivo en medio sólido como método de inmovilización de biomasa ofrece la ventaja respecto a los cultivos sumergidos ya que simula las condiciones fisiológicas que se presentan en la naturaleza como gradientes de concentración, en este caso de contaminantes tóxicos, pero de igual manera gradientes de pH, de temperatura, un soporte para la fijación de la biomasa y menos problemas de limitación de oxigenación (Rodríguez-Gómez & López-Pérez, 2023).

A la hora de elección de un soporte de inmovilización de hongos, se prefiere un soporte natural que pueda promover alguna inducción enzimática, además que sea un residuo agroindustrial, lo cual significa que proviene de un proceso primario por lo cual no tiene un uso secundario en la industria agroalimentaria. Al encontrarse creciendo de manera natural sobre madera, los hongos basidiomicetos promueven la inducción enzimática sobre material lignocelulósico, en comparación con otros sustratos como basura (Sudarson *et al.*, 2014). En promedio los materiales lignocelulósicos se componen de 40-50% de celulosa, 25-40% de hemicelulosa y 25-35% de lignina y otros monómeros de menor proporción (Montoya *et al*., 2014)

En el Estado de Guanajuato, se cultiva maíz (*Zea mays*), del cual solamente el 50% de la cosecha se aprovecha como grano, por lo que se genera una gran cantidad de residuos del resto de la planta tales como caña, hoja, limbos y mazorca entre otros (Guzmán *et al*., 2011). La biomasa residual que genera un cultivo de maíz de grano puede fluctuar entre 20 a 35 toneladas por hectárea. Por otra parte, la especie *Eichhornia crassipes* (lirio acuático) representa un problema ambiental debido a su excesivo crecimiento, provocando la contaminación en ríos, lagos y lagunas. En la actualidad, está presente en 27 estados de la República Mexicana. Grandes lagos como el de Chapala, en Jalisco, o la Laguna de Yuriria, en Guanajuato, son ejemplos de cuerpos invadidos por el lirio.

El uso de espuma de poliuretano es un soporte sólido que ha sido ampliamente usado en procesos de fermentación de diversos productos incluyendo la producción de proteína recombinante y biomasa celular, siendo bastante usada en bacterias, hongos, y levaduras. La principal ventaja de su uso en cultivos en medio sólido es debido a que es inerte facilita la recuperación de productos de alto valor (Rodríguez-Gómez & López-Pérez, 2023).

En el presente trabajo se realizaron estudios de tamizaje de hongos, colorantes y soportes para implementar un sistema de inmovilización de las cepas 43 (*Trametes spp*.) y 38 (*Pleurotus ostreatus*) sobre un soporte sintético (espuma de poliuretano) comparado con un soporte orgánico (caña de maíz) con el objetivo de incrementar la remoción de colorantes textiles en agua en comparación con el hongo no inmovilizado (cultivo sumergido).

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

2.1 Reactivación de las cepas

Se seleccionaron las cepas con código interno 43 y 38 provenientes del cepario del Laboratorio de Diversidad e Interacción Microbiana (LDIM) del Instituto Tecnológico Superior de Irapuato (ITESI), debido a que según estudios cualitativos previos (Martínez *et al.*, 2017) presentan actividad lacasa, Los hongos se propagaron en medio agar papa dextrosa (PDA)) durante 7 días a temperatura ambiente (25 – 30 °C).

2.2 Degradación de colorantes en medio líquido con biomasa sin inmovilizar

Se realizaron cultivos en tubos Falcón de 50 ml conteniendo 30 ml de medio de cultivo. Los medios fueron preparados para lograr una concentración final de colorante azul o rojo, de manera independiente de 500, 1000 y 1500 ppm (606 azul mezclilla o 604 rojo escarlata de la marca Mariposa®). La formulación del medio de cultivo es la siguiente: (g/l): extracto de malta, 2; $(NH_4)_2SO_4$), 3.5; K_2HPO_4, 3; $MgSO_4$, 0.5; $CaCl_2$, 0.5; $MnSO_4$, 0.5. Los medios fueron inoculados con dos círculos de micelio de 9 mm de diámetro de las cepas crecidas en medio PDA, y posteriormente fueron incubados durante 20 días a 28 ± 2 °C con agitación a 130 rpm. Una vez transcurrido el tiempo de incubación se tomaron muestras del sobrenadante de cada uno de los experimentos y se midieron por espectrofotometría a 540 nm (Multiskan FC, de Thermo scientific). La longitud de onda fue seleccionada por un barrido de longitud de onda, y la obtención de la concentración en las muestras se realizó por medio de una curva de calibración del colorante. Se calculó el porcentaje de degradación del colorante por diferencia de concentraciones en los sobrenadantes (Conejo *et al*., 2020).

2.3 Cuantificación de la actividad lacasa

Se realizó la preparación de 4 diferentes medios de cultivo líquido con una variante en la fuente de carbono para inducir la producción enzimática. Se usó la formulación descrita en el punto 2.2 (sin colorante). El medio control contenía extracto de malta 2 g/l (EM), mientras que los otros medios no contenían extracto de malta sino infusiones de tres distintos residuos lignocelulósicos de manera individual: Lirio acuático (L), Rastrojo de Maíz (RM) y Caña de Maíz (CM).

Las infusiones de los residuos lignocelulósicos (1.5 g) se realizaron por ebullición de agua (150 ml) durante 15 min y agitación constante a 130 rpm. Posteriormente se sirvieron 30 ml de cada uno de los medios en tubos Falcón, se inocularon con dos círculos de micelio de 9 mm de diámetro de las cepas crecidas en medio PDA y por último fueron incubadas durante 15 días a temperatura ambiente con agitación a 130 rpm.

Al final del cultivo se evaluó la actividad lacasa, en el sobrenadante separado por filtración. Se tomaron 100 µl del sobrenadante de cada uno de los experimentos y se colocaron en un tubo Eppendorf, en el cual posteriormente se adicionaron 800 µl de buffer de acetato al 0.1 M y 100 µl de ABTS al 5 mM, se agitó vigorosamente y el contenido del tubo Eppendorf se trasladó a una celda para su lectura en espectrofotómetro a 420 nm (Multiskan FC de Thermo scientific) y se empleó la siguiente ecuación para el cálculo de la actividad enzimática (Manjarrés *et al.*, 2010).

$$Actividad\ volumétrica = m * \frac{250\,000}{9}$$

Donde m es la pendiente de cinética de reacción obtenida.

2.4 Inmovilización de la biomasa sobre el soporte sólido

Se prepararon los dos soportes: Se cortaron cubos de aproximadamente 1 cm^3 de los dos tipos de soportes, se secaron en horno a 60 °C por 12 h, se colocaron 0.5 g del soporte sintético, espuma de poliuretano (EPU) y 1.5 g del soporte orgánico, caña de maíz (CM), por separado en matraces Erlenmeyer de 125ml, la relación está dada de acuerdo a la altura del lecho que ocupaba cada uno de los soportes, tratando que ocuparan el mismo espacio; y finalmente se esterilizaron en autoclave. Posteriormente, a cada matraz se le adicionó medio líquido con extracto de malta según la formulación previamente descrita, (en ausencia de colorante) para el caso del soporte sintético se adicionaron 10 ml de medio por cada gramo de soporte y para el soporte orgánico fueron 20 ml de medio por gramo (para determinar el volumen del medio a agregar se realizaron pruebas de escurrimiento). Cada uno de los tratamientos se inoculó con 4 círculos de micelio de 9 mm de diámetro de cada una de las cepas crecidas en medio PDA y se incubaron a temperatura ambiente durante 20 días (López et al., 2009; Marín-Cervantes *et al*., 2008).

2.5 Degradación del colorante en medio líquido con la biomasa inmovilizada

Al final del cultivo, el soporte colonizado con cada cepa se trasladó a frascos de vidrio estériles con capacidad de 300ml, por lo cual se recopiló el material total de tres matraces para cada experimento (1.5 g de EPU, 4.5 g de CM) y se adicionaron 100 ml de una solución de colorante textil a una concentración de 1500 ppm, pasadas 24 h se retiró el líquido y se reemplazó con solución nueva. Las soluciones retiradas se evaluaron por espectrofotometría para obtener el porcentaje de eliminación de colorante.

2.6 Análisis de Infrarrojo con transformada de Fourier

El material final de los ensayos de caña de maíz con el hongo (las dos cepas) se analizaron mediante espectroscopia de

transmisión de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR) para constatar los grupos funcionales presentes en las muestras y con base en esto constatar la degradación del colorante de manera cualitativa. Se usaron controles: colorante, caña de maíz, caña de maíz con colorante, adicionalmente se retiró la biomasa con ayuda de solución SDS 10% a algunas muestras. Las muestras fueron secadas y pulverizadas en mortero de ágata (estas pruebas solo se realizaron al soporte orgánico (CM), puesto que el soporte sintético (EPU) no pudo ser pulverizado. La técnica que se utilizó para poner la muestra en el haz de Infrarrojo fue un soporte de ATR de diamante (marca Pike) por lo que la ventana fue de 4400 a 600 cm^{-1}. El equipo usado fue Spectrum RX-I (Perkin-Elmer).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Reactivación de las cepas

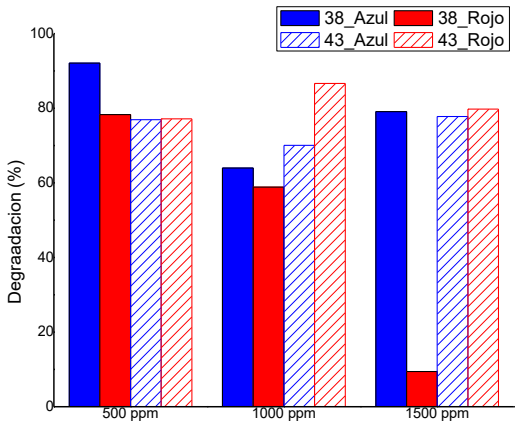
A partir de una colección de más de 40 hongos Basidiomicetos pertenecientes al ceparo de ITESI se seleccionaron las cepas 43 y 38, los cuales corresponden a los géneros *Trametes spp*. y *Pleurotus ostreatus* respectivamente. En estudios anteriores estas cepas habían presentado buena degradación de Rojo Congo (Vazquez-Jaime *et al.*, 2019).

3.2 Degradación de colorante en medio líquido con biomasa no inmovilizada

Se utilizó el medio de cultivo con extracto de malta y el colorante rojo o el azul en concentraciones que llegaron como máximo a 1500 ppm. Se realizaron los controles de crecimiento del medio de cultivo sin colorante y el control de decoloración que corresponde a los medios sin inocular, todos incubados bajo las mismas condiciones ambientales. Transcurridos 20 días de cultivo se midió la concentración de colorante en cada medio y se calculó el porcentaje de degradación.

En la Figura 1 se puede observar que las dos cepas tienen la capacidad de degradar los dos colorantes hasta la concentración de 1500 ppm. Dado el tiempo de cultivo, los dos colorantes fueron degradados, en inicio la mayor decoloración se observó en el medio con colorante rojo, sin embargo, a los 20 días, solamente se pudo evidenciar diferencias en la cepa 38 a 1500 ppm. Para el color rojo, la degradación fue mayor para la cepa 43 en 1000 y 1500 ppm. Ambas cepas mostraron porcentajes de degradación superiores a 70% en la solución de 500 ppm, tanto en el colorante rojo como en el azul, siendo más efectiva para ambos colorantes la cepa 38. En 1000 ppm se supera el 60% de degradación con ambas cepas y con ambos colorantes, la cepa 43 resultó ser más efectiva. Por último, para 1500 ppm, con el colorante azul, la cepa 38 obtuvo valores de degradación superiores a la cepa 43, mientras que, con el colorante rojo, la cepa 43 logró una mayor degradación. Debido a estos resultados, se eligió trabajar a 1500 ppm, para los experimentos con biomasa inmovilizada.

Figura 1.
Porcentajes de degradación obtenidos por cada una de las cepas en distintas concentraciones de colorante Rojo y Azul.



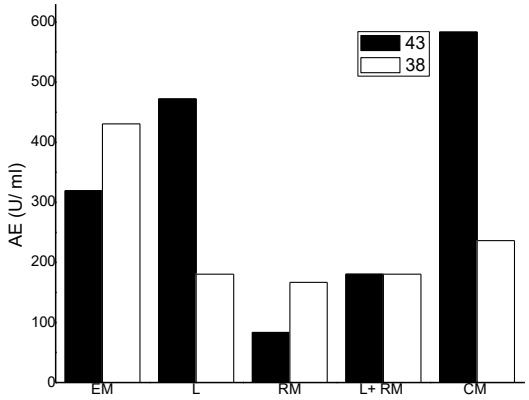
3.3 Cuantificación de actividad enzimática

La actividad enzimática se evaluó a partir de los sobrenadantes obtenidos del cultivo de los hongos crecidos en medios suplementados con extractos de residuos lignocelulósicos actuando como inductores de actividad enzimática. La Figura 2 corresponde a la actividad lacasa obtenida, siendo una estimulación variable de las cepas, dependiente del extracto inductor en cada medio de cultivo. Tomando como control el medio con extracto de malta, las dos cepas presentaron actividad lacasa similar, 400 y 300 U/ml, para la cepa 38 y 43, respectivamente. Al ser estimulados con extractos de residuos lignocelulósicos agregados al medio de cultivo, la respuesta de las dos cepas fue variables, en la cepa 38, la actividad disminuyó a la mitad en todos los casos, mientras que en la cepa 43, se logró aumentar a 472 U/ml en medio con lirio acuático y en caña de maíz hasta 600 U/ml.

Según estos resultados de actividad enzimática el extracto de malta favorece la producción de lacasas en la cepa 38, sin embargo, a pesar de su buena producción enzimática la degradación de colorantes de esta en algunos tratamientos fue superada por la cepa 43, por lo cual la efectividad de la degradación que mostraron podría estar relacionada con una diferente actividad de otras enzimas ligninocelulolíticas diferentes a las lacasas producidas bajo estas condiciones.

Esta prueba se usó como criterio para elegir el soporte para inmovilización de la biomasa, por lo cual se eligió la caña de maíz, debido a que el medio que contenía el extracto de ésta presentó la mayor actividad para ambas cepas de hongos. Esto podría estar directamente relacionado a que el tallo representa uno de los componentes más lignificados en la estructura de la planta del maíz (Ruilova y Hernández, 2016), en comparación con el rastrojo de maíz que es una mezcla de hojas y otras partes, además del tallo y del lirio acuático cuyo mayor componente es la hemicelulosa (Olofsson *et al.*, 2008).

Figura 2.
Relación entre la producción enzimática y la generación de biomasa de ambas cepas.



3.4 Degradación del colorante por la biomasa inmovilizada

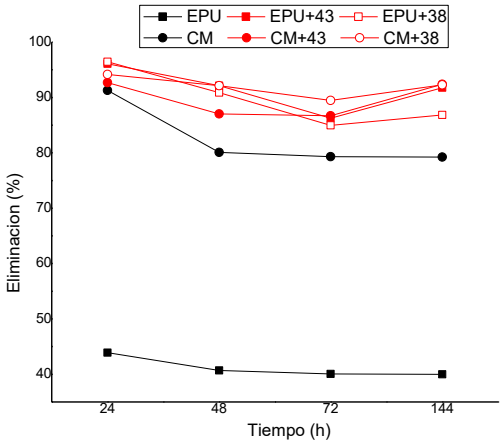
Para la inmovilización de los hongos se eligió la caña de maíz como residuo lignocelulósico, para ser comparado con un soporte sintético, la espuma de poliuretano. Fue más notable la colonización del soporte orgánico (Figura 3), ya que además de soporte puede tener la función inductora del material, mientras que, el soporte de poliuretano solamente brindó la estructura de soporte.

Figura 3.
Inmovilización de cepas en soporte caña de maíz con 20 días de incubación. Control: CM sin inocular (izquierda). Cepa 38 crecida sobre CM (en medio). Cepa 43 crecida sobre CM (derecha).

Posterior a la inmovilización de la biomasa, la cual consistió en el crecimiento de los hongos sobre los dos soportes, se retiró el exceso de líquido y la parte sólida se incubó con soluciones de colorante rojo por 24 h, la parte líquida se retiraba para su evaluación y se reemplazaba por solución de colorante nueva. Los resultados de los experimentos de decoloración con la biomasa inmovilizada se presentan en la Figura 4.

Los dos soportes favorecieron la degradación y eliminación del colorante posterior a cada recirculación. Las dos cepas lograron durante las 144 h del ensayo mantenerse siempre por encima del 85% de degradación al estar inmovilizadas en los dos soportes. En general se observa la capacidad de eliminación del colorante va disminuyendo progresivamente para ambos casos con cada recirculación, debido a la saturación no solo del soporte sino también de los sitios activos de las enzimas haciendo más lento el proceso de degradación.

Figura 4.
Degradación de colorante rojo escarlata (1500 ppm) obtenida con espuma de poliuretano (EPU) y caña de maíz (CM). El recambio de la solución de colorante se realizaba cada 24 h.



Ambos soportes tienen la capacidad de absorber colorante de manera natural, lo que se pudo observar al realizar el experimento con el soporte bajo las mismas condiciones, sin la biomasa inmovilizada. Sin embargo, esta adsorción del colorante es muy baja, en la espuma de poliuretano, de 40%, y en caña de maíz del 80%, confirmando que la degradación se lleva a cabo por la biomasa inmovilizada sobre el soporte. De cualquier manera, la adsorción de colorantes a soportes es un método útil, ya que en menos de 1 h se logra la saturación del mismo, incluso a concentraciones altas como las trabajadas aquí, pero realmente se está realizando una transferencia de contaminante de una fase líquida a una fase sólida, la cual posteriormente requerirá tratamiento, para remover realmente el contaminante recalcitrante, una alternativa en este caso es juntar los tratamientos con composteo de los soportes por un hongo Basidiomicete (Conejo *et al.*, 2020), ya que como se mencionó anteriormente, estos hongos tienen la capacidad de transformar plenamente el contaminante, no solamente de adherirlo a su biomasa.

Ya anteriormente se han probado otros soportes para la inmovilización de la biomasa y remoción de colorantes textiles, como polivinil-alcohol (PVA), donde se removió cerca del 75% del colorante azo hasta 500 ppm en 12 h (Chen *et al.*, 2003). Diorio *et al*. (2021) reportan haber utilizado polietileno plástico y lograron resultados variables según las condiciones probadas, entre 50-92% de remoción de tinte azoico xilidina y el trifenilmetánico verde de malaquita por dos cepas argentinas de *T. versicolor*. Przystaś *et al.* (2018) lograron la remoción cercana al 100% de verde brillante y azul Evans usando espuma de polietileno, polipropileno y poliestireno para inmovilizar la biomasa.

Por supuesto los resultados obtenidos en cada experimento son variables porque depende de cada sistema como la actividad de la biomasa fijada, el tipo de soporte, la estructura química y concentración del colorante en estudio. Otro factor que influye es el microorganismo en sí, ya que las características propias de cada cepa dependen de su contenido genético, el lugar del asilamiento y la actividad lacasa, en este caso aquí medida, resultó dependiente de varios factores incluyendo la inducción generada por los componentes del medio de cultivo y del soporte.

3.6 IR-FT

Los análisis de FTIR fueron realizados para confirmar la transformación del colorante adherido al soporte. Las Figuras 5a y 5b muestran los espectros obtenidos para las cepas 38 y 43, respectivamente.

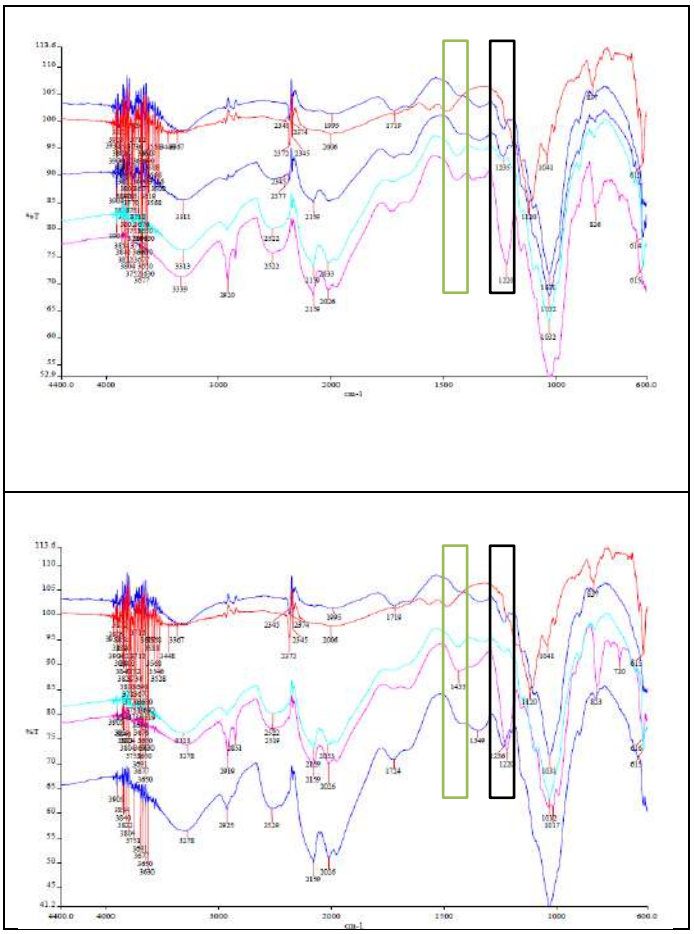
Existe una disminución de las señales presentes inicialmente en el intervalo 1400-1600 cm^{-1}, el cual indica grupos aromáticos; estas variaciones están relacionadas con la degradación de los colorantes (Ahmed *et al.*, 2016). Al comparar los espectros de las dos cepas, la línea de color rosa (CM con colorante degradado, sin biomasa) respecto a las otras líneas, se presenta la principal diferencia en la señal entre 1220 y 1235 cm^{-1}, el cual se relaciona con enlaces C-N, en las dos cepas (cuadro de color negro).

La señal alrededor de 1435 cm^{-1} en el colorante es característica del grupo aromático (cuadro verde), se puede evidenciar en el colorante (línea roja) y en el residuo CM con colorante (color cian), sin embargo, es enmascarado cuando la biomasa está ligada al sistema ya que se observa la forma idéntica a cuando no se ha agregado el colorante (CM=línea azul), sin embargo, al retirar la biomasa con SDS (línea rosa) se vuelve a observar la presencia de dicha señal, solamente en la cepa 38, ya que en la cepa 43 se observa que ya no existe este componente.

Éste estudio ayudó a confirmar el efecto degradativo realizado sobre el colorante por los dos hongos. El sistema de ensayo solamente permitía verificar la desaparición del colorante en el líquido recirculado y al ser un cultivo sólido solamente se observaba a simple vista la fijación del color por la biomasa fúngica y la adsorción del colorante sobre la caña de maíz. Los resultados de FT-IR permitieron confirmar una mayor degradación de enlaces tipo del colorante rojo por la cepa 43 que la cepa 38.

Por otro lado, se observa que las señales presentes en los espectros varían en las dos cepas, estos resultados sugieren que, si bien ambas cepas degradaron el colorante de manera similar, de acuerdo a resultados visuales y de espectrofotometría, cada una posee enzimas de distinta naturaleza y posiblemente las rutas de degradación y transformación del colorante son diferentes, generando diferencia en la estructura química de los subproductos dentro del sistema biomasa-soporte-colorante, y es así como pueden detectarse en el espectro.

Figura 5.
Análisis FT-IR de cepa 38 (5a. arriba), cepa 43 (5b. abajo). CM (Línea azul superior), colorante rojo (línea roja), CM + colorante (línea cian), CM+ colorante + hongo (línea azul), CM+ colorante + hongo eliminado (línea azul inferior).



IV. CONCLUSIONES

La inmovilización de las cepas 38 y 43 permitió el 90% de la degradación del colorante rojo a concentración de 1500 ppm en 24 h. Contrario a biomasa sin inmovilizar, donde se obtuvo porcentajes de 10 hasta 80% de degradación después de 20 días de cultivo. Se comprobó que el efecto es logrado por la biomasa de los hongos fijada al soporte por su actividad lacasa y no solamente por un efecto de adsorción del colorante por el soporte. Con la biomasa inmovilizada se logró mantener estable la degradación por encima del 80% al menos durante 144 h, de recirculaciones cada 24 h. La cepa 43 que tiene mayor actividad lacasa demostró una mayor alteración en los grupos aromáticos por FT-IR, contrario a lo observado en la cepa 38. Basado en estos resultados se implementará un sistema de cultivo con recirculación permanente del efluente textil usando caña de maíz como soporte e inductor de actividad lacasa.

V. AGRADECIMIENTOS

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, por todas las facilidades prestadas para la realización de este trabajo. Tecnológico Nacional de México proyecto 10278.21-PD por el financiamiento.

VI. REFERENCIAS

Ahmed, F., Dewani, R., Pervez, M. K., Mahboob, S. J., Soomro, S. A. (2016). Non-destructive FT-IR analysis of mono azo dyes. *Bulgarian Chemical Communications.* 48(1), 71 – 77.

Bakoyianis, V., Kanellaki, M., Kaliafas, A. Koutinas, A. A. (1992). Low temperature wine making by immobilized cells on mineral Kissiris. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 40(7), 1293–1296. https://doi.org/10.1021/jf00019a042

Bakoyianis, V. & Koutinas, A. A. (1996). A catalytic multistage fixed-bed tower bioreactor in an industrial-scale pilot plant for alcohol production. *Biotechnology and Bioengineering*. 49(2), 197–203. https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0290(19960120)49:2<197::AID-BIT8>3.0.CO;2-L

Bardi, E. P. & Koutinas, A. A. (1994). Immobilization of yeast on delignified cellulosic material for room temperature and low temperature wine-making. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 42(1), 221–226. https://doi.org/10.1021/jf00037a040

Chen, K. C., Wu, J. Y., Huang, C. C., Liang, Y. M., & Hwang, S. C. J. (2003). Decolorization of azo dye using PVA-immobilized microorganisms. *Journal of Biotechnology*. *101*(3), 241-252. https://doi.org/10.1016/S0168-1656(02)00362-0

Conejo Moreno, F. B., Rodríguez Nava, C.O., Rodríguez-Gómez, D. (22-24 octubre de 2020) Adsorción y degradación de colorantes textiles por *Trametes hirsuta* mediante 2 sistemas de fermentación en estado sólido utilizando *Typha latifolia* (totora). *Memorias del XLI Encuentro Nacional de la AMIDIQ*. Modalidad virtual.

Daria Fumi, M., Trioli, G. & Colagrande, O. (1987). Preliminary assessment on the use of immobilized yeast cells in sodium alginate for sparkling wine processes. *Biotechnology Letters*. 9(5), 339–342. https://doi.org/10.1007/BF01025800

Dávila G. y Vázquez-Duhalt R. (2006). Enzimas Ligninolíticas Fúngicas Para Fines Ambientales. Flores Herrera, O., Rendón Huerta, E., Velázquez López, I., Oria Hernández, J. (Ed). *Mensaje Bioquímico.* 30, 29-55.

de Oliveira Carneiro, R. T., Alves Lopes, M., Cardoso Silva, M. L., da Silva Santos, V., de Souza, V. B., de Sousa, A. O., ... & Neto, A. G. (2017). *Trametes villosa* lignin peroxidase (TvLiP): genetic and molecular characterization. *Journal of microbiology and biotechnology*. 27(1), 179-188. http://dx.doi.org/10.4014/jmb.1606.06055

Diorio, L. A., Fréchou, D. S., Levin, L. N. (2021). Removal of dyes by immobilization of *Trametes versicolor* in a solid-state micro-fermentation system. *Revista Argentina de Microbiología. 53*(1), 3-10. https://doi.org/10.1016/j.ram.2020.04.007

Dutta, S., Adhikary, S., Bhattacharya, S., Roy, D., Chatterjee, S., Chakraborty, A., ... & Rajak, P. (2024). Contamination of textile dyes in aquatic environment: Adverse impacts on aquatic ecosystem and human health, and its management using bioremediation. *Journal of Environmental Management. 353*, 120103. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120103

El-Batal, A. I., ElKenawy, N. M., Yassin, A. S., Amin, M. A. (2015). Laccase production by *Pleurotus ostreatus* and its application in synthesis of gold nanoparticles. *Biotechnology Reports. 5*, 31-39. https://doi.org/10.1016/j.btre.2014.11.001

Fernandes, M., Fernandes, R. D., Padrão, J., Melro, L., Alves, C., Rodrigues, R., ... & Zille, A. (2024). Plasma in textile wastewater treatment. In *Advances in Plasma Treatment of Textile Surfaces.* 267-322. Woodhead Publishing. https://doi.org/10.1016/B978-0-443-19079-7.00008-7

Groboillot, A., Boadi, D. K., Poncelet, D., Neufeld, R. J. (1994). Immobilization of cells for application in the food industry. *Critical reviews in biotechnology. 14*(2), 75-107. https://doi.org/10.3109/07388559409086963

Gupta V. K. Suhas. (2009). Application of low-cost adsorbents for dye removal. A review. *Journal of environmental Management*. 90(8), 2313-2342. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.11.017

Guzmán-Soria, E., Rebollar-Rebollar, S., Hernández-Martínez, J., García-Salazar, J. A., Garza-Carranza, M. T. de la, Callejas-Juárez, N., & Terrones-Cordero, A. (2011). La oferta de maíz grano en Guanajuato, México: 1980-2009. *Tropical and subtropical agroecosystems. 14*(3), 857-866. Recuperado el 03 de julio de 2024. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-04622011000300029&lng=es&tlng=es.

Hartmeier, W. (1985). Immobilized biocatalysts: from simple to complex systems. *Trends in Biotechnology*. 3(6), 149-153. https://doi.org/10.1016/0167-7799(85)90104-0

Hatakka, A. (1994). Lignin-modifying enzymes from selected white-rot fungi: production and role from in lignin degradation. *FEMS Microbiology Reviews. 13*(2-3), 125-135. https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.1994.tb00039.x

Karimifard, S., & Moghaddam, M. R. A. (2018). Application of response surface methodology in physicochemical removal of dyes from wastewater: a critical review. *Science of the Total Environment. 640*, 772-797. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.355

López, M., Loera, O., Guerrero-Olazarán, M., Viader-Salvadó, J. M., Gallegos-López, J. A., Fernández, F. J., ... & Viniegra-González, G. (2010). Cell growth and *Trametes versicolor*

laccase production in transformed *Pichia pastoris* cultured by solid-state or submerged fermentations. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology. 85*(4), 435-440. https://doi.org/10.1002/jctb.2306

Manjarrés, K., Castro, A., Rodríguez Sandoval, E. (2010). Producción de lacasa utilizando *Pleurotus ostreatus* sobre cáscaras de plátano y bagazo de caña. *Revista Lasallista de investigación. 7*(2), 9-15.

Marin-Cervantes, M. C., Matsumoto, Y., Ramírez-Coutiño, L., Rocha-Pino, Z., Viniegra, G., & Shirai, K. (2008). Effect of moisture content in polyurethane foams as support for solid-substrate fermentation of *Lecanicillium lecanii* on the production profiles of chitinases. *Process Biochemistry. 43*(1), 24-32. https://doi.org/10.1016/j.procbio.2007.10.009

Martinek, K.; Mozhaev, V. V. (1987). Immobilization of enzymes: an approach to fundamental studies in biochemistry. Meister A. (Ed) Advances in Enzymology - and Related Areas of Molecular Biology. https://doi.org/10.1002/9780470123034.ch3

Martínez, G., Martinez, L., López-Ramírez, V., Rodríguez-Gómez, D. (25-30 de junio de 2017). *Evaluación cualitativa de la producción de lacasas y peroxidasas en cepas de hongos aislados de suelo de diferentes ambientes.* XVII Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería, Puerto Vallarta, México.

Montoya S., Sánchez O. & Levin L. (2014). Evaluation of endoglucanase, exoglucanase, laccase, and lignin peroxidase activities on ten white-rot fungi. *Biotecnologia en el sector Agropecuario y agroindustrial. 12*(2), 115-124.

Najim, A. A., Radeef, A. Y., al-Doori, I., & Jabbar, Z. H. (2024). Immobilization: the promising technique to protect and increase the efficiency of microorganisms to remove contaminants. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*. https://doi.org/10.1002/jctb.7638

Przystaś, W., Zabłocka-Godlewska, E., Grabińska-Sota, E. (2018). Efficiency of decolorization of different dyes using fungal biomass immobilized on different solid supports. *Brazilian journal of microbiology. 49*, 285-295. https://doi.org/10.1016/j.bjm.2017.06.010

Olofsson, K., Bertilsson, M., Liden, G. (2008). A short review on SSF - an interesting process option for ethanol production from lignocellulosic feedstocks. *Biotechnology for Biofuels. 1*, 1-14. https://doi.org/10.1186/1754-6834-1-7

Rodriguez-Gomez, D., López Pérez, M. (2023) Polyurethane foam used in solid state-fermentation for recombinant proteins and other metabolites productions: An interesting alternative in biotechnology. In: Wythers M. C. (Ed.) *Advances in Materials Science Research.* 61 (1).

Ruilova, M., & Hernandez, A. (2016). Diseño de sustratos de diferente composición físico-química utilizando el programa de mezclas de residuos agrícolas para el cultivo del hongo *Pleurotus Ostreatus*. *Revista de Investigación Talentos. 3*(2), 30-35. Recuperado el 03 de julio de 2024. https://talentos.ueb.edu.ec/index.php/talentos/article/view/60

Sinharoy, A., & Chung, C. M. (2024). Fluoride removal from wastewater and potential for resource recovery: Comparative studies between different treatment technologies. *Environmental Engineering Research*. 9 https://doi.org/10.4491/eer.2024.179

Sudarson, J., Ramalingam, S., Kishorekumar, P., Venkatesan, K. (2014). Expeditious quantification of lignocellulolytic enzymes from indigenous wood rot and litter degrading fungi from tropical dry evergreen forests of Tamil Nadu. *Biotechnology research international*. Article ID 127848. http://dx.doi.org/10.1155/2014/127848

Vazquez-Jaime, L., Rodríguez Nava, C. O. Rodríguez-Gómez, D. (23-28 de junio de 2019). Comparación de sistemas de cultivo para la decoloración de rojo Congo con hongos aislados del Estado de México. *Memorias del XVIII Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería. León, Guanajuato, México.*

Verbelen, P. J., De Schutter, D. P., Delvaux, F., Verstrepen, K. J., Delvaux, F. R. (2006). Immobilized yeast cell Systems for continuous fermentation applications. *Biotechnology Letters.* 28, 1515-1525. https://doi.org/10.1007/s10529-006-9132-5

Wingard, L. B. (2005). Enzyme Engineering. In *Advances in Biochemical Engineering, Volume 2* (pp. 1-48). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/BFb0006665

VII. AUTORES

Laura Lizeth Vazquez Jaime

https://orcid.org/0009-0007-8718-8075

Odin Rodríguez Nava

https://orcid.org/0000-0002-7925-3814

Quetzatcoatl Enrique Saavedra Arroyo

https://orcid.org/0000-0001-5810-3916

Divanery Rodríguez Gómez

https://orcid.org/0000-0002-4457-5338

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

Sistema Web para la Gestión de las Titulaciones de Posgrado del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo

Rodríguez-Lozano, K.V. [1], Moreno-Núñez, Elda[1] ✉ , Flores-Luevanos, M.G.[1]

Datos de Adscripción:
[1] Tecnológico Nacional de México, Campus Lerdo / Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Av. Tecnológico No. 1555 Sur. Periférico Gómez - Lerdo. Km. 14.5, Ciudad Lerdo, Estado de Durango. C.P. 35150. México.

✉ elda.mn@lerdo.tecnm.mx

Resumen **- Las aplicaciones web son un recurso tecnológico valioso empleado por empresas y entidades como medio de comunicación ágil. Los sistemas web permiten a los usuarios acceder a la información, de forma eficiente y desde cualquier ubicación, con tan solo una conexión básica a internet. En el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, se realiza un seguimiento de los estudiantes de posgrado que están desarrollando su tesis. En este proceso participan los profesores de la institución que son asesores de los tesistas y evaluadores en los comités tutoriales. Durante este proceso, se evalúa el progreso de la investigación, se retroalimenta a los estudiantes y se realizan sugerencias para mejorar el trabajo. Por lo anterior, surge la necesidad de proporcionar a la institución un sistema web para el seguimiento y evaluación de los alumnos que están realizando una tesis de posgrado en el Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Este proyecto implica el desarrollo de un sitio web que ofrecerá servicios en línea tanto a profesores, a estudiantes y al jefe de posgrado. El proyecto se divide en módulos para atender a los diferentes usuarios y se implementa la metodología ágil para el desarrollo del software. El alcance de este proyecto es el diseño de un nuevo procedimiento dentro del sistema de gestión de calidad del Instituto y el software se integrará a las políticas de operación.**

Palabras Clave: Aplicación Web, Posgrado, SCRUM, Sistema Web, Tesis

Abstract **- Web applications are a valuable technological resource employed by companies and entities as a means of agile communication. Web systems allow users to access information efficiently and from any location, with just a basic internet connection. At the Instituto Tecnologico Superior de Lerdo, tracking of postgraduate students who are developing their thesis is conducted. This process involves the institution's professors who act as advisors to the thesis students and evaluators in tutorial committees. During this process, the progress of their research is evaluated, students are provided with feedback, and suggestions are made to improve their work. Hence, the need arises to provide the institution with a web system for the monitoring and evaluation of students who are carrying out a postgraduate thesis at the Technological Institute. This project involves the development of a website that will offer online services to professors, students, and the head of postgraduate studies. The project is divided into modules to cater to different users, and an agile methodology is implemented for software development. The scope of this project is the design of a new procedure within the Institute's quality management system, and the software will be integrated into operational policies.**

Keywords: Postgraduate, SCRUM, Thesis, Web Application, Web System

I. INTRODUCCIÓN

En el contexto actual, las tecnologías de la información y comunicación (TIC) desempeñan un papel crucial como motor de innovación y modernización en los sistemas educativos universitarios, abarcando la docencia, la investigación y la gestión. Además, las TIC son fundamentales en las diversas formas de acceso a la información y al conocimiento, permitiendo la recuperación, difusión y aprendizaje de numerosos recursos y contenidos, tales como documentos académicos, publicaciones electrónicas, colecciones digitales de bibliotecas y bases de datos (Huaman, 2018). La gestión en las instituciones educativas con la finalidad de lograr los objetivos institucionales necesita recopilar información y almacenarla adecuadamente (Córdova & Paulini, 2020). Esto requiere aplicaciones que manejen diversos aspectos, como el ingreso de estudiantes, la planificación académica, la gestión documental, la producción científica, la admisión y matrícula, la biblioteca, el gobierno, y la investigación e innovación, entre otros. Muchas universidades utilizan aplicaciones desarrolladas por proveedores externos, sin embargo, con el tiempo, se hace necesario personalizar y adaptar estas aplicaciones a las necesidades específicas de la universidad (Saldaña & Zuñiga, 2015).

En el Instituto Tecnológico Nacional de México se cuentan con diversas aplicaciones web desarrolladas internamente. Dentro de estos sistemas destaca el Sistema Web para la Gestión del Proceso de Residencias Profesionales (SIGEPORE), el cual lleva el control de todo el proceso de prácticas profesionales de los alumnos de licenciatura, donde los asesores internos y externos dan seguimiento a los alumnos por medio de evaluaciones. Cabe mencionar que este sistema web fue desarrollado a inicios del año 2020 teniendo éxito en su implementación principalmente por el confinamiento derivado del COVID-19. Este sistema fue adherido a las normas de operación de la ISO 9001:2015, bajo la cual actualmente opera esta institución. Así mismo, destaca el registro de software ante el Instituto Nacional del Derecho de Autor (Rodríguez, Moreno, Arzola y Flores, 2021). El SIGEPORE abrió las puertas para poder desarrollar otros sistemas que permitan gestionar los diferentes procesos que aquí se tienen.

La gestión de los tesistas dentro del departamento de posgrado en el Tecnológico Nacional de México, campus Lerdo, se realiza de diversas maneras, generalmente transcribiendo la información de un lugar a otro. El proceso comienza con anotaciones en

papel, que posteriormente se ingresan en Word, Excel u otro software de gestión. El seguimiento y evaluación de los alumnos que están realizando su tesis en el Instituto es responsabilidad de los profesores, quienes actúan como asesores o formando parte de un comité tutorial. Ellos son los encargados de revisar y evaluar la tesis de cada alumno. El proceso de tesis dura aproximadamente cuatro semestres, durante los cuales a cada alumno se le asigna un profesor que lo acompañará en el diseño y ejecución de su tesis llevando a cabo un seguimiento semanal de cada tesista asignado, evaluando su progreso mediante sesiones del comité tutorial. Este comité, definido por el jefe de posgrado, asigna a los profesores que participarán como evaluadores. La problemática radica en que, al ser un proceso que incluye varios participantes, puede resultar en un seguimiento lento, afectando el tiempo y la acreditación de la tesis del alumno. Este método resulta tedioso y lento, lo que provoca errores, pérdida de tiempo y dificultades para buscar y obtener información.

Con lo antes expuesto, surge el propósito de proporcionar a la institución un sitio web para el seguimiento y evaluación de los alumnos que estén realizando una tesis de nivel de Posgrado del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo (SIGPOS), que permita a los docentes tutores, al jefe de carrera y a los miembros del comité tutorial obtener información precisa. Esto optimizará recursos y tiempo, facilitando la entrega de tesis dentro del plazo establecido por la institución y mejorando la eficiencia del trabajo académico. El sitio web agiliza el proceso de asignación de profesores a los alumnos que realizarán su tesis. Con este proyecto, los profesores pueden realizar un seguimiento al avance que han tenido sus alumnos tesistas, y a su vez, puede dar retroalimentación en el mismo sitio web. Esto ayuda a mostrar la información, tanto el profesor que actúa como asesor y forma parte de un comité, así como también al alumno y jefe de división, quien se encarga de administrar el proceso de la evaluación.

La creación de este sitio web se llevará a cabo utilizando PHP y HTML5, donde HTML5 proporcionará una interfaz clara y sencilla, facilitando la interacción del usuario, mientras que PHP gestionará las operaciones y la visualización de datos. Para el diseño, se empleará el framework Bootstrap, que contribuirá a una estética atractiva y una organización intuitiva del sitio. La información se almacenará utilizando MySQL como sistema de gestión de bases de datos, debido a su eficiencia y confiabilidad. Además, se diseñarán objetos en la base de datos que interactúen con la página web, asegurando que todas las operaciones se realicen en el servidor para mantener la integridad de los datos y prevenir errores futuros. Finalmente, todos los módulos serán integrados y montados en un servidor web, poniendo en marcha un sitio completamente operativo y accesible.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

2.1 Marco conceptual

A. Front-End

El front-end, conocido como aplicación cliente, se centra en el desarrollo de la interfaz visual de un sitio web, que incluye la estructura y los estilos, las animaciones y efectos. Esta parte visual del sitio es la que permite interactuar con los usuarios ya que se ejecuta el código en el navegador del usuario. Un desarrollador front-end se especializa en el diseño web, pero también trabaja con código, al igual que los desarrolladores back-end (Gauchat, 2017). Los lenguajes principales utilizados en el front-end son:

- HTML (Hypertext Markup Language): Emplea etiquetas para dar estructura y organizar el contenido de la web.
- CSS (Cascading Style Sheets): Maneja el formato y diseño visual de las páginas web creadas con HTML.
- JavaScript: Es un lenguaje de programación que aporta dinamismo y funcionalidades interactivas a los sitios web, y se utiliza en una variedad de dispositivos y aplicaciones.

(Gauchat, 2017).

Además de estos lenguajes, existen numerosos frameworks y bibliotecas que potencian el desarrollo de interfaces de usuario, entre las que destacan Bootstrap, React, Redux y Angular.

B. Bootstrap

Bootstrap es un conjunto de herramientas de CSS y JavaScript enfocado en facilitar la creación de interfaces web adaptables. Este framework es conocido por su gran colección de recursos y capacidades que habilitan la construcción de una diversidad de páginas web. Bootstrap se ha establecido como una de las alternativas más elegidas para el desarrollo web y de aplicaciones, destacándose por su flexibilidad para ajustarse a diferentes tamaños de pantalla. Esto resulta crucial en un contexto donde el acceso a Internet desde dispositivos móviles como smartphones y tablets es cada vez más común (Axarnet, 2017).

C. PHP

PHP es un lenguaje de programación tradicional que utiliza elementos como variables, estructuras de control, bucles y funciones. A diferencia de los lenguajes de marcado como HTML o XML, PHP se asemeja más a lenguajes como JavaScript o C. Es importante destacar que PHP opera en el servidor, lo que significa que puede interactuar con recursos del servidor, como bases de datos. Cuando se ejecuta un script PHP, el servidor procesa el código y envía el resultado al navegador del usuario, que generalmente es una página HTML, aunque también podría ser WML. La compatibilidad de PHP no depende del navegador del usuario, ya que se procesa en el servidor. No obstante, es crucial que el servidor admita PHP para que las páginas desarrolladas en este lenguaje funcionen correctamente (Rubiales, 2020)

D. JavaScript

JavaScript es empleado en sitios web para complementar las limitaciones de HTML, mejorando así la funcionalidad y la interacción con el usuario. El código JavaScript se ejecuta directamente en el navegador del usuario, sin necesidad de procesamiento por parte del servidor web. Esto lo distingue de lenguajes como PHP o ASP, que operan en el servidor. JavaScript, siendo un lenguaje del lado del cliente, permite crear scripts para páginas web que reaccionan a acciones del usuario (Rubiales, 2020).

E. MySQL

MySQL, un sistema de gestión de bases de datos relacional y de código abierto, se cuenta entre las opciones más utilizadas a nivel mundial. Es un motor optimizado para aplicaciones web que organiza la información en tablas estructuradas, las cuales incluyen elementos como campos, índices y llaves foráneas, además de mantener la integridad referencial mediante actualizaciones y borrados en cascada. Opera mediante SQL, permitiendo ejecutar diversas operaciones de datos (Grippa & Kuzmichev, 2021). Sus funcionalidades clave incluyen:

- Autenticación de usuarios con permisos detallados.
- Optimización de memoria y caché para mejorar el rendimiento de consultas específicas.
- Conectores que facilitan la integración con lenguajes como PHP, Perl, Python y ODBC.
- Replicación de datos para garantizar la consistencia y disponibilidad.
- Monitoreo exhaustivo de usuarios, transacciones y recursos del sistema.
- Triggers (disparadores) para automatizar tareas basadas en eventos de la base de datos.

(Navia, 2018)

2.2 Metodología implementada

La metodología establecida para la gestión de la aplicación es Scrum, que optimiza el trabajo en equipo. Esta es una metodología ágil comúnmente utilizada para la gestión de proyectos de software y tecnología. Su objetivo es gestionar proyectos complejos cuyos requisitos pueden cambiar con el tiempo, basándose en la transparencia, inspección y adaptación (Montes, 2019). Se enfoca en la colaboración y la entrega de un producto cuyo valor incrementa conforme se desarrolla. Scrum opera mediante Sprints, en los cuales se planifican las tareas que se asignan al equipo de desarrollo. Estas tareas deben cumplirse dentro del ciclo del Sprint, que se ha establecido con una duración máxima de una semana. Una vez completadas las tareas, se presentan al Scrum Master, quien las revisa y proporciona retroalimentación. Posteriormente, se realizan los ajustes necesarios en el proyecto y se inicia un nuevo Sprint (Okhosting.com, 2016).

Esta metodología se estructura en cinco fases que se explicarán a continuación, las cuales proporcionan una visualización clara del avance del proyecto y garantizan que el equipo de trabajo se enfoque en metas a corto plazo (Atencio, 2016).

1.- Inicio

En esta primera fase la actividad principal fue estudiar, analizar y definir las necesidades básicas del sprint, se define la dirección, los objetivos y la finalidad del proyecto. Se definió quien ocupará el puesto de Scrum Master y los stakeholders, formando equipos pequeños de 2 personas para facilitar la comunicación. Así mismo, se crea el listado de características, funcionalidades y tareas a desarrollar del sistema tomando en cuenta la priorización (Arias, 2005). Para finalizar se consideraron los aspectos técnicos para el lanzamiento, seleccionando PHP y JavaScript como lenguajes de programación para el desarrollo del Backend de la aplicación web, el gestor MySQL como gestor de datos y HTML5 con el Framework Bootstrap para el desarrollo del Frontend.

El proyecto tiene como objetivo general, el desarrollar un sitio web para el control y seguimiento de tesistas del área de Posgrado del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Sus objetivos específicos son:

- Realizar una página web en PHP y HTML5. Se utilizará HTML5 para crear una estructura sencilla y fácil de interpretar para el usuario, y PHP para realizar operaciones y mostrar la información deseada.
- Utilizar el framework Bootstrap para el diseño de la página web. Se empleará Bootstrap para mejorar la organización y el diseño del sitio web, haciéndolo más estético e intuitivo para los usuarios.
- Utilizar MySQL como sistema gestor de base de datos. Se elegirá MySQL para almacenar la información, asegurando que los datos se gestionen de manera eficiente y segura.
- Diseñar objetos en la base de datos para su interacción con la página web. Los objetos de la base de datos se diseñarán para que las operaciones se realicen del lado del servidor, asegurando la actualización y gestión de datos sin errores futuros.
- Montar e integrar todos los módulos en un sitio web. Una vez finalizado el desarrollo, el sitio web se alojará en un dominio de un servidor, completando así el proceso y garantizando su funcionalidad.

2.- Planificación y estimación

En esta fase, el Scrum Master definió las funcionalidades del proyecto que se esperaban realizar por parte de cada equipo de trabajo definiendo un plazo de entrega y enlistando las tareas que se deben realizar.
Los requerimientos funcionales, que se detallan a continuación, especifican el comportamiento esperado del sistema. Estos ayudan a establecer las acciones y reacciones necesarias para cumplir con las expectativas del usuario, dividiéndose en dos aspectos fundamentales: la funcionalidad y la conducta del sistema (Pressman, 2010).

RF1 Personalización de Cuenta: Los usuarios podrán actualizar su información personal, incluyendo nombre de usuario, contraseña y otros datos generales.
RF2 Acceso Seguro: Los usuarios tendrán la capacidad de ingresar al sistema utilizando su nombre de usuario y contraseña asignados previamente.
RF3 Creación y Gestión de Comités: El jefe de división tendrá la capacidad de formar comités de seguimiento, seleccionando al tesista y estableciendo la fecha y hora de las reuniones. Además, podrá asignar a los miembros participantes del comité.
RF4 Visualización de Evaluaciones: Tanto el jefe de división como los profesores y tesistas podrán acceder y revisar las evaluaciones emitidas por el comité seleccionado.
RF5 Registro de Tesistas: El jefe de división podrá generar un registro detallado de los tesistas activos, sus proyectos de tesis

y los asesores internos asignados, incluyendo la información del comité, con la opción de imprimir este registro.

RF6 Asignación de Líneas de Investigación: Los profesores podrán asignar a tesistas líneas de investigación que se alineen con las necesidades y requerimientos del proyecto de tesis.

RF7 Acceso a Información de Tesistas: Los usuarios de posgrado tendrán la posibilidad de visualizar los datos de los tesistas registrados en el sistema, identificar a sus asesores internos y conocer las fechas de las reuniones programadas.

RF8 Observación de Sesiones: Se permitirá a los usuarios de posgrado observar las sesiones de trabajo entre los asesores internos y los tesistas, así como también monitorear el estado de los tesistas en espera de aceptación.

Los requisitos no funcionales detallan las cualidades técnicas y características que el software debe poseer, ofreciendo una perspectiva técnica que revela las capacidades intrínsecas del sistema (Pressman, 2010). A continuación, se presentan los requisitos no funcionales del proyecto:

RNF1. Interfaz de usuario: La interfaz del usuario es sencilla de comprender, rápida y eficiente cumpliendo las reglas de usabilidad (UX).

RNF2. Disponibilidad: El sistema debe tener una disponibilidad del 99.99% (menos de 1 hora de tiempo de inactividad por año).

RNF3. Confiabilidad : Es un sistema confiable con manejo de excepciones que permite trabajar con los datos cubriendo con los errores básicos como duplicado de datos, cargas dobles de peticiones, información incompleta, esto se cubre con el uso de excepciones, advertencias, validaciones, entre otras herramientas.

RNF4. Seguridad: El software cuenta con sistema de inicio de sesión con cifrado de datos para la contraseña, por parte de una librería.

RNF5. Interoperabilidad: Es compatible con múltiples tipos de navegadores (Chrome, Mozilla Firefox, Edge, Safari)

RNF6. Mantenimiento: El código debe estar documentado de manera puntual en partes de código extensas o complejas

RNF7. Escalabilidad : El sistema cuenta con una estructura que permite manejar una cantidad de datos mayor ya considerada previamente.

3.- Implementación

En esta fase, se implementaron todas las tareas realizadas por distintos equipos para unificarlas para ver su funcionalidad y pulir el trabajo realizado. En esta etapa también, se entregaron los resultados de cada sprint para su implementación, estos entregables fueron el código funcional, diagramas, diseños de interfaces para usuario y documentación técnica.

En esta fase del desarrollo, es crucial el análisis detallado que se realizó para definir los objetivos y metas deseados. Una vez establecidos, se procede a planificar cada sprint de ejecución. Para facilitar la comprensión y gestión del equipo, resulta sumamente útil disponer de un diagrama que represente visualmente cada funcionalidad como un objeto, indicando su origen, las funciones que realiza y su destino final. Esto se puede lograr mediante un diagrama de casos de uso, que se elabora en base a los requisitos funcionales del proyecto. Dentro de las siguientes tres figuras, se presentan los casos de uso de los usuarios del sistema, el tesista, profesor y el jefe de posgrado. En estas figuras se puede ver las interacciones que tendrá cada usuario con el sistema.

Figura 1
Caso de uso Tesista

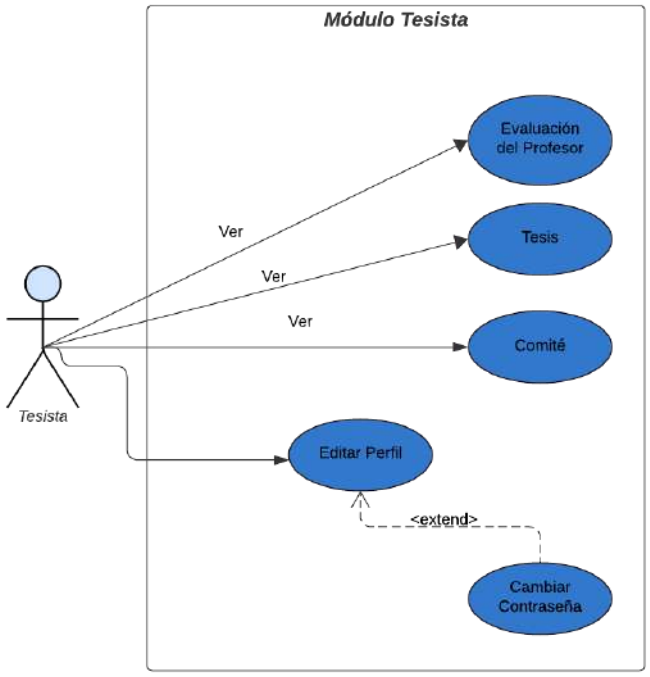


Figura 2
Caso de uso Profesor

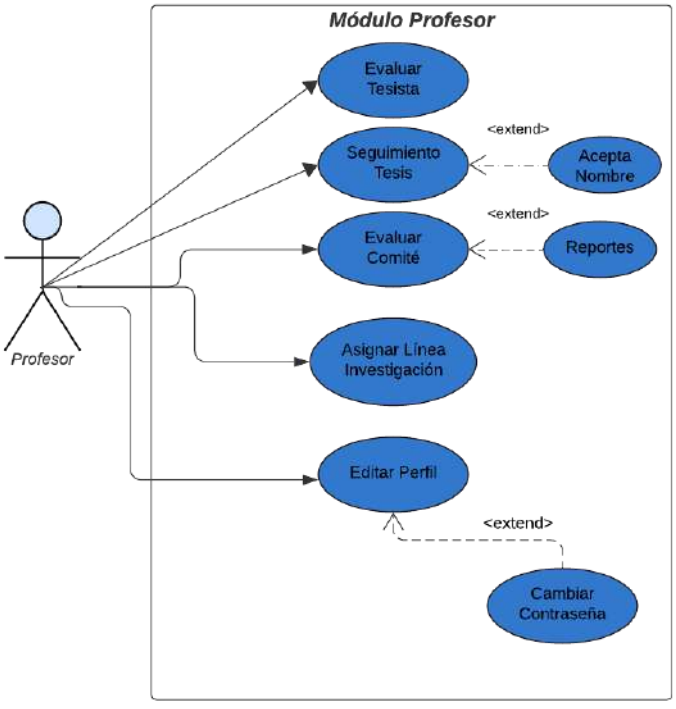
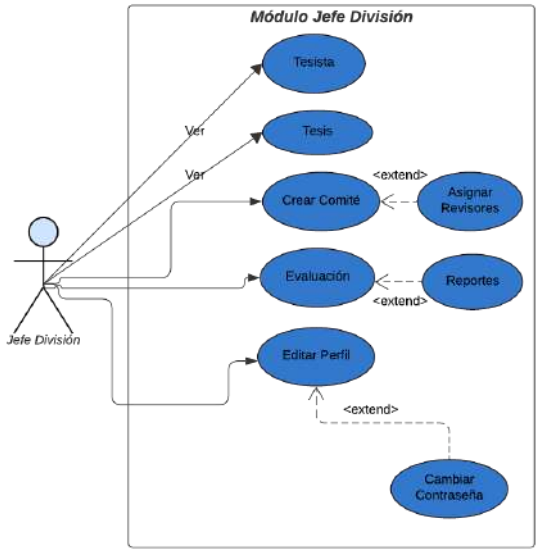
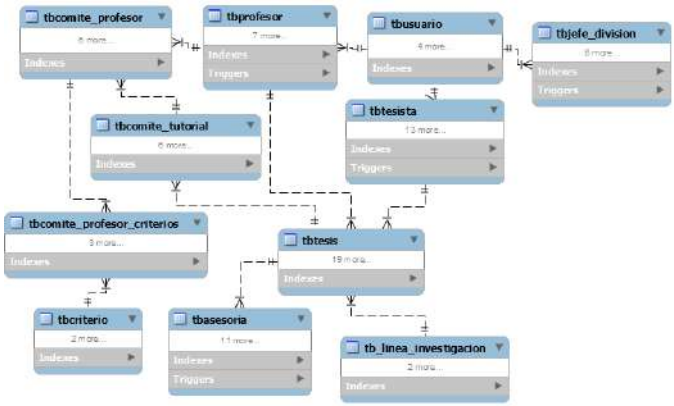


Figura 3
Caso de uso Jefe



Otro diagrama esencial es el modelo relacional, que se emplea para ilustrar cómo se interrelacionan los datos dentro de una base de datos. Este diagrama facilita la comprensión al representar visualmente las entidades, también conocidas como tablas, que constituyen la base de datos. De esta forma, se simplifica la percepción de la estructura lógica, destacando las conexiones existentes entre las entidades y las claves primarias y foráneas que las vinculan. Además, el modelo relacional permite apreciar la cardinalidad entre las tablas, lo que es crucial para el diseño eficiente de la base de datos. El sistema SIGPOS se estructura en torno a una base de datos compuesta por once tablas interconectadas. La tabla central es 'tesis', que funciona como el núcleo desde el cual se ramifican todas las demás tablas, incluyendo 'tesista', 'profesor', 'asesoría' y 'comité tutorial'. Esta configuración centralizada facilita la gestión y el acceso a la información. Además, la base de datos se enriquece con tres procedimientos almacenados y siete disparadores, optimizando así la ejecución de código directamente en la base de datos en lugar de la aplicación web, lo cual contribuye significativamente a la eficiencia del sistema

Figura 4
Modelo Relacional SIGPOS



Durante esta fase, se lleva también a cabo la codificación necesaria para alcanzar los objetivos y respetar los plazos comprometidos. En esta etapa, se evalúa el código desarrollado asegurando que cada requisito se cumpla adecuadamente y se integren las migraciones pertinentes para definir los objetos utilizados. En cuanto a la organización del proyecto, se diseñó una vista integral que consolida los resultados de las funcionalidades recién incorporadas. Estas incluyen la configuración de tesis, la gestión de asignación y el seguimiento general del tesista, así como la exportación de informes en formato Excel y pdf.

4.- Revisión y retrospectiva

Para la revisión y retrospectiva del desarrollo, se organizaron diversas reuniones, tanto individuales como grupales. Estas sesiones tenían como objetivo inspeccionar el trabajo de cada sprint, identificar posibles errores y hallar oportunidades de mejora para incrementar la eficiencia. Además, se llevaron a cabo encuentros de equipo para exponer los cambios y progresos, lo que permitió a todos los miembros visualizar la integración de las nuevas funcionalidades y asegurar una comprensión uniforme del proyecto

5.- Lanzamiento

En esta fase se finaliza el proyecto entregando los resultados al jefe de Posgrado. Estos entregables son el sistema web montado dentro de un servidor del tecnológico, el informe técnico y el manual de usuario. Así mismo se realizó capacitación a los usuarios que utilizarán el sistema. Una vez lanzado se genera un documento en base a la retrospectiva del proyecto para compartir experiencias y reflexiones acerca del proceso.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tras la conclusión de las actividades en cada sprint, el sistema web SIGPOS se estructuró en tres módulos principales. Estos módulos están diseñados para monitorear las actividades de profesores, tesistas y jefes de división. La Tabla 1 detalla las funciones clave que cada módulo ofrece. Cabe señalar que todos los usuarios pueden actualizar el perfil personal, incluyendo datos de contacto y cambio de contraseña.

Tabla 1
Descripción de funcionalidades

Módulo	Funcionalidades
Profesor	• Consultar la lista de estudiantes asignados para actuar como asesor de tesis. • Efectuar un seguimiento semanal del progreso de las tesis. • Evaluar y proporcionar retroalimentación sobre las tesis que los estudiantes presenten ante el comité tutorial.
Tesista	• Consulta del progreso en las asesorías semanales por parte del profesor. • Revisión de la retroalimentación proporcionada por el comité después de las presentaciones.
Jefe de División	• Designar asesores de tesis a los estudiantes correspondientes. • Organizar las sesiones del comité tutorial para la revisión de tesis. • Revisar el seguimiento y la retroalimentación proporcionados a los estudiantes en su proceso de tesis.

En esta sección del portal mostrada en a figura 5, los usuarios autorizados podrán iniciar sesión introduciendo su identificador, contraseña y tipo de usuario. Es importante destacar que la contraseña se encuentra encriptada, asegurando que la entrada permanezca oculta durante la digitación

Figura 5
IGU Loguin SIGPOS

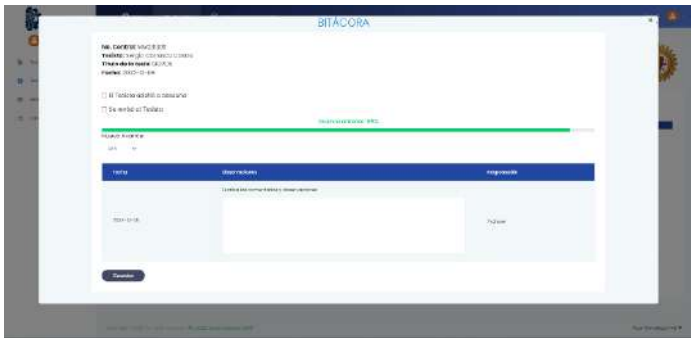
Módulo Profesor

En la figura 6, se podrá observar los datos de los tesistas que tiene asignado el profesor. Los datos mostrados son el número de control, nombre completo, avance de tesis y por último lugar y hora de asesoría.

Figura 6
IGU Profesor SIGPOS

En el botón “Capturar” (figura 7), se despliega una ventana modal que sirve para capturar la asesoría semanal del tesista.

Figura 7
IGU Profesor- Capturar SIGPOS



En la figura 8, se muestra la función que origina dar clic al botón “Ver”, el cual permite ver el registro de seguimiento hecho por el profesor y el jefe de división.

Figura 8
IGU Profesor- Ver SIGPOS

En la sección ‘Sesión Comité’, el sistema de navegación despliega la lista de tesistas asignados a cada profesor para la evaluación de su comité tutorial. Al seleccionar el botón ‘Capturar’, se presenta un formulario emergente para registrar la evaluación. Tras completar esta evaluación, el sistema actualiza automáticamente el botón a ‘Ver’, permitiendo la visualización de las evaluaciones realizadas por los miembros del comité. Adicionalmente, el botón ‘Imprimir’ activa una función JavaScript que facilita la impresión del formato de evaluación. En las figuras 9 y 10, se observa estos puntos .

Figura 9
IGU Profesor- Comité SIGPOS

Figura 10
IGU Profesor- Evaluar SIGPOS

Módulo Tesista

Una vez iniciada la sesión en la vista general, se presenta una sección dedicada para ingresar la URL donde almacenará la tesis. Aquí también se muestra el nombre de la tesis validado tanto por el profesor como por el jefe de división. Adicionalmente, se detallan los datos correspondientes a las asesorías semanales, proporcionando el contacto y el nombre del profesor asignado para dicha orientación (figura 11).

Figura 11
IGU Tesista SIGPOS

Dentro del menú en la sección “tesista”, se puede ver la bitácora de seguimiento que hace llena el profesor dentro de las sesiones semanales. Esta función esta plasmada en la figura 12.

Figura 12
IGU Ver Seguimiento SIGPOS

Dentro de la figura 13 se puede observar la lista de sesiones de comité que ha tenido ese tesista. Al dar clic en el botón “Ver” a alguna sesión, muestra la retroalimentación y la evaluación de los profesores que participaron en dicho comité tutorial.

Figura 13
IGU Evaluación comité SIGPOS

Módulo Jefe de división

Finalmente, en el módulo del jefe de división, se ofrece un menú de opciones de navegación, (tesistas, tesis, comité tutorial y cambiar la contraseña). Dentro de la sección ‘Tesista’, se dispone de un buscador clasificado por profesor que facilita la localización eficiente de los tesistas asignados a dicho profesor. Esta sección también proporciona información sobre el progreso de las asesorías semanales, la aceptación del nombre del tesista y un registro detallado de las sesiones semanales. En la parte inferior de la página, se encuentra el botón ‘Capturar’, diseñado para incorporar al sistema a los alumnos no registrados, permitiendo así asignarles una tesis y un profesor correspondiente (figura 14).

Figura 14
IGU Jefe División SIGPOS

En la figura 15, se muestra la opción de Tesis” donde se enlista los alumnos registrados en el sistema. En color amarillo se muestran los alumnos que ya se les ha asignado un asesor y en color verde en caso contrario.

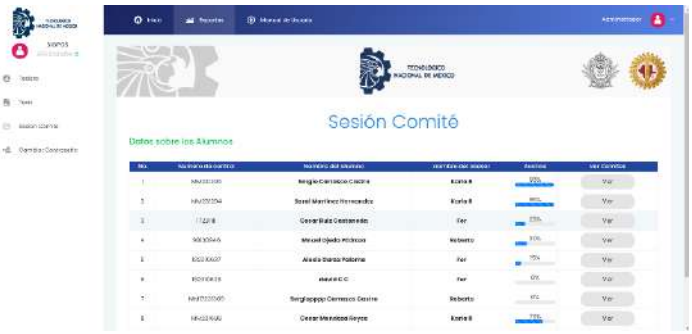
Figura 15
IGU Asignación División SIGPOS

Al seleccionar el botón ‘Ver’, se accede a una nueva página que presenta la bitácora completa de las asesorías semanales, donde se ofrece la posibilidad de añadir comentarios y retroalimentación

En la figura 16, se muestra todas las sesiones de comité que ha tenido el alumno, el cual fue seleccionado dentro del menú principal. Aquí se muestra la fecha, hora, avance y el botón que detalla lo acontecido en esa sesión. En caso de que se desee crear una nueva sesión de comité a ese alumno, se da clic en ‘Agregar’ para posteriormente abrir una ventana emergente

donde se capture esa información. Una vez que se da clic en 'Ver', redirecciona a una página donde se muestra en una tabla las evaluaciones de los profesores participantes del comité tutorial.

Figura 16
IGU Comité División SIGPOS



IV. CONCLUSIONES

La implementación del sistema web SIGPOS dentro del ITSL fue de gran importancia por varias razones clave:

- Eficiencia Administrativa: El sistema web centralizó y automatizó procesos como la presentación de propuestas, la asignación de asesores, y el seguimiento del progreso de la tesis, reduciendo la carga administrativa y el tiempo dedicado a tareas manuales.
- Accesibilidad y Conveniencia: Al ser accesible en línea, el sistema permitió a estudiantes y profesores interactuar con la plataforma desde cualquier lugar y en cualquier momento, facilitando la gestión y comunicación continua sin restricciones geográficas o de horario.
- Transparencia y Seguimiento: El sistema proporcionó un registro detallado y en tiempo real del progreso de cada tesis, lo que permitió a los estudiantes, asesores y coordinadores de programa monitorear el avance y realizar intervenciones oportunas cuando fuera necesario.
- Organización y Almacenamiento de Información: Toda la documentación relevante, desde propuestas iniciales hasta versiones finales de la tesis, se almacena de manera segura y organizada en un solo lugar, reduciendo el riesgo de pérdida de información y facilitando la recuperación de datos cuando sea necesario.
- Mejora de la Comunicación: La plataforma facilitó la comunicación entre estudiantes, asesores y comités, proporcionando herramientas para la retroalimentación, la programación de reuniones y la resolución de dudas, lo que mejoró la colaboración y el soporte académico.
- Estadísticas y Reportes: Se genera reportes sobre el estado de las tesis, identificando cuellos de botella, tasas de finalización y otros indicadores clave que pueden informar decisiones académicas y administrativas.
- Seguridad y Cumplimiento: El sistema web incluye medidas de seguridad para proteger la integridad y confidencialidad de la información, asegurando que se cumplan las regulaciones de privacidad y protección de datos.
- Mejora de la Calidad Académica: Al facilitar la gestión y seguimiento de las tesis, el sistema contribuye a elevar la calidad de los trabajos presentados, asegurando que cumplan con los estándares académicos y se beneficien de una supervisión adecuada.

En conclusión, el sistema web para la gestión de tesis no solo optimizó los procesos administrativos, sino que también mejoró la experiencia de estudiantes y profesores, fortaleciendo la calidad académica y asegurando un manejo más eficiente y seguro de la información.

V. AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro sincero agradecimiento a todas las personas que contribuyeron al éxito del desarrollo de software. En particular, agradecemos al M.D.G.P.T. Jesús Alejandro Valdés Nieblas, subdirector de Posgrado e Investigación del ITSL por su apoyo en todas las actividades del proyecto, a los colaboradores por su orientación, conocimientos y comentarios, que fueron invaluables para la elaboración de este trabajo. Agradecemos su dedicación y apoyo constante. Al Tecnológico Nacional de México campus Instituto Tecnológico Superior de Lerdo: por proporcionarnos el entorno propicio para llevar a cabo nuestra investigación. Su infraestructura, recursos y comunidad académica fueron fundamentales para nuestro estudio. A todos los estudiantes por su participación en este proyecto, su dedicación y compromiso. Sin su esfuerzo y creatividad, no habríamos alcanzado nuestros objetivos. ¡Gracias a todos por su importante contribución!

VI. REFERENCIAS

Arias Ch. M., (2005). La ingeniería de requerimientos y su importancia en el desarrollo de proyectos de software. *InterSedes: Revista de las Sedes Regionales*, VI (10), 1-13.

Atencio, L. (03 de Septiembre de 2016). *Los pasos de la metodología de desarrollo ágil y sus responsables*. http://blog.leonelatencio.com/los-pasos-de-la-metodologia-de-desarrollo-agile-y-sus-responsables/

Axarnet. (31 de Octumbre de 2017). *Bootstrap- ¿Qué es y Cómo funciona?* Obtenido de Axarnet: https://www.axarnet.es/blog/bootstrap/

Bastidas L. D. J., Bastidas J. H., & Granda, S. R. (2019). *Implementación del Bootstrap como una metodología ágil para principiantes en el desarrollo web*. Editorial Académica Española.

Blog, R. (20 de Abril de 2018). *Requerimientos funcionales y no funcionales.* https://medium.com/@requeridosblog/requerimientos-funcionales-y-no-funcionales-ejemplos-y-tips-aa31cb59b22a

Ceballos, K. (07 de Julio de 2015). *Ingeniería del Software*. https://ingsotfwarekarlacevallos.wordpress.com/2015/07/07/uml-diagrama-de-secuencia/

Gauchat, J. D. (2017). *El gran libro de HTML5, CSS3 y Javascript*. Marcombo.

Córdova C. E. E., & Paulini P. J. L. J. (2020). *Desarrollar un sistema web de gestión documental para las tesis de la Escuela de Ingeniería Informática de la URP* [Archivo PDF] http://repositorio.urp.edu.pe

Grippa, V. M., & Kuzmichev, S. (2021). *Learning MySQL*. O'Reilly Media, Incorporated.

Huaman C. C. Y. (2018). *Sistema web para la gestión de las tesis en la escuela profesional de ingeniería de sistemas e informática de la universidad nacional Santiago Antúnez de Mayolo en el año 2018.* [Archivo PDF] *https://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2785*

Montes O. A. (2019). *Scrum para no informáticos : aprenda a utilizar en su negocio la metodología que ha llevado al éxito a Google, Amazon, Facebook, Microsoft, BBVA e ING Direct, entre otros*. Amazon Distribution.

Navia, F. R. (6 de Marzo de 2018). *¿Qué es y para que sirve MySQL DataBase?* https://itsoftware.com.co/content/que-es-y-para-que-sirve-mysql/

Okhosting.com (2016). *Manifiesto ágil.* https://okhosting.com/blog/metodologias-del-desarrollo-de-software/#Manifiesto_Agil

Rodríguez Lozano, Karla Verónica, Moreno-Núñez, Elda, Arzola-Monreal, Juan Martín And Flores-Luévanos, María Guadalupe. Development of a web management system for the internship process at the TecNM campus Lerdo. *Journal of Computational Technologies*. 2021. 5-15:1-10

Pressman, Roger S. (2010). *Ingeniería del software. un enfoque práctico*. Séptima edición. México: McGraw Hill.

Rubiales Gómez M. (2021). *Curso de desarrollo web : HTML, CSS y JavaScript*. Anaya Multimedia.

Saldaña Torres, J., & Zúñiga Burgos, R. (2015). *Sistema web para la gestión y administración de anteproyectos y tesis de grado* [Bachelor's tesis]

Zúñiga, J. E., & Andrade, O. P. (10 de Diciembre de 2009). *Modulo Diseños de Sitios Web* https://trabajodise.files.wordpress.com/2013/05/301122.pdf

VII. AUTORES

Karla Verónica Rodríguez Lozano

https://orcid.org/0000-0003-2832-4165

Elda Moreno Núñez

https://orcid.org/0000-0002-5912-082X

María Guadalupe Flores Luévanos

https://orcid.org/0000-0003-2613-1431

Caracterización de bacterias y hongos productores de celulasas aislados de material lignocelulósico

Navarro-Mosqueda, F.[1]; López-Ramírez, V.[1]; Morales-Rodríguez, R.[2]; Rodríguez-Gómez, D.[1]✉

Datos de Adscripción:

[1]Tecnológico Nacional de México/ITS de Irapuato. División de Ingeniería Bioquímica. Carretera Irapuato-Silao km 12.5, C. P. 36821., Col. El Copal, Irapuato, Guanajuato, México.

[2]Universidad de Guanajuato, Departamento de Ingeniería Química, Noria Alta S/N, C.P. 36050, Col. Noria Alta, Guanajuato, Guanajuato, México.

✉ divanery.rg@irapuato.tecnm.mx

Resumen **- Los residuos agroindustriales están compuestos de material lignocelulósico, los cuales están expuestos a una gran diversidad de microorganismos que pueden degradarlos mediante la acción de varias enzimas. Por tanto, microorganismos crecidos sobre dichos materiales podrían expresar enzimas lignocelulósicas de importancia biotecnológica y de aplicación en procesos industriales. En este estudio se evaluaron 36 aislados procedentes del Estado de Guanajuato: 19 bacterias y 17 hongos, aislados de residuos agroindustriales tales como: bagazo, bolsa, cartón, gasa, paja de maíz, rastrojo de maíz, además de algodón y pintura; con el objetivo de medir su actividad celulasa producida a 28, 37 y 45 ˚C. Se realizó una prueba semicuantitativa de celulasas en placa de Petri conteniendo medio carboximetilcelulosa y un cultivo en medio líquido para la cuantificación de la actividad enzimática celulasa total (UPF/ml) en el sobrenadante usando papel filtro como sustrato. Los aislados de bacterias que mostraron la mayor actividad corresponden a los aislados de bolsa de plástico-4 y paja de maíz-8 (0.2 UPF/ml a 37 °C y 0.17 UPF/ml a 28°C, respectivamente). Por otra parte, los hongos que presentaron la mayor actividad fueron Algodón-06 y Algodón-07 (0.2 y 0.16 UPF/ml a 28 °C). Los resultados de la actividad celulolítica evaluada a través de los dos métodos no son coincidentes, por lo que, es importante el haber realizado dos técnicas de manera complementaria para la selección de aislados con posibles aplicaciones industriales y relacionadas con la temperatura en la que presentan mayor actividad.**

Palabras clave: Bacterias, Carboximetilcelulosa, Celulasas, Hongos, Residuos Agroindustriales.

Abstract **- Agroindustrial wastes are composed of lignocellulosic material, which are exposed to a great diversity of microorganisms that can degrade them through the action of several enzymes. Therefore, microorganisms grown on these materials could express lignocellulosic enzymes of biotechnological importance and application in industrial processes. In this study, 36 isolates from the State of Guanajuato were evaluated: 19 bacteria and 17 fungi, isolated from agroindustrial waste such as: bagasse, plastic bag, cardboard, gauze, corn straw, corn stubble, as well as cotton and paint; with the aim of measuring their cellulase activity produced at 28, 37 and 45 ˚C. A semiquantitative cellulase test was performed in Petri dishes containing carboxymethylcellulose medium and the other test was the quantification of the total cellulase activity (FPU) in the supernatant from liquid culture through filter paper assay. The bacterial isolates showing the highest activity corresponded to plastic bag-04 and corn straw-08 (0.2 PFU/ml at 37 °C and 0.17 PFU/ml at 28 °C, respectively). While, in fungi, the highest activity was presented by cotton-06 and cotton-07, (0.2 and 0.16 FPU/ml, respectively, at 28 °C. The results of the cellulolytic activity evaluated through the two methods were not related, so it was important that two techniques were carried out in a complementary manner for the selection of isolates with possible industrial applications and their temperature-related activity.**

Keywords **- Agroindustrial Residues, Bacteria, Carboxymethylcellulose, Cellulases, Fungi.**

I. INTRODUCCIÓN

Los residuos agroindustriales son aquellos que se generan durante las diferentes etapas de los procesos productivos agrícolas, que van desde el cultivo hasta la obtención de la materia prima de interés. La mayoría de estos residuos terminan en vertederos o son utilizados en compostajes para la obtención de abonos orgánicos. Al ser residuos naturales, aparentemente menos peligrosos o contaminantes, y debido a su mala gestión, terminan ocasionando un impacto en el medio ambiente como altas emisiones de CO_2, la contaminación de acuíferos por lixiviados, la generación de malos olores y la proliferación de plagas. Guanajuato es el segundo estado de México con mayor generación de residuos agroindustriales, de cultivos de maíz, sorgo, trigo y cebada, reportando 3,830,305 toneladas durante el periodo de 2008-2011 (SAGARPA, 2015).

Los residuos lignocelulósicos están conformados por polímeros como la lignina, la celulosa y la hemicelulosa (Yepes *et al*., 2008). Los microrganismos capaces de crecer a expensas de estos residuos deben secretar enzimas, como son las celulasas, que actúan de manera simultánea para lograr su descomposición hasta monómeros de carbohidratos. Debido a su papel primordial en la naturaleza, estas enzimas se encuentran de manera abundante ya que, son producidas por organismos como plantas, nematodos, hongos y bacterias (Kuhad *et al*., 2011).

Las celulasas pertenecen a la superfamilia de las glicosil-hidrolasas, su mecanismo de acción consta de un complejo enzimático simultáneo y sinérgico conformado por endoglucanasas, seguido por exoglucanasas y que concluye con β-glucosidasas que catalizan la hidrolisis de los enlaces β-1,4 hasta la liberación de la glucosa (Davies & Henrissat, 1995). Las enzimas celulasas tienen diversas aplicaciones en diferentes procesos industriales, siendo utilizadas en la industria alimentaria, agropecuaria, textil, detergentes, papelera, cervecera y de biorrefinerías (Xia & Cen, 1999). La temperatura óptima de acción en cada proceso puede ser

variable y dependiente del proceso en sí. El obtener celulasas con amplio rango de acción puede depender de la temperatura de producción de las enzimas (Patel *et al*., 2019). Las enzimas celulasas que se encuentran actualmente en el mercado en su mayoría se obtienen de microorganismos (hongos y bacterias), ya que la purificación y producción de estas enzimas es más favorable debido a su tasa de crecimiento más rápida, producción de complejos enzimáticos completos y su capacidad para soportar condiciones extremas (Islam, 2019).

Existe una gran cantidad de microorganismos capaces de secretar enzimas celulasas y su importancia ha impulsado la detección y selección de aislados productores. Para lo cual se utilizan técnicas de detección en placa, el más común es el revelado con Rojo Congo, donde el sustrato celulósico se incorpora al medio de crecimiento basal, los microorganismos son inoculados y llevados a las condiciones que se desean evaluar. El microorganismo al estar expuesto al sustrato específico secretará enzimas capaces de degradarlo, de manera que podrá adquirir los productos como nutrientes, los cuales facilitan el crecimiento del microorganismo. En su mayoría se detecta la actividad de celulasas en medio superficial en caja de Petri conteniendo agar con carboximetilcelulosa (CMC). Además del crecimiento, se evidencia un halo de hidrólisis alrededor del crecimiento, el cual puede ser detectado al aplicar Rojo Congo, debido a que éste se fija al sustrato, en este caso, CMC, tomando una coloración roja intensa y un halo de menor decoloración en la zona donde se liberaron las celulasas para hidrolizar el CMC.

Esta técnica permite un primer acercamiento para la selección de microorganismos celulolíticos, se realiza una correlación del halo de hidrolisis respecto a su crecimiento, obteniendo el índice enzimático (IE). Por medio de ésta técnica se han evaluado hongos y bacterias; a bacterias aisladas de estiércol de vaca, de tratamiento de efluentes y de residuos industriales se les detectó actividad celulolítica, los aislados de estiércol presentaron IE de 2.8 hasta 3.1 en cultivo superficial usando CMC como sustrato a 30ºC por 72h, las cuales fueron identificadas en su mayoría como bacterias Gram positivas y por las pruebas bioquímicas realizadas se consideraron como posibles *Bacillus* (Demissie *et al*., 2024). De acuerdo a Sethi *et al*. (2013), existe mayor énfasis en estudios de bacterias que producen celulasas con alta tasa de crecimiento como: *Pseudomonas fluorescens, Bacillus subtilis, E. coli* y *Serratia marcescens; e*n su estudio, éstas bacterias fueron aisladas del suelo, y se seleccionaron los aislados productores de celulasas en medio con CMC incubadas a 45, 50 y 55 ºC durante 24 horas y reveladas con Rojo Congo, para posteriormente optimizar su producción de endoglucanasa al evaluar diferentes condiciones de pH, temperatura, fuente de carbono y de nitrógeno. La mayor actividad para estas bacterias se determinó a 40 ºC, a un pH de 7, usando como fuente de carbono a la glucosa.

Por otra parte, los hongos que han sido ampliamente estudiados como productores de enzimas celulasas son *Trichoderma reesei*, *Aspergillus, Penicillium* y *Fusarium*. *T. reesei,* particularmente es un hongo que ha recibido mucha atención por la producción de celulasas, pero se ha reportado ampliamente que presenta una baja producción de enzimas de β-glucosidasas (Peterson & Nevalainen, 2012), lo que conlleva a la búsqueda de otros microorganismos que sean altamente eficientes en la descomposición de la celulosa. *Aspergillus* es un género de hongos filamentosos que se utiliza comúnmente para la producción de enzimas degradadoras de polisacáridos de la pared celular de las plantas, ya que consta de un complejo enzimático completo (endo, exo y β-glucosidasas). De acuerdo con la literatura, *A. niveus, A. niger, A. terreus* y *A. nidulans* aislados de fuentes ambientales nativas como el suelo, plantas de trigo, tallos y hojas en descomposición presentan actividad celulasa a temperaturas entre 30 y 37ºC, y a diferentes pH, de 3.2 hasta 4.8. Se reportó en este estudio que el aislado con la máxima actividad enzimática fue *A. nidulans,* de 0.3 UPF/ml a 30 ºC a un pH de 4.8 (actividades en UPF/ml por el método de Mandels *et al*., 1976).

Otro de los hongos más estudiados para la producción de celulasas y que reporta altas actividades es el género *Penicillium.* Prasanna *et al*. (2016), estudiaron una cepa de *Penicillium sp.* proveniente de un efluente de descarga textil con residuos de algodón, obtuvieron la actividad enzimática de 0.94 UPF/ml en un medio sin optimizar de Czapeck-Dox con 0.5% celulosa, hasta llegar a un valor de 8.7 UPF/ml posterior a la optimización, correspondiente a cambios en la fuente de carbono, fuente de nitrógeno, temperatura (30 °C) y pH (5).

Por lo anterior, en este trabajo se planteó el objetivo de seleccionar aislados productores de enzimas celulasas a partir de un cepario de hongos y bacterias aisladas de diversas fuentes lignocelulósicas halladas en el Estado de Guanajuato. El tamizaje de la producción enzimática incluyó un análisis de producción a tres temperaturas: 28, 37 y 45ºC y dos métodos de selección, en cultivo superficial y en cultivo líquido.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

2.1 Colección de microorganismos lignocelulósicos

Los aislados fueron proporcionados por el Laboratorio de Diversidad e Interacción Microbiana del Instituto Tecnológico Superior de Irapuato (LDIM-ITESI) con un total de 36 aislados: 19 bacterias y 17 hongos, su procedencia y código de identificación se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1.
Aislados evaluados y procedencia

Aislados de bacterias	*Material de aislamiento*
Bolsa-1, Bolsa-2, Bolsa-3, Bolsa-4	Bolsas contaminadas
Paja-1, Paja-2, Paja-3, Paja-4, Paja-5, Paja-6, Paja-7, Paja-8, Paja-9, Paja-10	Residuos de paja de maíz
Pintura-1, Pintura-2, Pintura-3, Pintura-4, Pintura-5	Pintura acrílica contaminada
Aislados de hongos	*Material de aislamiento*
Alg-1, Alg-2, Alg-3, Alg-4, Alg-5, Alg-6, Alg-7	Algodón
Bagazo-1, Bagazo-2	Bagazo de caña de azúcar
Cartón-1, Cartón-2	Cartón contaminado
Gasa	Gasa
Lirio	Residuos de Lirio acuático triturado
Paja-1	Residuos de paja de maíz
RM-1, RM-2, RM-3	Residuos de rastrojo de maíz.

Los hongos se reactivaron en medio agar dextrosa Sabouraud y las bacterias en agar nutritivo a una temperatura de 25 ± 2 °C durante 5 días, los cuales fueron usados como inóculo para los experimentos posteriores. Los hongos fueron observados al microscopio con tinción de azul de lactofenol. Las bacterias fueron identificadas microscópicamente por tinción Gram. Los bacilos Gram positivos se les realizó la técnica de hidrólisis de almidón para confirmar el género *Bacillus*; la formulación del agar almidón en placas Petri fue la siguiente (g/l): peptona de gelatina, 5; extracto de carne, 3; almidón soluble de papa, 20; NaCl, 5; agar bacteriológico, 20. Una vez inoculadas las bacterias, se incubaron a 28ºC durante 72 h y después se revelaron al agregar 2 a 3 gotas de solución de lugol de Gram sobre la superficie del agar (Odunfa & Oyewole, 1986).

2.2 Prueba semicuantitativa para la detección de celulasas

Se preparó el medio de cultivo con la siguiente formulación (g/l): carboximetilcelulosa (CMC), 5; $NaNO_3$, 3; K_2HPO_4, 1; $MgSO_4$, 0.5; KCl, 0.5; $FeSO_4.7H_2O$, 0.01 y agar bacteriológico, 20; se ajustó a un pH de 5 con NaOH, se esterilizó en autoclave y se vertió en placas de Petri. Las bacterias fueron inoculadas por estría simple y los hongos por inoculación central de 1 cm^2 de agar con micelio de 5 días de crecimiento. Los análisis se llevaron a cabo Luego de ser incubadas por separado a 28, 37 y 45 °C durante 72 h. Al finalizar la incubación se midió el diámetro del crecimiento y después se añadió 10 ml de solución de Rojo Congo al 0.25 % (p/v) a cada placa por 15 min a temperatura ambiente, después se retiró el colorante y posteriormente se agregó 10 ml de NaCl, 1M por 15 min; se retiró el exceso de líquido y se midió el diámetro del halo de hidrólisis. Los ensayos se realizaron sin réplicas. Se midió el diámetro de crecimiento (DC) de cada microorganismo y el diámetro del halo de hidrólisis (DHH) en centímetros, el cual se reconoce por una zona de claridad alrededor del área de crecimiento (Teather & Wood, 1982), con estos datos se calculó el índice enzimático (IE) según la ecuación (1).

$$IE = \frac{DHH}{DC} \quad (1)$$

2.3 Cultivo en medio líquido para la cuantificación de la actividad enzimática de celulasas totales

Se preparó el medio de cultivo con la siguiente formulación (g/l): carboximetilcelulosa (CMC), 20; glucosa, 5; $(NH_4)_2SO_4$ 14.9, KH_2PO_4, 3.6; $MgSO_4.7H_2O$, 0.54; $CaCl.2H_2O$, 0.72; Bacto peptona, 1.62; Tween 80 al 0.01 %, 0.18 ml y elementos trazas, 0.9 ml; se ajustó a un pH de 6, se sirvieron 20 ml de medio en tubos plásticos de 50 ml y se esterilizó en autoclave a 121 °C, 15 min. El inóculo para los hongos consistió en un cubo de agar con micelio de 1cm^2 de 5 días de crecimiento, para bacterias se tomaron colonias aisladas. Se incubaron por separado a 28, 37 y 45 °C durante 72 h, con agitación constante de 110 rpm. Los ensayos se realizaron sin réplicas. Después se centrifugaron para tomar el sobrenadante y conservarlo bajo refrigeración hasta que se determinó la actividad enzimática (Rodriguez-Gomez & Hobley, 2013).

2.4 Ensayos enzimáticos

La actividad de las celulasas totales en el sobrenadante se determinó siguiendo el protocolo reportado por Xiao *et al.* (2004), en el ensayo del formato 60 µl usando papel filtro como sustrato y por detección de azúcares reductores obtenidos mediante la prueba con ácido 3,5-dinitrosalicílico, DNS (Miller, 1959) por espectrofotometría a una absorbancia de 540nm. La actividad enzimática se expresó en unidades de papel filtro por mililitro (FPU/ml), según se indica (2), la cual se define como 1 µmol de glucosa liberado por ml en un minuto. Para la cuantificación de la concentración de equivalentes de glucosa liberados se utilizó una curva estándar de glucosa.

$$\frac{UPF}{ml} = \frac{A_{540nm}muestra}{\frac{A_{540nm}estandar}{mg}} * 5.55\frac{\mu mol}{mg} * \frac{1}{60min} * \frac{1}{Xml} \quad (2)$$

A_{540nm} muestra; absorbancia obtenida de cada uno de los ensayos de celulasas.
A_{540nm} estandar; absorbancia estándar de 1 mg de glucosa derivada de la curva glucosa estándar.
5.55 µmol/mg; número de µmoles de glucosa en 1 mg
60 min; tiempo de incubación de la reacción.
X: volumen de la enzima.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Identificación morfológica

La Tabla 2 presenta el resultado de la identificación de los aislados evaluados. Los hongos corresponden a los géneros *Aspergillus, Penicillium, Fusarium*. Los aislados de hongos denominados lirio y cartón-1 no pudieron ser identificados morfológicamente debido a que no se observaron estructuras de reproducción, solamente micelio. Mientras que las bacterias se observaron como bacilos Gram positivos o bacilos Gram negativos. A las especies identificadas como pertenecientes al género *Bacillus* se les observó endospora en la tinción de Gram y presentaron una prueba hidrólisis de almidón positiva (ejemplo en Figura 1).

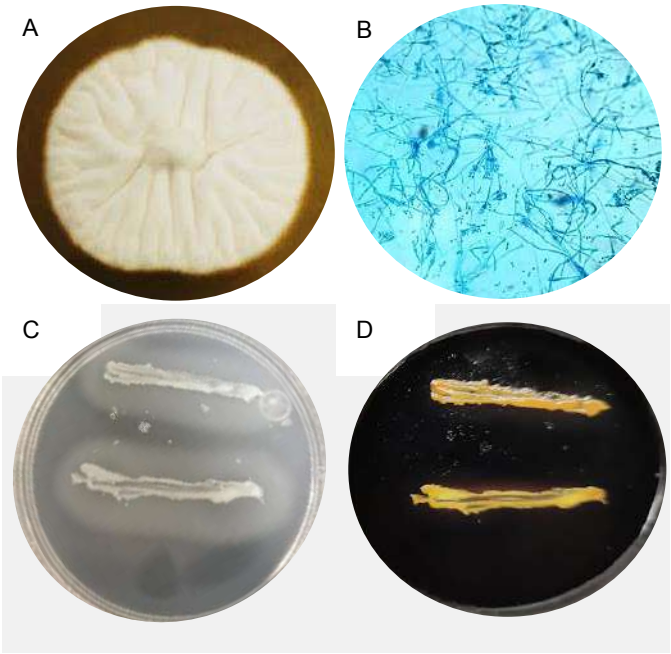
Tabla 2.
Identificación morfológica de los aislados. Gram positivos (GP), Gram negativos (GN).

Hongos		*Bacterias*	
Código	Género	Código	Género
Alg-1	*Penicillium* spp.	Bolsa-1	*Bacillus sp.*
Alg-2	*Penicillium* spp.	Bolsa-2	Bacilos GP
Alg-3	*Aspergillus* spp.	Bolsa-3	Bacilos GN
Alg-4	*Aspergillus* spp	Bolsa-4	Bacilos GN
Alg-5	*Fusarium* spp.	Paja-1	*Bacillus sp.*
Alg-6	*Aspergillus* spp.	Paja-2	Bacilos GP
Alg-7	*Penicillium* spp	Paja-3	*Bacillus sp.*
Bagazo-1	*Fusarium* spp.	Paja-4	*Bacillus sp.*
Bagazo-2	*Fusarium* spp.	Paja-5	*Bacillus sp.*
Cartón-1	No identificado	Paja-6	*Bacillus sp.*
Cartón-2	*Penicillium* spp.	Paja-7	*Bacillus sp.*
Gasa	*Penicillium* spp.	Paja-8	*Bacillus sp.*
Lirio	No identificado	Paja-9	Bacilos GP
Paja-1	*Penicillium* spp.	Paja-10	Bacilos GP
RM-1	*Fusarium* spp.	Pintura-1	Bacilos GP
RM-2	*Aspergillus* spp.	Pintura-2	*Bacillus sp.*
RM-3	*Aspergillus* spp.	Pintura-3	Bacilos GP
		Pintura-4	*Bacillus sp.*
		Pintura-5	*Bacillus sp.*

De manera general, no se observó alguna relación entre el tipo de residuo y el género de hongo encontrado, ya que los géneros de los aislados pertenecen a especies saprobias propias de material lignocelulósico. En cuanto a las bacterias se esperaba que en su mayoría correspondiera al género

Bacillus, sin embargo, se ha reportado la presencia de celulasas en bacilos Gram negativos (Sethi *et al*., 2013).

Figura 1.
Ejemplo de la Identificación morfológica y bioquímica de los aislados de hongos y bacterias. (A) morfología macroscópica del hongo Alg-5; (B) vista microscópica 40X con azul de lactofenol de hongo Alg-5; (C) bacteria Pintura-4 creciendo en medio con almidón; (D) bacteria Pintura-4 crecida en medio con almidón revelada con solución de lugol



.

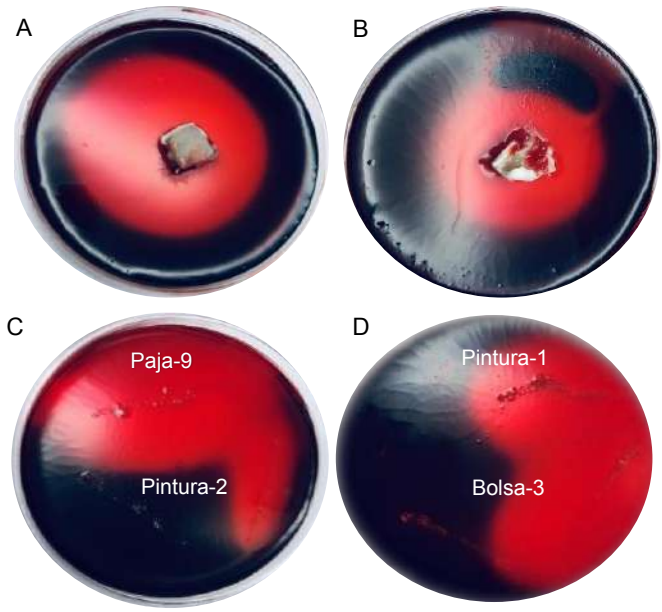
3.2 Evaluación semicuantitativa de la actividad celulolítica de hongos y bacterias

Los microorganismos que se evaluaron por la prueba CMC-Rojo Congo en medio superficial presentaron halos de hidrólisis correspondientes a la hidrólisis de la CMC por la secreción de las enzimas hacia el exterior de la célula, ya que al agregar el colorante Rojo Congo, éste se adhiere a la CMC residual en la placa (Teather & Wood, 1982). La forma en que se observó la hidrólisis en este tipo de prueba para los dos tipos de microorganismos se presenta en la Figura 2.

En general, éste es un ensayo muy usado en hongos, debido a la liberación de enzimas en la punta de la hifa, y al característico crecimiento radial del hongo. Mientras que, en las bacterias, el crecimiento se da sobre la estría de inoculación y el IE obtenido debido a la liberación de enzimas por las bacterias en la placa de Petri puede ser muy variable.

Se realizó la evaluación de los aislados productores de enzimas celulolíticas a 28, 37 y 45 ºC en carboximetilcelulosa en medio superficial, donde un valor de índice enzimático (IE) superior a 1.5 es tomado como una alta actividad (Tabla 3). Los aislados que no presentaron actividad celulolítica corresponden a un IE de 1, ya que, el diámetro del halo hidrolisis es igual al de crecimiento.

Figura 2.
Actividades celulolíticas producidas en cultivo superficial con CMC y revelado con Rojo Congo. (A) hongo Cartón-1; (B) hongo Alg-1; (C) bacterias Pintura-2, Paja-9; (D) bacterias Pintura-1, Bolsa-3 evaluados a 37ºC.



En los cultivos de hongos la mayoría presentaron actividad celulolítica favorable a temperaturas de 45ºC y de 37 °C. Los aislados Alg-2, Bagazo-2 y Alg-6 presentaron IE > 3 a 45 °C. A 37 °C, los hongos carton-1 y paja-1 presentaron IE > 3 (Tabla 3).

Tabla 3.
Valores de índice enzimático (IE) de actividad celulolítica de los aislados de hongos evaluados a diferentes temperaturas en medio CMC.

Código	28ºC	37ºC	45ºC
Alg-1	1.44	2.00	2.85
Alg-2	1.00	1.68	3.18
Alg-3	1.00	1.33	1.32
Alg-4	1.40	1.15	1.00
Alg-5	1.33	1.48	2.92
Alg-6	1.70	2.70	3.17
Alg-7	1.00	1.67	1.08
Bagazo-1	1.19	2.50	2.15
Bagazo-2	1.42	2.18	3.15
Cartón-1	1.26	3.16	2.46
Cartón-2	1.04	2.85	2.27
Gasa	1.00	1.00	1.00
Lirio	1.45	1.67	1.00
Paja-1	1.76	3.14	1.47
RM-1	1.24	2.60	2.22
RM-2	1.77	1.00	1.00
RM-3	1.60	1.33	2.00

Los IE obtenidos en los aislados fueron variables, sin tener relación entre los sustratos de donde fueron aislados, tampoco de alguna de las especies en particular, ya que los mayores IE se encontraron en los tres géneros: *Penicillium, Aspergillus* y *Fusarium.* Los hongos ambientales se clasifican como mesófilos, teniendo la mayor tasa de crecimiento a temperaturas que oscilan entre 25 y 45°C. Por lo cual se espera que en este rango variable cualquiera de los hongos creciera y produjera las celulasas en las tres temperaturas evaluadas, sin embargo, los hongos presentaron mayores IE a mayores temperaturas (Gupta *et al*., 1987; Miller, 2020).

Anteriormente se han reportado análisis en hongos del género *Aspergillus* entre las especies identificadas como *A. candidus, A. terrus, A. niger, A. sydowii, A. variecolor* y *A. japonicus,* que corresponden a aislados de residuos de ricino, que presentaron índices enzimáticos entre 1.6 hasta 2. En *A. japonicus* se reportó un IE de 5 a una temperatura de 30ºC (Herculano *et al*., 2011), por tanto similares a los IE aquí reportados, ya que se encuentran en el rango de 1.6 hasta 3.18.

En cuanto al género *Fusarium*, un estudio similar fue realizado en Marruecos con reportes de IE hasta 1.47, evaluados en medio agar czapek con celulosa cristalina a una temperatura de 25ºC (M'barek *et al*., 2019). Por último, respecto a estudios similares en *Penicillium*, un análisis realizado en la región amazónica central de Brasil sobre hongos filamentosos celulolíticos aislados de las tripas de insectos acuáticos, identificó especies de *Penicillium spp*. y *Talaromyces* con valores de IE de 2 hasta 4, evaluado en medio CMC a una temperatura de 27ºC (Belmont-Montefusco *et al.,* 2020).

En cuanto a los cultivos de bacterias, los que presentaron actividad celulolítica favorable, con un IE ≥ 1.5, fueron los identificados como bacilos Gram positivos, destacando: Paja-1, Paja-3, Paja-5, Paja-9 con IE de 4.5, 4, 2.5 y 3.1, respectivamente (Tabla 4). Exceptuando la bacteria Paja-9, los mayores IE se presentaron a 37°C en bacterias. No se observó crecimiento a 45 °C.

Tabla 4.
Valores de índice enzimático (IE) de actividad celulolítica de los aislados de bacterias evaluados a diferentes temperaturas en medio CMC. NC= no creció

Código	28ºC	37ºC	45ºC
Bolsa-1	1.00	1.00	NC
Bolsa-2	1.00	1.00	NC
Bolsa-3	1.00	1.20	NC
Bolsa-4	1.00	1.00	NC
Paja-1	1.40	4.40	NC
Paja-2	1.00	1.00	NC
Paja-3	1.00	4.00	NC
Paja-4	1.00	1.00	NC
Paja-5	1.20	2.50	NC
Paja-6	1.00	1.00	NC
Paja-7	1.00	1.00	NC
Paja-8	1.40	1.00	NC
Paja-9	3.10	1.90	NC
Paja-10	1.40	1.00	NC
Pintura-1	1.00	1.50	NC
Pintura-2	1.00	1.50	NC
Pintura-3	1.00	1.00	NC
Pintura-4	1.00	1.40	NC
Pintura-5	1.00	1.00	NC

En cuanto a los bacilos Gram positivos con alta actividad se espera que correspondan al género *Bacillus*, debido a que en la literatura es el género con alta producción de celulasas en condiciones aerobias. Sin embargo, en la identificación morfológica y bioquímica no se pudo confirmar este género para todos los aislados Gram positivos, según se indica en la Tabla 2.

En cuanto a reportes de la literatura, bacterias celulolíticas asociadas al intestino de *Heterotermes indicola* (termita que se alimentan de madera), identificadas en su mayoría como Gram-positivas presentaron valores de IE entre 1.3 hasta 4 (Azhar *et al*., 2024). De igual manera, recientemente se realizó el análisis de bacterias aisladas de residuos agroindustriales identificadas como Gram positivas que presentaron IE entre 1.6 y 1.8 a una temperatura de 37± 2 °C, los cuales son inferiores a los reportados en el presente estudio (Demissie *et al*., 2024).

Los índices enzimáticos de bacterias y de hongos no son comparables debido a que presentan varias diferencias, tanto morfológicas como metabólicas. Adicionalmente, existen reportes de microorganismos que presentan un solo gen de celulasa Ce19G (endoglucanasa), la cual actúa sobre CMC sin llegar a degradar la celulosa completamente hasta glucosa, por eso es importante realizar ensayos cuantitativos para determinar qué tan activo es el sistema completo (Desvaux, 2005).

3.3 Medición de la actividad enzimática de celulasas totales en medio líquido

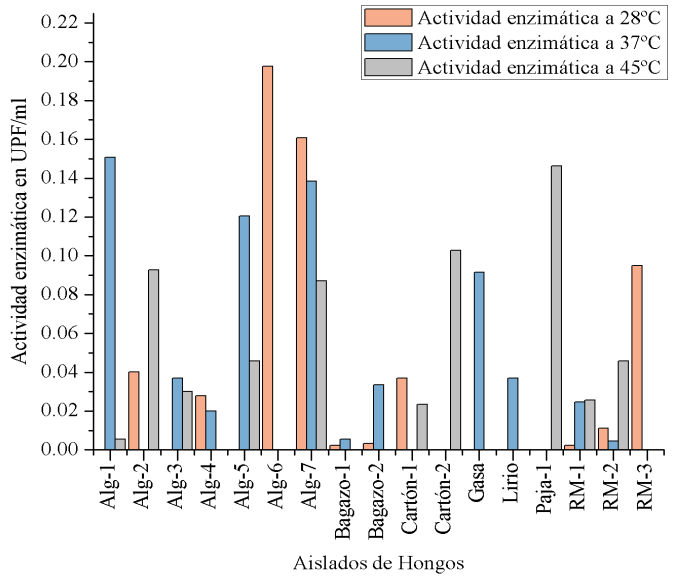
Los ensayos que se realizaron en cultivo líquido se usaron como prueba de selección de los aislados celulolíticos ya que se cosecharon a un único tiempo para un análisis comparativo de todos los microorganismos. El ensayo cuantitativo usando papel filtro como sustrato hace referencia a la detección de todo el sistema celulolítico sinérgico, llevando el papel filtro hasta el producto final, glucosa. De nuevo se observan resultados variables, sin relación entre el sustrato de aislamiento de los microorganismos, la temperatura de producción y el nivel de actividad.

A 28°C los hongos identificados como Alg-6 y Alg-7 presentaron la mayor actividad (0.2 y 0.16 UPF/ml, respectivamente). Mientras que, a 37°C, los aislados Alg-1 y Alg-7 presentaron actividad de 0.14-0.16 UPF/ml. A 45°C. el hongo Paja-1 fue el único que presentó actividad por encima de 0.1, llegando a 0.15 UPF/ml (Figura 3). La mayoría de los hongos que producen actividad mayor a 0.1 presentaron IE mayores a 1.5 en CMC (Tabla 3).

La mayor actividad enzimática se determinó en el aislado Alg-6 (0.2 UPF/ml), identificado como *Aspergillus* sp. Ya anteriormente se ha reportado que algunas especies del género *Aspergillus* presentan un sistema enzimático completo de celulasas (de Vries & Visser, 2001). La temperatura donde se presentó la mayor actividad de celulasas para las especies de *Aspergillus* fue a 28 ºC, siendo resultados consistentes con informes previos que indican que la mejor producción de celulasas en *Aspergillus* se da a temperatura ambiente, encontrando que la temperatura óptima de producción es a 30ºC (Varalakshmi *et al*., 2009).

Anteriormente se han reportado análisis de *Aspergillus (A. niveus, A. niger, A. terrus y A. nidulans)* con actividad celulolítica en UPF/ml aislados de una fuente ambiental nativa, incluido suelo, aire y plantas de trigo infectadas mediante una técnica de enriquecimiento evaluados a temperaturas de 30 y 37ºC, los cuales presentaron actividad enzimática entre 0.17 y 0.28 UPF/ml, presentando mayor productividad a 30ºC en los microorganismos *A. terreus* y A. *nidulans* (Jahangeer *et al*., 2005), los cuales son mayores a los análisis reportados en el presente estudio donde la mayor actividad a 28ºC fue de 0.2 UPF/ml (Figura 3).

Figura 3.
Actividades enzimáticas producidas en cultivo sumergido (UPF/ml) de hongos evaluados a 28, 37 y 45 ºC.

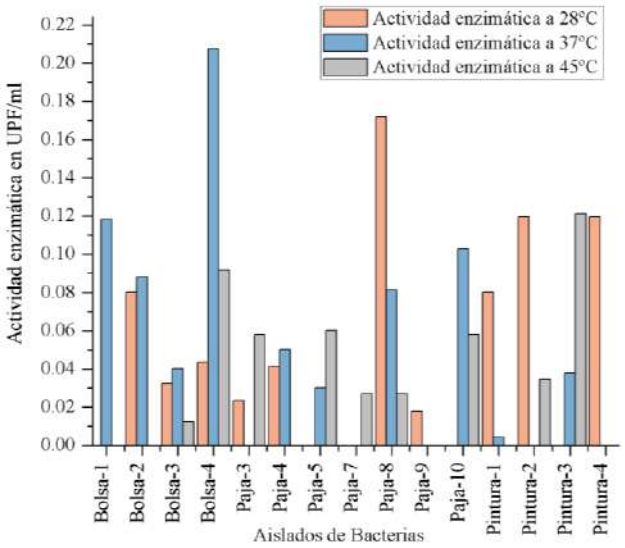


En cuanto a estudios reportando el género *Penicillium,* un aislado de suelo contaminado de la industria algodonera presentó actividad celulolítica favorable, una vez halladas las condiciones optimizadas de producción de celulasas se presentó actividad enzimática de 1.62 UPF/ml a 37 ºC (Prasanna *et al*., 2016). Además, se ha reportado *Trichoderma reesei* creciendo sobre paja de trigo, con máxima producción de celulasas totales de 0.5 UPF/ml en reactor en condiciones de tamizaje (Rodriguez-Gomez *et al*., 2012).

Por otra parte, en cuanto al análisis de los aislados bacterianos, a 28°C la mayor actividad celulolítica la presentó la bacteria denominada Paja-8 (*Bacillus sp.*), 0.18 UPF/ml. Mientras que, a 37°C, Bolsa-4, una bacteria Gram negativa, presentó una actividad enzimática de 0.2 UPF/ml. En la temperatura de 45°C si se encontró crecimiento de algunas bacterias, dentro de las cuales, la identificada como Pintura-3, un bacilo Gram negativo presentó la mayor actividad, 0.12 UPF/ml (Figura 4).

Estos resultados son consistentes con reportes previos de actividad celulasa en bacterias Gram positivas (*Bacillus subtilis*) y Gram negativas (*Pseudomonas fluorescens, E. coli* y *Serratia marcescens*), la máxima producción de celulasas fue registrada a 40ºC en las cuatro bacterias (Sethi *et al*., 2013). Estos resultados son también similares a los reportados por Bakare *et al*. (2005), quienes encontraron que las enzimas celulasas producidas por *Pseudomonas fluorescens* presentaban una temperatura óptima de producción a 35ºC (Wang *et al*., 2024). Anteriormente se han reportado análisis de la capacidad celulolítica de bacterias aisladas de tracto gastrointestinal y compostaje de un hipopótamo, de las cuales 5 cepas mostraron actividad celulolítica de hasta 11 UPF/ml, identificadas como del género *Bacillus spp*., incluso presentó mayor actividad que el control positivo *Trichoderma reesei*, la actividad fue evaluada a un pH de 4.8 (da Cruz Ramos *et al*., 2016).

Figura 4.
Actividades enzimáticas producidas en cultivo sumergido (UPF/ml) de bacterias evaluadas a 28, 37 y 45 ºC.



3.4 Comparación de las técnicas evaluados respecto a las actividades enzimáticas

Para los ensayos semicuantitativos se utilizó CMC para medir la actividad enzimática el cual es un sustrato soluble mientras que para los ensayos cuantitativos se utilizó papel filtro que se caracteriza por ser un sustrato insoluble. Se sometieron a las mismas condiciones, ya que, se incubaron por tres días a las mismas temperaturas. Las diferencias encontradas se deben principalmente a la evaluación diferencial de los sistemas enzimáticos, ya que en la prueba cuantitativa se debe registrar la concentración de glucosa liberada, para lo cual se requiere el complejo completo; mientras que, en el semicuantitativo, solamente con el rompimiento de la CMC, por las endo y exoglucanasas se evidencia un halo de hidrólisis.

Para los hongos se pudo observar, en los ensayos semicuantitativos o superficiales que, a mayor temperatura, mayor IE, mientras que, en cultivo líquido, los resultados fueron variables y muy pocos aislados resaltaron por su alta actividad. No se observó algún patrón como que al ir aumentando de IE, se encontrara alguna elevación de la actividad en unidades papel filtro (UPF).

La discrepancia que existe en la actividad enzimática de los ensayos por ambas técnicas también se debió a que, para las muestras en medio líquido, la reacción con el sustrato (papel filtro) se lleva a cabo a 50ºC durante una hora, mientras que en los ensayos con medio superficial se dio de manera simultánea tanto el crecimiento del microorganismo, como la producción de las celulasas y consumo de sustrato a temperaturas de 28, 37 y 45 ºC por 72 h. De acuerdo con Viikari *et al*. (2007), quienes describen que las tasas de hidrólisis evaluadas a una temperatura entre 40 y 50 ºC generalmente se consideran como tasas de hidrolisis lenta, esto se debe a que se deben utilizar microorganismos termoestables que soporten altas temperaturas para que sean capaces de producir enzimas termoestables. Entre los microorganismos termoestables reportados tenemos *Bacillus, Geobacillus sp., Talaromyces emersoni, Thermoascus aurantiacus,* etc., que toleran temperaturas superiores de 60 ºC hasta 80 ºC.

Los ensayos realizados con bacterias por los dos métodos y a diferentes temperaturas, no permitió concluir sobre alguna relación entre ellos. Se encontró que bacterias que no habían crecido a 45°C en medio superficial si crecieron y presentaron actividad al ser inoculadas en medio líquido. Se encontró menor actividad, ya que la máxima fue de 0.12 UPF/ml a 45°C mientras que a 28 y 37°C se registró actividad enzimática de 0.2 y 0.18 UPF/ml, respectivamente. Esto se pudo ver influenciado debido a que en la prueba semicuantitativa realizada en cultivo superficial en caja de Petri, el microorganismo se encontraba en la superficie, además que el medio estuviera directamente expuestos a una temperatura de 45 ºC, lo que provoca la deshidratación del medio, causando que el microorganismo no creciera, mientras que en la prueba cuantitativa fue cultivo sumergido, lo que permitió que el inoculo se encontrara disuelto dentro del medio y rodeado de humedad.

Respecto a este hecho, reportes anteriores enfatizan que los datos de hidrólisis de sustrato soluble no proporcionan información útil sobre la hidrólisis de sustratos insolubles, ya que, la accesibilidad de las enzimas al enlace β-glucosídico es del 1.8%, muy bajo comparado con el enlace en CMC que es 100% accesible. Además, el grado de polimerización es diferente, ya que, el papel filtro está compuesto en su mayoría de fibras de celulosa con un grado de polimerización alto de 750 a 2800, lo que significa que las cadenas de glucosa que la componen son bastante largas en comparación con la CMC, cuyo grado de polimerización suele ser menor, posiblemente entre 100 a 2000 unidades (Percival Zhang *et al*., 2006).

IV. CONCLUSIONES

Los hongos aislados de algodón, cartón y de paja de maíz presentaron los mayores índices enzimáticos y de actividad en cultivo líquido medido por unidades papel filtro, estos aislados son pertenecientes a los géneros ya reportados ampliamente como productores de celulasas. Los valores de tamizaje incial presentados en este estudio son valores iniciales competitivos para avanzar hacia una optimización de condiciones de cultivo y futuros estudios de caracterización de enzimas y degradación de residuos lignocelulósicos de la región. Por otra parte, las bacterias aisladas de bolsa plástica y de paja de maíz presentaron valores similares a los obtenidos en los hongos en medio líquido (UPF). Los aislados de bacterias y hongos tuvieron producción de celulasas a las 3 temperaturas evaluadas en medio líquido, pero en medio superficial no se evidenció producción enzimática a 45°C para las bacterias. Las dos pruebas realizadas fueron complementarias por lo que evalúa diferentes sistemas enzimáticos. Un tamizaje rápido con medio líquido es un sistema completo y sencillo, con resultados ideales para este tipo de estudios iniciales de selección de cepas celulolíticas. Este estudio es el inicio de la exploración del potencial microbiano natural que habita los residuos agroindustriales hacia la valorización de los mismos.

V. AGRADECIMIENTOS

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Irapuato por todas las facilidades prestadas para la realización de este trabajo.

VI. REFERENCIAS

Azhar, S., Aihetasham, A., Chaudhary, A., Hussain, Z., Abdul Rehman, R., Abbas, G., Alharbi, S. A., Ansari, M. J., & Qamer, S. (2024). Cellulolytic and Ethanologenic Evaluation of *Heterotermes indicola's* gut-Associated Bacterial Isolates. *ACS Omega*, *9*(10). https://doi.org/10.1021/acsomega.3c10030

Bakare, M. K., Adewale, I. O., Ajayi, A., & Shonukan, O. O. (2005). Purification and characterization of cellulase from the wild-type and two improved mutants of *Pseudomonas fluorescens*. *African Journal of Biotechnology*, *4*(9), 898-904.

Belmont-Montefusco, E. L., Nacif-Marçal, L., de Assunção, E. N., Hamada, N., & Nunes-Silva, C. G. (2020). Cultivable cellulolytic fungi isolated from the gut of Amazonian aquatic insects. *Acta Amazonica*, *50*(4), 346–354. https://doi.org/10.1590/1809-4392202000902

da Cruz Ramos, G. F., Ramos, P. L., Passarini, M. R. Z., Vieira Silveira, M. A., Okamoto, D. N., de Oliveira, L. C. G., Zezzo, L. V., Marem, A., Santos Rocha, R. C., da Cruz, J. B., Juliano, L., & de Vasconcellos, S. P. (2016). Cellulolytic and proteolytic ability of bacteria isolated from gastrointestinal tract and composting of a hippopotamus. *AMB Express*, *6*(1). https://doi.org/10.1186/s13568-016-0188-x

Davies, G., & Henrissat, B. (1995). Structures and mechanisms of glycosyl hydrolases. *Structure*, *3*(9). https://doi.org/10.1016/S0969-2126(01)00220-9

de Vries, R. P., & Visser, J. (2001). *Aspergillus* enzymes involved in degradation of plant cell wall polysaccharides. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, *65*(4). https://doi.org/10.1128/mmbr.65.4.497-522.2001

Demissie, M. S., Legesse, N. H., & Tesema, A. A. (2024). Isolation and characterization of cellulase producing bacteria from forest, cow dung, Dashen brewery and agro-industrial waste. *PLoS ONE*, *19*(4), e0301607. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0301607

Desvaux, M. (2005). The cellulosome of *Clostridium cellulolyticum*. *Enzyme and Microbial Technology*, *37*(4). https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2004.04.025

Gupta, V. K., Bakshi, M. P. S., & Langar, P. N. (1987). Microbiological changes during natural fermentation of urea-wheat straw. *Biological Wastes*, *21*(4). https://doi.org/10.1016/0269-7483(87)90074-7

Herculano, P. N., Lima, D. M. M., Fernandes, M. J. S., Neves, R. P., Souza-Motta, C. M., & Porto, A. L. F. (2011). Isolation of cellulolytic fungi from waste of castor (*Ricinus communis* L.). *Current Microbiology*, *62*(5), 1416–1422. https://doi.org/10.1007/s00284-011-9879-3

Islam, F. (2019). Isolation and Characterization of Cellulase-producing Bacteria from Sugar Industry Waste. *American Journal of BioScience*, *7*(1). https://doi.org/10.11648/j.ajbio.20190701.13

Jahangeer, S., Khan, N., Jahangeer, S., Sohail, M., Shahzad, S., Ahmad, A., & Khan, S. A. (2005). Screening and characterization of fungal cellulases isolated from the native environmental source. *Pakistan Journal of Botany*, *37*(3), 739-748.

Kuhad, R. C., Gupta, R., & Singh, A. (2011). Microbial cellulases and their industrial applications. In *Enzyme Research,* 2011(1). https://doi.org/10.4061/2011/280696

Mandels, M., Andreotti, R., & Roche, C. (1976). Measurement of saccharifying cellulase. *Biotechnology and Bioengineering Symposium*, *6*. https://doi.org/10.1186/1754-6834-2-21

Miller, F. C. (2020). Composting of Municipal Solid Waste and its Components. In *Microbiology of Solid Waste*. https://doi.org/10.1201/9780138747268-4

Miller, G. L. (1959). Use of Dinitrosalicylic Acid Reagent for Determination of Reducing Sugar. *Analytical Chemistry*, *31*(3). https://doi.org/10.1021/ac60147a030

M'barek, H. N., Taidi, B., Smaoui, T., Aziz, M. B., Mansouri, A., & Hajjaj, H. (2019). Isolation, screening and identification of ligno-cellulolytic fungi from northern central Morocco. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement,* 23(4), 207–217. https://doi.org/10.25518/1780-4507.18182ï

Odunfa, S. A., & Oyewole, O. B. (1986). Identification of *Bacillus* species from 'iru', a fermented African locust bean product. *Journal of Basic Microbiology*, *26*(2), 101–108. https://doi.org/10.1002/jobm.3620260212

Patel, A. K., Singhania, R. R., Sim, S. J., & Pandey, A. (2019). Thermostable cellulases: Current status and perspectives. In *Bioresource Technology* (Vol. 279). https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.01.049

Percival Zhang, Y. H., Himmel, M. E., & Mielenz, J. R. (2006). Outlook for cellulase improvement: Screening and selection strategies. In *Biotechnology Advances*, 24 (5), 452-481. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2006.03.003

Peterson, R., & Nevalainen, H. (2012). *Trichoderma reesei* RUT-C30 – thirty years of strain improvement. *Microbiology*, *158*(1), 58–68. https://doi.org/10.1099/mic.0.054031-0

Prasanna, H. N., Ramanjaneyulu, G., & Rajasekhar Reddy, B. (2016). Optimization of cellulase production by *Penicillium* sp. *3 Biotech*, *6*(2). https://doi.org/10.1007/s13205-016-0483-x

Rodriguez-Gomez, D., Lehmann, L., Schultz-Jensen, N., Bjerre, A. B., Hobley, T. J.(2012) Examining the Potential of Plasma-Assisted Pretreated Wheat Straw for Enzyme Production by *Trichoderma reesei*. *Applied Biochemistry and Biotechnology,* 166, 2051–2063. https://doi.org/10.1007/s12010-012-9631-x

Rodriguez-Gomez, D., & Hobley, T. J. (2013). Is an organic nitrogen source needed for cellulase production by *Trichoderma reesei* Rut-C30?. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, *29*, 2157-2165. https://doi.org/10.1007/s11274-013-1381-6

SAGARPA. (2015). Plan de manejo de residuos generados en actividades agrícolas primera etapa: diagnóstico nacional. [Archivo PDF]. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/346978/Manejo_de_residuos_Detallado.pdf

Sethi, S., Datta, A., Gupta, B. L., & Gupta, S. (2013). Optimization of Cellulase Production from Bacteria Isolated from Soil. *International Scholarly Research Notices, Biotechnology*, 2013(1), 985685. https://doi.org/10.5402/2013/985685

Teather, R. M., & Wood, P. J. (1982). Use of Congo Red-polysaccharide interactions in enumeration and characterization of cellulolytic bacteria from the bovine rumen. *Applied and Environmental Microbiology*, *43*(4). https://doi.org/10.1128/aem.43.4.777-780.1982

Varalakshmi, K. N., Kumudini, B. S., Nandini, B. N., Solomon, J., Suhas, R., Mahesh, B., & Kavitha, A. P. (2009). Production and characterization of α-amylase from *Aspergillus niger* JGI 24 isolated in Bangalore. *Polish Journal of Microbiology*, *58*(1), 29-36. PMID: 19469283

Viikari, L., Alapuranen, M., Puranen, T., Vehmaanperä, J., & Siika-aho, M. (2007). Thermostable enzymes in lignocellulose hydrolysis. In Olsson, L. (Ed.). In Biofuels. Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology, 108. 121–145. Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/10_2007_065

Wang, J., Bao, F., Wei, H., & Zhang, Y. (2024). Screening of cellulose-degrading bacteria and optimization of cellulase production from *Bacillus cereus* A49 through response surface methodology. *Scientific Reports*, *14*(1). https://doi.org/10.1038/s41598-024-58540-7

Xia, L., & Cen, P. (1999). Cellulase production by solid state fermentation on lignocellulosic waste from the xylose industry. *Process Biochemistry*, *34*(9). https://doi.org/10.1016/S0032-9592(99)00015-1

Xiao, Z., Storms, R., & Tsang, A. (2004). Microplate-based filter paper assay to measure total cellulase activity. *Biotechnology and bioengineering*, *88*(7), 832-837. https://doi.org/10.1002/bit.20286

Yepes, S. M., Montoya Naranjo, L. J., & Orozco Sánchez, F. (2008). Valorización de residuos agroindustriales - frutas - en Medellín y el sur del valle del Aburrá, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía – Medellín, 61*(1), 4422-4431.

VII. AUTORES

Fatima Navarro Mosqueda
https://orcid.org/0009-0002-7477-0262

Varinia López Ramírez
https://orcid.org/0000-0002-0948-9960

Ricardo Morales Rodríguez
https://orcid.org/0000-0001-5909-2155

Divanery Rodríguez Gómez
https://orcid.org/0000-0002-4457-5338

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

Evaluación de Nivel Tecnológico de un Software de Gestión de Residencias Profesionales, Basado en el Modelo de Madurez KTH

Moreno-Núñez, E.[1]; Rodríguez-Lozano, K. V.[1] ✉, Flores-Luévanos, M. G.[1];

Datos de Adscripción:
[1] Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. Av. Tecnológico No. 1555 sur. C.P. 35150. Periférico Gómez-Lerdo Km. 14.5. Cd. Lerdo, Dgo. México.

✉ karla.rl@lerdo.tecnm.mx

Resumen **- Este artículo tiene como propósito describir el proceso de evaluación de innovación tecnológica y de preparación para el mercado, realizado a un sistema web para la gestión del proceso de residencias profesionales, desarrollado para el campus Lerdo del Tecnológico Nacional de México. La evaluación realizada se basa en las clasificaciones de niveles de madurez tecnológica propuestas por el grupo de innovación del Real Instituto de Tecnología de Suecia KTH Innovation, que promueve la estandarización y las métricas en el desarrollo de la innovación. Para este trabajo se utilizó el KTH Innovation Readiness Level™ como marco de evaluación en las dimensiones clave de la innovación tecnológica, a partir de un conjunto de enfoques clave en seis niveles de madurez: del cliente (CRL), tecnológica (TRL), del negocio (BRL), de propiedad intelectual (IPRL), del equipo (TMRL) y para el financiamiento (FRL). El resultado es una evaluación objetiva del estado actual de la madurez del sistema en cada una de esas áreas y un valioso conjunto de directrices para progresar en las dimensiones de la innovación tecnológica. Se presenta el procedimiento para la evaluación, los puntajes obtenidos en cada una de las clasificaciones, entre ellas: TRL la mayor con nivel 6; FRL y BRL en nivel 2 y la hoja de ruta con acciones clave orientadoras para el progreso de la innovación, que va desde el desarrollo de la idea inicial hasta su introducción al mercado.**

Palabras Clave **– Innovación, Métricas, Modelo KTH, Nivel de Madurez, Tecnología**

Abstract **- The purpose of this article is to describe the process of technological innovation and market readiness evaluation, carried out for a web system for the management of the process of professional residencies, developed for the Lerdo campus of the Tecnologico Nacional de México. The assessment is based on the classifications of technological maturity levels proposed by the innovation group of the Royal Swedish Institute of Technology KTH Innovation, which promotes standardization and metrics in the development of innovation.For this work, the KTH Innovation Readiness Level™ was used as an evaluation framework for the key dimensions of technological innovation, based on a set of key approaches at the six levels of maturity: customer (CRL), technological (TRL), business (BRL), intellectual property (IPRL), team (TMRL) and financing (FRL). The result is an objective assessment of the current state of system maturity in each of these areas and a valuable set of guidelines for progress in the dimensions of technological innovation. The procedure for the evaluation, the scores obtained in each of the classifications, including: TRL the highest at level 6; FRL and BRL at levels 2, and the roadmap with key guiding actions for the progress of innovation, which goes from the development of the initial idea to its introduction to the market are presented in this document.**

Keywords **- Innovation, Metrics, KTH Model, Maturity Level, Technology**

I. INTRODUCCIÓN

El Sistema Web para la Gestión del Proceso de Residencia (SIGEPRORE) es un software institucional desarrollado con la metodología SCRUM, para apoyar a todos los involucrados en el proceso de residencia profesional del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo (ITSL). Este sistema web contiene todas las políticas operativas de la residencia profesional y del sistema de gestión de la calidad del ITSL (Rodríguez, Moreno, Arzola y Flores, 2021).

Desde su lanzamiento en 2020, SIGEPRORE ha transformado positivamente la dinámica laboral de los participantes en el proceso, marcando una diferencia notable durante la crisis de COVID-19. Este éxito ha motivado la propuesta de un proyecto emprendedor que busca expandir el alcance del sistema a otros campus del TecNM, implementando el modelo de software como servicio.

Se formuló un proyecto de emprendimiento científico-tecnológico con el modelo *Push-Pull,* con el propósito de definir un conjunto de acciones y procesos para la implementación del emprendimiento, evaluar la viabilidad comercial del producto de software y de la estrategia de comercialización. (Rodríguez, Arzola, Moreno y Flores, 2022).

En la preparación para lograr la comercialización del software, se aplica la evaluación a innovaciones tecnológicas y de preparación para el mercado KTH Innovation Readiness Level™, propuesto por el grupo de innovación del Real Instituto de Tecnología de Suecia KTH Innovation.

El Nivel de Preparación para la Innovación de KTH™ (KTH Innovation Readiness Level™) es un marco completo (método, herramienta visual y biblioteca de recursos) que guía el desarrollo de ideas innovadoras, desde su concepción hasta su introducción como un producto o servicio innovador en el mercado. (KTH Innovation, 2024).

Proporciona directrices de evaluación en seis dimensiones clave para el desarrollo exitoso de la innovación, a partir de un conjunto de enfoques clave en seis niveles de madurez: del cliente (CRL), tecnológica (TRL), del negocio (BRL), de propiedad intelectual (IPRL), del equipo (TMRL) y para el financiamiento (FRL).

Cada dimensión ofrece una escala de medición de nueve niveles, presentada en forma de termómetro, que permite mapear el estado de madurez de la idea. El marco de evaluación de KTH

proporciona recursos visuales y definiciones en aspectos cruciales, que clarifican a los interesados en el proceso innovador – dueños de las ideas, gerentes de negocio, asociados, asesores, entre otros- las acciones y criterios a seguir, como una "hoja de ruta" y los hitos a alcanzar para escalar al siguiente nivel.

Cabe mencionar que este marco de preparación para la Innovación de KTH™ se basa en el Nivel de Preparación Tecnológica de la NASA (Modesto, 2022) pero a diferencia de éste, KTH™ agrega otras áreas adicionales importantes de preparación para el proceso innovador: el cliente, el negocio, la protección intelectual, el equipo de desarrollo y el financiamiento. Además, el modelo es genérico y aplicable a variados conceptos de negocio, independientemente del área tecnológica. (KTH Innovation, 2024).

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

2.1 Marco de Evaluación

Para este trabajo se utilizó el KTH Innovation Readiness Level™ como marco de evaluación en las dimensiones clave de la innovación tecnológica, a partir de un conjunto de enfoques clave en seis niveles de madurez: del cliente (CRL), tecnológica (TRL), del negocio (BRL), de propiedad intelectual (IPRL), del equipo (TMRL) y para el financiamiento (FRL).

TRL. El nivel de preparación tecnológica (Technology Readiness Level o TRL, por sus siglas en inglés) se emplea para evaluar el grado de madurez de una tecnología específica. Cada proyecto tecnológico se examina en función de criterios específicos del nivel tecnológico y se le asigna una calificación TRL basada en su avance (Nolte, 2008). Existen nueve niveles de preparación tecnológica, donde TRL 1 representa el nivel más bajo y TRL 9 el más alto (Manning, 2023). En el TRL 1, la investigación científica inicia y los resultados se utilizan para futuras investigaciones y desarrollos. Una tecnología alcanza el TRL 9 cuando ha sido implementada con éxito en un sistema tecnológico existente (Bedoya y Gómez, 2021).

Tabla 1
Niveles TRL (Adaptado de kthinnovation readiness level)

Nivel de madurez	*Descripción*
TRL 9	La tecnología integral ha sido escalable y su eficacia se ha comprobado en operaciones prácticas con múltiples usuarios durante un periodo extendido**.**
TRL 8	En este nivel el producto está completo, evaluado, probado y validada para ambiente real. Aquí también el producto o servicio es comercializable.
TRL 7	Se ha demostrado un prototipo a nivel de sistema en un entorno operativo real, logrando una producción a pequeña escala.
TRL 6	La tecnología se demuestra en un entorno que cumple con todos los requisitos y especificaciones operativas donde la tecnología será utilizada por los usuarios finales.
TRL 5	La tecnología se valida en un laboratorio, pero bajo condiciones que imitan las del entorno real.
TRL 4	Se lleva a cabo una validación tecnológica de un prototipo inicial con componentes integrados en el laboratorio, aunque con baja confiabilidad en su desempeño
TRL 3	Se lleva a cabo una investigación de laboratorio mediante una prueba experimental de concepto, siendo esta la primera evaluación de la viabilidad de un concepto y su tecnología.
TRL 2	Las aplicaciones prácticas pueden definirse o investigarse, pero son especulativas y no hay pruebas o análisis detallados de que la tecnología funcionará.
TRL 1	Existe una idea vaga de una tecnología por desarrollar con beneficios potenciales o aplicaciones útiles identificadas.

IPRL. La propiedad intelectual es el conjunto de los derechos legales que protegen las invenciones de los seres humanos; se conforman de patentes, derechos de autoría, registros de propiedad, entre otros. La propiedad intelectual otorga a los propietarios o creadores el derecho exclusivo de utilizar, reproducir o distribuir sus creaciones durante un lapso específico. Intellectual Property Readiness Level (IPRL) o nivel de preparación de la propiedad intelectual define la dinámica de la transición entre los niveles de madurez de la propiedad intelectual, mediante conjuntos de listas de cotejo y de acciones orientadoras.

El marco de evaluación IPRL se compone de nueve niveles, en el nivel 1 –el mínimo- se elaboran suposiciones de las posibles reglas de propiedad intelectual aplicables a la invención: patentes, software, derechos de autor, diseños, secretos comerciales. En el máximo nivel 9, se tiene un fuerte apoyo y protección de diversas reglas de propiedad para el negocio y/o se cuenta con la concesión de patentes internacionales vigentes.

Tabla 2
*Niveles IPRL (*Adaptado de kthinnovation readiness level)

Nivel de madurez	*Descripción*
IPRL 9	Se tiene una protección de la propiedad intelectual, la cual, está concedida y mantenida en varios países relevantes para el negocio. La empresa se enfoca en la ejecución con el crecimiento de las ventas.
IPRL 8	La estrategia de propiedad intelectual está completamente implementada y concedida en el primer país/región con un alcance relevante para el negocio.
IPRL 7	Se puede registrar la propiedad intelectual (IPR) para la entrada en la fase nacional.
IPRL 6	Estrategia completa para el registro de propiedad intelectual validada por un profesional.
IPRL 5	Análisis de las diferentes formas de registro de propiedad intelectual generando la primera solicitud de patente completa.
IPRL 4	Posibilidades confirmadas para la protección de la propiedad intelectual mediante el análisis de un profesional.
IPRL 3	Se considera las formas de propiedad intelectual que son clave y que podrían ser protegidas.
IPRL 2	Se han mapeado diferentes formas de propiedad intelectual.
IPRL 1	Se confirma la posibilidad de tener propiedad intelectual.

CRL. (Commercial Readiness Level) Nivel de preparación comercial, es una medida que evalúa la madurez comercial de una tecnología en una escala de 1 a 9 (Scimita Ventures, 2024) Comienza en CRL 1 cuando surge por primera vez el potencial comercial y finaliza en CRL 9 cuando se generan ingresos a partir del producto tecnológico. El CRL es crucial para determinar si un nuevo producto está listo para ser aceptado en el mercado.
En un mercado global en constante desarrollo y con una creciente competencia, se volvió crucial cerrar la brecha entre los desarrolladores de tecnología y los estrategas comerciales. La CRL se desarrolló como un enfoque sistemático para ayudar a las empresas a navegar por el complejo mundo de la innovación y la dinámica del mercado, evaluando si un nuevo producto está listo para ser ampliamente aceptado (Ávila y Ramírez, 2021).

Tabla 3
Niveles CRL (Adaptado de kthinnovation readiness level)

Nivel de madurez	*Descripción*
CRL 9	El nivel más alto de CRL implica el lanzamiento oficial al mercado, donde los clientes generan ingresos a medida que compran el producto. Significa que se ha logrado una transición exitosa entre el desarrollo y la comercialización.
CRL 8	Los clientes se comprometen a utilizar la tecnología, marcando la transición de los pedidos condicionales a los reales. Este nivel a menudo significa los primeros ingresos reales y se valida el camino para aumentar la producción.
CRL 7	El modelo financiero, que incluye estructuras de costos, estrategias de precios y proyecciones de ingresos, Los ensayos evalúan el desempeño en la vida real.
CRL 6	Este nivel fomenta el cumplimiento de los requisitos del reglamento y establece vínculos con organizaciones que ayudan a aprobar el reglamento.
CRL 5	En esta fase crucial, se verifica la conformidad con los principales participantes del mercado. Se establecen relaciones y colaboraciones, se pueden garantizar pedidos condicionales y se comprenden completamente los requisitos y precios del reglamento.
CRL 4	Las propuestas de valor técnico y comercial de CRL 4 se validan a través de la investigación de mercado y la retroalimentación. Los conocimientos permiten mejorar las estrategias.
CRL 3	Se analizan las necesidades de los clientes, los competidores y el posicionamiento de la tecnología para ampliar la comprensión de los mercados potenciales. Es un paso crucial para determinar la competitividad y prepararse para el compromiso con los inversores y las partes interesadas
CRL 2	implica medir los factores fundamentales del mercado, como las tendencias, los segmentos de clientes y el tamaño del mercado. Para evaluar la viabilidad y el retorno de la inversión de una oportunidad comercial, incluye el desarrollo, la prueba y la cuantificación de hipótesis de modelos de negocio.
CRL 1	Reconocemos la posibilidad de una oportunidad comercial, sin embargo, esta es solo una primera observación sin un análisis o validación. No hemos completado nuestras estrategias ni hemos comprendido el comportamiento de los clientes y la competencia.

BRL. (Business Readiness Level) Nivel de Preparación Empresarial (BRL) es una escala que mide la capacidad de un producto, servicio o solución para salir al mercado siendo útil. Los niveles de preparación tecnológica (TRL) evalúan la madurez tecnológica desde la concepción hasta la comercialización, mientras que el BRL se enfoca en la preparación empresarial.

Tabla 4
Niveles BRL (Adaptado de kthinnovation readiness level)

Nivel de Madurez	*Descripción*
BRL9	El modelo de negocios es sólido y está creciendo con los ingresos constantes, lo que lo convierte en una empresa rentable y sostenible.
BRL8	Las métricas y las ventas demuestran que el modelo de negocio sigue siendo viable y puede crecer.
BRL7	El ajuste del producto y la disposición de pago del cliente se muestran.
BRL6	El ajuste del producto y la disposición de pago del cliente se muestran.
BRL5	La versión inicial del modelo de ingresos, que incluye hipótesis de precios.
BLR4	Primera proyección para demostrar el potencial del mercado y la viabilidad económica.
BRL3	Borrador de modelo de canvas de negocios.
BRL2	Primer concepto de negocio potencial.
BRL1	Imaginar una idea de negocio potencial.

TMRL. Team Readiness Level. Se refiere al nivel de preparación del equipo de trabajo involucrado en el desarrollo del proyecto. En el TMRL 9, el equipo es interdisciplinario, de alto desempeño, con una sólida cultura de trabajo con estructura organizacional, roles y procesos definidos, y los miembros del equipo están en un proceso de mejora continua de sus habilidades profesionales y están motivados para alcanzar sus objetivos, alineados a la estrategia del negocio. El propósito del equipo es apoyar el proceso de innovación y de introducción del producto al mercado (KTH Innovation, 2024).

Tabla 5
*Niveles TMRL (*Adaptado de kthinnovation readiness level)

Nivel de madurez	*Descripción*
TMRL 9	El equipo y organización es de alto rendimiento con una buena estructura desempeñándose de forma eficiente.
TMRL 8	La dirección y CEO están establecidos teniendo un plan activado de reclutamiento para formar un equipo a largo plazo.
TMRL 7	El equipo está completamente establecido y desarrollado de manera proactiva y se tiene un plan actualizado para construir el equipo necesario a largo plazo
TMRL 6	Se cuenta con un equipo complementario, diverso y comprometido.
TMRL 5	Se tiene un equipo fundador con las competencias necesarias y está de acuerdo en los roles y metas.
TMRL 4	Existe una persona comprometida a llevar adelante el proyecto generando un plan de reclutamiento.
TMRL 3	Uno o varios individuos cuentan con algunas competencias.
TMRL 2	Visión de la idea sobre las competencias necesarias del equipo de trabajo.
TMRL 1	Poca comprensión de la necesidad de un equipo.

FRL es una medida que evalúa la preparación de una idea o tecnología para recibir inversión y asegurar financiamiento se centra en la viabilidad comercial y la posibilidad de atraer inversión. El FRL se utiliza para evaluar la viabilidad de un producto o servicio antes de su comercialización. Es especialmente relevante en proyectos de innovación tecnológica, donde se busca superar el "Valle de la Muerte" (una etapa de vacío entre la investigación y el lanzamiento al mercado) (Scimita Ventures, 2024).

Tabla 6
Niveles FRL (Adaptado de kthinnovation readiness level)

Nivel de Madurez	*Descripción*
FRL9	Obtención de inversión. Se consideran continuamente las necesidades y opciones de inversión adicionales.
FRL8	Existe un orden corporativo y una estructura que permite la inversión. Conversaciones sobre hojas de términos con inversores interesados.
FRL7	El equipo presenta un sólido caso de inversión que incluye el estado actual y los planes. Las discusiones con posibles inversores están en curso en torno a una oferta.
FRL6	Se ha mejorado la presentación para inversores, incluyendo aspectos comerciales y financieros. Se ha decidido buscar inversores privados y se han establecido contactos iniciales.
FRL5	Se ha probado una presentación orientada al inversor y el material de apoyo. Se ha solicitado y asegurado financiamiento adicional más grande.
FRL4	Se tiene una buena presentación breve del negocio y un plan con diferentes opciones de financiamiento a lo largo del tiempo.
FRL3	Se ha descrito bien el concepto de negocio y se ha establecido un plan de verificación inicial. Se ha asegurado un primer financiamiento suave pequeño.
FRL2	Se ha proporcionado una descripción del concepto de negocio (por ejemplo, NABC). Se han definido las necesidades de financiamiento y las opciones para hitos iniciales.
FRL1	Idea de negocio inicial con descripción vaga. No hay una visión clara de las necesidades y opciones de financiamiento.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Evaluación en la escala CRL.

A inicios de 2020 se terminó la primera versión del SIGEPRORE que, debido a la naturaleza ágil de su desarrollo, se basó en las necesidades expresadas por los usuarios potenciales del sistema: los jefes de división, cuya función principal es coordinar las tareas académicas de cada carrera profesional que oferta el ITSL; el director académico, los asesores de residencia, tanto internos como externos y los estudiantes de último semestre, quienes realizan su residencia profesional en alguna empresa. Se mantuvo un canal de comunicación abierto entre el líder del proyecto, el equipo de desarrollo y los potenciales usuarios del software mediante reuniones periódicas semanales. (Rodríguez, Moreno, Arzola y Flores, 2021). Una vez que el sistema se puso en producción y se estuvo utilizando para la gestión de las residencias profesionales durante un semestre, se aplicó una encuesta para recoger la retroalimentación de los clientes acerca de su funcionalidad, seguridad, controles, diseño entre otros aspectos, que fueron agregados al software en su versión 2.0 (2021), lo que confirmó la importancia otorgada al sistema de gestión por parte de sus usuarios; Así mismo, como acción derivada de la obtención del registro ante INDAUTOR, se analizó el mercado potencial para comercializar la invención tecnológica: se realizó la identificación de los asociados de carácter económico tanto al interior como externos al ITSL y los principales consumidores del SIGEPRORE: los campus federales y descentralizados del Tecnológico Nacional de México. (Rodríguez, Arzola, Moreno y Flores, 2022). Para validar la propuesta de valor y la estrategia comercial a seguir, se establecieron contactos con los tecnológicos cercanos al área geográfica del instituto quienes confirmaron la necesidad de gestionar mediante un software sus procesos de residencia profesional. Gracias a estas comunicaciones, se ha realizado la segmentación de clientes y definido una hipótesis primaria de emprendimiento mediante el modelo Push & Pull y una estrategia de comercialización basada en el Software como servicio (SaaS) (Rodríguez, Arzola, Moreno y Flores, 2022).

El proyecto tecnológico se evalúa en el CRL 4; múltiples usuarios y consumidores confirman la necesidad e importancia de la innovación, el conocimiento detallado del cliente se ha incrementado y los supuestos de comercialización del producto están definidos, con base en la retroalimentación de usuarios y clientes potenciales del sistema. Las acciones específicas que se deben realizar para escalar el proyecto al siguiente nivel CRL (5) en un corto plazo (3 meses) son: establecer los contactos con los posibles socios, clientes y usuarios en un modelo B2B (campus del Tecnológico Nacional de México y otras instituciones de educación superior "IES") para proveer actualizaciones o mejoras al proyecto; lograr un entendimiento más profundo del mercado y fortalecer relaciones con clientes potenciales, usuarios o socios objetivo, intercambiando información sobre requisitos y prototipos iniciales, que resulten en una hipótesis de producto actualizada.

3.2 Evaluación en la escala TRL.

El software de gestión de residencias profesionales se construyó mediante un modelo de diseño ágil en 2019 y se implementó en el 2020 como un sistema web en un servidor de aplicaciones institucionales lo que permitió realizar pruebas de ejecución en un entorno real y permitió ubicar la madurez de la tecnología en el nivel 6.

Una tecnología TRL 6 tiene un prototipo completamente funcional o un modelo representativo. Las actividades TRL alcanzadas mediante la implementación de la plataforma web son: integración de tecnologías alineadas al producto, usuarios potenciales para las pruebas de la versión final y pruebas del producto a baja escala; limitadas al campus del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo.

El nivel TRL7 requiere que el modelo de trabajo o prototipo se demuestre en un entorno espacial, por lo que las actividades a realizar para conducir el proyecto al siguiente nivel (TRL7) en un corto plazo son: el diseño de la estructura organizacional adecuada para la implementación y la definición de un proceso de manufactura operacional que permita la producción comercial en baja escala, para un número limitado de campus del TecNM,

y tener la organización operativa focalizada en mercadotecnia, logística y distribución.

En el nivel TRL 8 refiere que se tiene un producto comercializable cuya versión final se ha probado, cumple con los estándares de la industria y que los documentos para usarlo y mantenerlo (manual del usuario, soporte técnico) están disponibles. En el TRL 8, el sistema web estará listo para implementarse en el sistema tecnológico ya existente. Cuando el producto tecnológico sea demandado para su implementación en los campus del TecNM y los cambios de funcionalidad y calidad se optimicen con innovaciones incrementales sostenidas e implementadas exitosamente, se llamará TRL 9.

3.3 Evaluación en la escala BRL.

El equipo de desarrollo logró describir el primer posible concepto de negocio de una manera estructurada, que se plasmó en la One Pager de la propuesta, representando la información relevante del negocio: problema, solución, tamaño de mercado, modelo de negocio, entre otros (Rodríguez, Arzola, Moreno y Flores, 2022).

El análisis de la escala BRL ha permitido identificar el mercado actual: la comunidad académica del ITSL y como mercado para una expansión en el corto plazo a tres campus en la misma región geográfica; el mercado total disponible (TAM) es la totalidad de campus del TecNM: 126 campus federales y 122 descentralizados. Se ha identificado el modelo de negocio SaaS como viable para la comercialización y se ha identificado a posibles competidores, siendo éstas las empresas tecnológicas que crean soluciones de software a la medida en el mismo ITSL y en la mayoría de los campus del TecNM. Se ha logrado el primer borrador del modelo de negocio con las evaluaciones cualitativa y cuantitativa de la viabilidad comercial del proyecto de innovación.

Con los resultados descritos, el proyecto se evalúa en el nivel BRL 2; las acciones específicas a realizar en un corto plazo, para subir al nivel BRL 3 son: tener una visión completa de la competencia, con los competidores directos, los indirectos y las alternativas; lograr una descripción del mercado más detallada, con aplicaciones identificadas y segmentos de mercado más específicos; realizar nuevamente un lienzo del modelo de negocio con la información completa y actualización de los costos directos e indirectos, con miras a generar interés en los clientes e inversores.

3.4 *Evaluación en la escala IPRL.*

A raíz de la puesta en marcha del software de gestión de residencias profesionales en el 2020, los autores se dieron a la tarea de explorar exhaustivamente el estado del arte mediante análisis de publicaciones y de soluciones de vanguardia acordes al software desarrollado, para lo que se realizaron búsquedas en diferentes fuentes y se decidió recurrir al apoyo de profesionales de una firma legal, quienes confirmaron en la base de datos del Instituto Nacional del Derecho de Autor (INDAUTOR) que se trataba de una innovación no registrada previamente y con posibilidad de obtención de protección intelectual, asimismo, se analizaron formas alternativas de protección y la Dirección del instituto confirmó la relevancia de proteger la propiedad intelectual del software, por lo que se presentó la solicitud de registro ante el INDAUTOR en la Ciudad de México. En el 2021 el Sistema Web para la Gestión del Procedimiento de Residencia obtuvo su inscripción ante el Registro Público del Derecho de Autor, en la rama programas de computación. El Instituto Tecnológico Superior de Lerdo (ITSL) es el titular de los derechos y se otorga el reconocimiento a los autores de la obra. Cabe mencionar que, desde el año 2020, el software se ha utilizado en el ITSL para la gestión del procedimiento de residencias profesionales. Por lo anteriormente descrito y con base en la escala de evaluación para IPRL, el nivel actual de la innovación es el 4 y las actividades a realizar para conducir el proyecto al IPRL5 al corto plazo son: el diseño y la ejecución de una estrategia para utilizar la propiedad intelectual en el Tecnológico Nacional de México; realizar un análisis profesional de adicionales y diferentes formas de propiedad intelectual que podrían ser utilizadas y describir estrategias para agregar valor al negocio y mejorar el valor de posibles solicitudes de protección adicional, como datos de respaldo, nuevos detalles adicionales, entre otros que se deberán definir.

3.5 Evaluación en la escala TMRL

El sistema (SIGEPRORE) en sus versiones 1.0 y 2.0 fue desarrollado bajo la responsabilidad de un equipo menor a 10 personas, en el cual se priorizó la interacción entre los miembros; ante cualquier problema reportado, todos los integrantes del equipo aportaban a la solución y uno o dos desarrolladores se encargaban de su implementación, sin afectar el proceso de desarrollo. (Rodríguez, Moreno, Arzola y Flores, 2021).

En el equipo de trabajo se distinguen los siguientes roles: creadores de la innovación; líder de equipo de desarrollo (Scrum Master) quien está a cargo de la ejecución de la metodología Scrum y de enfocar a los miembros del equipo en las prácticas y principios de ésta; los desarrolladores (Developers Scrum) que son los analistas, programadores, diseñadores, etc. que aportan en la construcción y desarrollo del producto y el director de tecnología (CTO Chief Technology Officer), que es la persona responsable de la Subdirección de Posgrado e Investigación del ITSL.

Por lo anterior, se considera que el TMRL está en un nivel 3, puesto que si bien varias de las competencias técnicas y recursos necesarios están presentes, no todos los integrantes del equipo las poseen en su totalidad; sin embargo, las destrezas y recursos existentes y necesarios han sido definidos y se han identificado las brechas a solucionar, entre las que se incluyen: una capacitación formal para los desarrolladores en las prácticas de la metodología de desarrollo; fortalecimiento de las habilidades del equipo en los marcos de trabajo PSP (Personal Software Process) y TSP (Team Software Process), para lo cual ya se ha establecido un plan de equipo inicial para lo que es necesario a corto plazo (menos de un año) y cómo adquirir las competencias priorizadas.

Las acciones para lograr en un corto plazo el TMRL4 son: poner en marcha actividades para asegurar recursos clave, por ejemplo, mediante la participación en asociaciones; afinar los roles y responsabilidades de los integrantes y su compromiso a futuro con el proyecto; reclutar personas con las habilidades necesarias definidas.

3.6 Evaluación en la escala FRL

El SIGEPRORE obtuvo su registro ante el Tecnológico Nacional de México como proyecto de innovación tecnológica en 2021, por lo que se obtuvo un financiamiento del TecNM para el desarrollo de la versión 2.0, que esencialmente se destinó a insumos, accesorios de equipo de cómputo, alojamiento en la

nube para pruebas y el pago del registro de la propiedad intelectual ante INDAUTOR. Desde entonces no se han conseguido otros fondos, por lo que entre los principales desafíos para la comercialización está el conseguir socios inversores para la implementación del proyecto y el licenciamiento comercial.
La evaluación del proyecto en la escala FRL es el nivel 2, debido a las siguientes consideraciones: la idea del negocio se ha descrito suficientemente; el equipo ha definido un plan básico con opciones de financiación para los objetivos iniciales en el corto plazo (de 3 a 6 meses), que incluye el registro de la marca y la obtención de financiamiento; los socios potenciales son los planteles del Tecnológico Nacional de la misma región, a quienes se les ofertará en primera instancia una prueba piloto sin costo, por un lapso específico. La proyección a largo plazo es la distribución y licenciamiento por uso en todos los campus del TecNM.

A continuación, se presentan los productos generados durante el proceso de revisión del proyecto de innovación tecnológica, que sirven de consideraciones para la evaluación con el marco KTH Innovation Readiness Level™

En la figura 1 se muestra la One-Pager del proyecto de innovación, incluye la propuesta de valor: automatización del proceso de residencia profesional del TecNM, el software está en producción cumpliendo con altos niveles de calidad, evidenciando reducción de tiempos en las actividades del proceso y rapidez en la atención al cliente y se ha identificado el modelo de negocio de Software como Servicio (SaaS). Se está en el proceso de mapear las necesidades de financiación iniciales para los pasos clave iniciales, los hitos y la relación costos/presupuesto.

Figura 1
One-Pager del emprendimiento

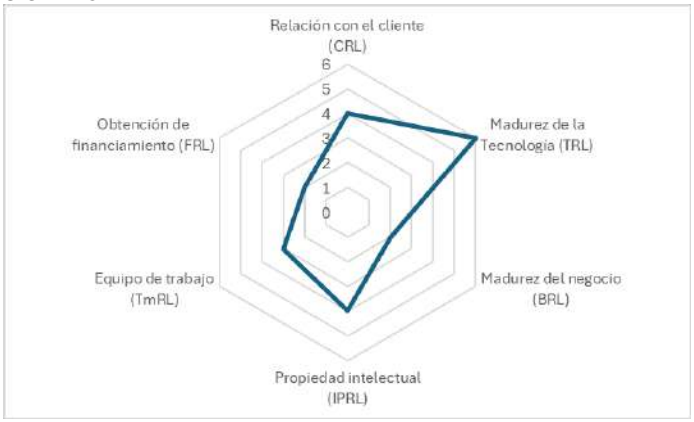
En la tabla 7 se muestran los niveles de madurez obtenidos en las seis dimensiones clave evaluadas; los argumentos considerados para la puntuación en cada área se han descrito suficientemente en la parte técnica de este artículo.

Tabla 7
Niveles de madurez del SIGEPRORE, en el marco de evaluación de KTH Innovation Readiness Level™

Dimensión evaluada	*Nivel alcanzado*
Relación con el cliente (CRL)	4
Madurez de la Tecnología (TRL)	6
Madurez del negocio (BRL)	2
Propiedad intelectual (IPRL)	4
Equipo de trabajo (TMRL)	3
Obtención de financiamiento (FRL)	2

En la figura 2 se presenta gráficamente la evaluación obtenida en cada una de las seis áreas clave, para su mejor apreciación. Se observa claramente que el mayor nivel de madurez del producto es en la tecnología (TRL) seguido de la propiedad intelectual y la relación con los clientes. Las áreas de oportunidad que deben ser atendidas en el corto plazo son el nivel de preparación del negocio, la obtención de fondos y el equipo de trabajo.

Figura 2
Gráfico de red de la evaluación de los niveles de madurez del SIGEPRORE



En la figura 3 se muestra la hoja de ruta que se elaboró para el progreso de la innovación tecnológica, incluye las acciones clave orientadoras que se lograron identificar con la aplicación de la evaluación KTH Innovation Readiness Level™.
Esta hoja de ruta fue realizada con el software de gestión de proyectos de uso libre en línea GanttPro®

En la figura 4 se visualiza el complemento de la hoja de ruta, con el cronograma asociado a cada una de las tareas y sus hitos. Las tareas están planeadas en un lapso de ocho meses del presente año (2024) y su cumplimiento permitirá escalar al siguiente nivel de madurez en cada una de las seis áreas clave de la innovación tecnológica detalladas en este artículo.

Figura 3
Hoja de ruta para escalar en los niveles de madurez de KTH

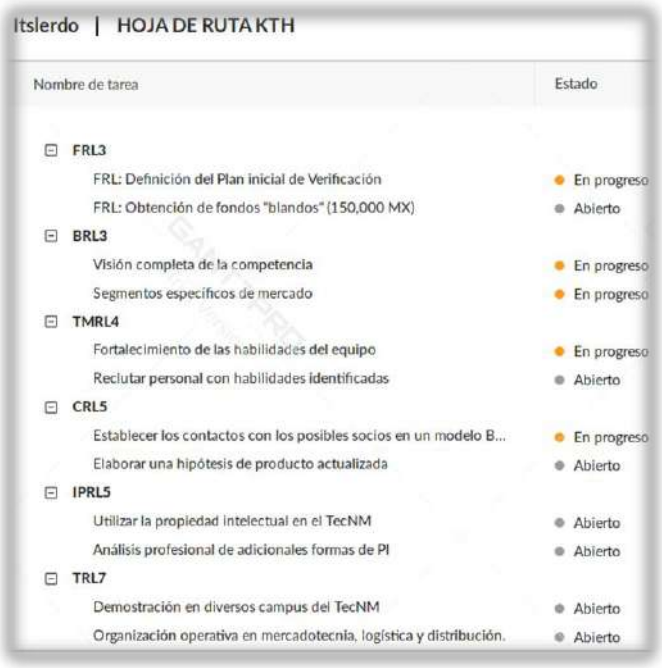
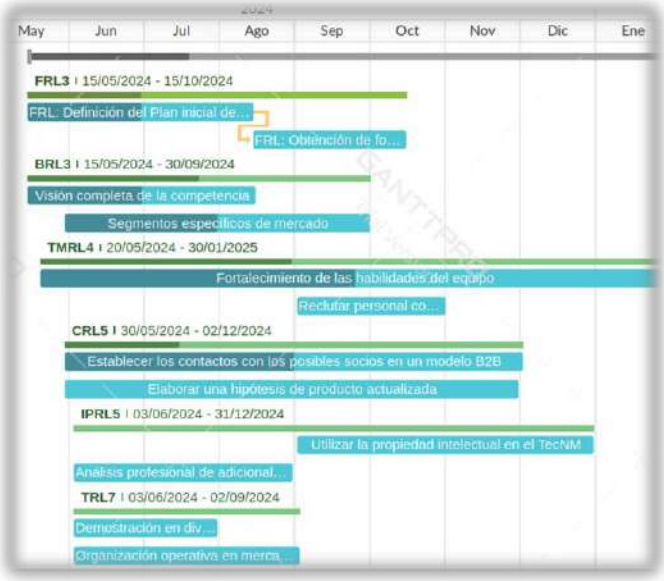


Figura 4
Cronograma de la hoja de ruta



IV. CONCLUSIONES

El objetivo del proyecto fue someter a un proceso de evaluación de innovación tecnológica el producto de software creado para la optimización de la gestión del proceso de residencias profesionales del TecNM campus Lerdo del ITSL; se evidencia que ese objetivo se cumplió en su totalidad y que la implementación del modelo de madurez KTH puede contribuir a la creación de una cultura organizacional centrada en el aprendizaje continuo, la colaboración y la innovación, que impactan positivamente en un proyecto de desarrollo de software al mejorar la gestión del conocimiento.

El sistema de gestión del proceso de residencias profesionales ha experimentado una evaluación detallada utilizando el marco de KTH Innovation Readiness Level™. Esta evaluación reveló logros significativos en áreas como madurez tecnológica y relaciones con los clientes. Sin embargo, también identificó áreas de mejora, como la preparación del negocio, el equipo de trabajo y la obtención de financiamiento.

Estos hallazgos han permitido elaborar una hoja de ruta clara para el progreso futuro del proyecto de innovación, que permite al equipo de trabajo enfocarse en la comercialización y optimización del producto.

Este análisis exhaustivo destaca la importancia de seguir buscando el desarrollo sostenido y exitoso de esta innovación tecnológica, que sin duda beneficiará a la comunidad académica y a los usuarios del sistema en el TecNM, en la automatización del tratamiento de la información en el proceso de residencias profesionales.

V. AGRADECIMIENTOS

Las autoras expresan su gratitud al M.D.G.P.T. Jesús Alejandro Valdés Nieblas, responsable de la Subdirección de Posgrado e Investigación del Tecnológico Nacional de México campus Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, por su invaluable respaldo en este proyecto; a ambas instituciones TecNM e ITSL por brindar los recursos necesarios para llevar a cabo la investigación; al Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Durango (COCYTED) por la capacitación en emprendimiento científico; un agradecimiento especial a los estudiantes del ITSL que han participado en este proyecto por su dedicación, entusiasmo y esfuerzo: su colaboración ha sido fundamental para alcanzar los objetivos planteados.

VI. REFERENCIAS

Arzola J.M, Castro, I., Flores, M.G., Moreno, E., Rodríguez, K.V., Valdez, J.A (16 de noviembre de 2021) Sistema Web para la Gestión del Procedimiento de Residencia. Registro Público del Derecho de Autor, México. Número de registro 03-2021-1116114529000-01

Ávila, H. M., y Ramírez, J. E. (2021). *Modelos de madurez TRL| BRL| CRL Maturity Models TRL| BRL| CRL* https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/48128/Modelos%20de%20madurez%20TRL%20BRL%20CRL.pdf?sequence=1

Bedoya, G. M y Gómez V. L.C. (2021). Proceso: Centro de Desarrollo e Innovación Facultad de Minas. *Guía para la identificación del grado de madurez (TRL) Guía Para La Identificación del Grado de Madurez (TRL)* [Archivo PDF] https://minas.medellin.unal.edu.co/cdi/images/Procedimientos/MCDIIFMiGU001_Guia_para_la_identificacion_del_grado_de_madurez_TRL.pdf

KTH Innovation (2024). *KTH Innovation Readiness Level™* https://kthinnovationreadinesslevel.com/about/

Manning, C.G. (2023). *Technology Readiness Levels*. https://www.nasa.gov/directorates/somd/space-communications-navigation-program/technology-readiness-levels/

Modesto A. C. (2022) *Niveles de Madurez Tecnológica (TRL) la Herramienta para Medir la Tecnología de un Proyecto.* [Presentación de Conferencia] https://www.researchgate.net/publication/369663365_Niveles_de_Madurez_Tecnologica_TRL_la_Herramienta_para_Medir_la_Tecnologia_de_un_Proyecto

Nolte, W. L. (2008). *Did I Ever Tell You about the Whale? Or Measuring Technology Maturity*. Information Age Pub.

Rodríguez Lozano, K.V., Moreno Núñez, E., Arzola Monreal, J.M y Flores Luévanos, M.G. (2021). Development of a web management system for the internship process at the TecNM campus Lerdo. *Journal of Computational Technologies*. 5-15:1-10. https://www.ecorfan.org/taiwan/research_journals/Tecnologias_Computacionales/vol5num15/Journal_of_Computational_Technologies_V5_N15_1.pdf DOI: 10.35429/JOCT.2021.15.5.1.10

Rodríguez Lozano, K.V., Arzola Monreal, J.M, Moreno Núñez, E. y Flores Luévanos, M.G. (2022). Proyecto de emprendimiento con el modelo Push-Pull para el Software SIGEPRORE del Tecnológico Nacional de México, Campus Lerdo. *Revista Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo*. http://repocid.itslerdo.edu.mx/coninci2022/CID-056.pdf

Scimita Ventures (2024) *Mastering CRL vs. TRL: Choosing the Right Development Stage for Your Project's Success*. https://scimitaventures.com/resources/mastering-crl-vs-trl-choosing-the-right-development-stage-for-your-projects-successnbsp

VII. AUTORES

Elda Moreno Núñez

https://orcid.org/0000-0002-5912-082X

María Guadalupe Flores Luévanos

https://orcid.org/0000-0003-2613-1431

Karla Verónica Rodríguez Lozano

https://orcid.org/0000-0003-2832-4165

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

Diseño y Fabricación de un Levitador Neumático para Prácticas de Control de Procesos Utilizando Manufactura Aditiva

Machado-Díaz, E.[1] ✉; Coto-Fuentes, H.[2]; González-Vargas, L.A[3].

Datos de Adscripción:

[1] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, División de Ingeniería en Sistemas Automotrices, Av. Tecnológico No. 1555 Sur Periférico Gómez - Lerdo Km. 14.5, Ciudad Lerdo, Estado de Durango C.P. 35150.

[2] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Laguna, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Blvd. Revolución y Av. Instituto Tecnológico de La Laguna, Torreón, Coahuila, C.P. 27000

[3]Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, División de Posgrado e Investigación, Av. Tecnológico No. 1555 Sur Periférico Gómez - Lerdo Km. 14.5, Ciudad Lerdo, Estado de Durango C.P. 35150.

✉ eduardo.md@itslerdo.edu.mx

Resumen **- Una de las principales problemáticas en el proceso de enseñanza – aprendizaje de la teoría de control es la falta de prototipos que permitan llevar a la práctica los conocimientos adquiridos. El presente trabajo presenta el diseño y la fabricación de un levitador neumático utilizando Diseño Asistido por Computadora (CAD), Manufactura Asistida por Computadora (CAM) e Ingeniería Asistida por computadora (CAE) a través del software NX de Siemens. Se presentan las etapas durante el diseño, simulaciones de esfuerzos, comportamiento térmico y flujo de aire con la finalidad de asegurar el correcto funcionamiento de la estructura. Así mismo, una propuesta de tarjeta electrónica para el control del sistema diseñada en el software Eagle de Autodesk y fabricada a través de una fresadora de control numérico (CNC) para mejorar el acabado y rendimiento de los componentes electrónicos. La parte electrónica está formada por un control de corriente directa acondicionado a una placa ESP32 y un sensor láser de distancia VL53l0X. También se tiene un gabinete de control que contiene una fuente de alimentación, una pantalla LCD y los conectores necesarios para el intercambio de información entre la planta de prueba (levitador) y el controlador (ESP32). Se realizaron pruebas a lazo abierto para verificar el correcto funcionamiento de la estructura y componentes electrónicos teniendo resultados satisfactorios para introducir el controlador que el usuario final decida utilizar.**

Palabras Clave **– Control, Diseño Asistido, Impresión 3D, Levitador, Manufactura, Neumático**

Abstract **- One of the primary challenges in control theory education is the scarcity of prototypes enabling students to apply their knowledge of process control in a practical setting. This project addresses this gap by designing and manufacturing a pneumatic levitator using Computer-Aided Design (CAD), Computer-Aided Manufacturing (CAM), and Computer-Aided Engineering (CAE) tools within Siemens NX software. The design process incorporates stress simulations, thermal behavior analysis, and airflow simulations to guarantee the structural integrity of the levitator. Additionally, an electronic control board is proposed, designed using Autodesk Eagle software and fabricated using a Computer Numerical Control (CNC) milling machine to enhance the precision and performance of the electronic components. The electronic system consists of a direct current (DC) control system implemented on an ESP32 board coupled with a VL53l0X laser distance sensor. A control cabinet is also included, housing a power supply, an LCD screen, and the necessary connectors to facilitate information exchange between the test plant (levitator) and the controller (ESP32). Open-loop tests were conducted to validate the functionality of both the structure and the electronic components. These tests yielded satisfactory results, paving the way for the integration of any controller chosen by the end-user.**

Keywords **– 3D printed, Control, Design, Levitator, Manufacturing, Pneumatic.**

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Importancia de los sistemas de control en la actualidad

La evolución de los sistemas industriales debido a los avances en las tecnologías de la información, así como los sistemas mecatrónicos, trae como resultado la necesidad de personal con habilidades en distintas áreas del conocimiento, que integrados en equipos multidisciplinarios pueden realizar proyectos de alta complejidad, entre estas disciplinas una de las más importantes es el control de proceso (Ponsa, 2001).
Anteriormente la automatización estaba enfocada principalmente en áreas como la electrónica y la mecánica. Sin embargo, esto ha ido cambiando paulatinamente con la incursión de sistemas informáticos en el control de procesos, convirtiéndolos en sistemas mecatrónicos. Debido a ello es necesario combinar los circuitos electrónicos con herramientas de computación para crear sistemas más eficientes y puedan ser monitoreados remotamente.

Este proceso de evolución en los sistemas ha permitido que los países crezcan industrialmente y la producción se realice en las condiciones idóneas. Sin embargo, este proceso presenta un problema cuando la tecnología que se utiliza requiere un conocimiento especializado en áreas del control automático (Camargo, 2015).

Los sistemas de control desempeñan un papel fundamental y crítico en el campo de la automatización y de la mecatrónica en general. Su importancia radica en su capacidad para mejorar la eficiencia, la precisión y la funcionalidad de una gran variedad de sistemas, desde los procesos de manufactura hasta la robótica y electrónica de consumo. Entre sus beneficios más importantes se encuentran (Bolton, 2001):

- Optimización de procesos industriales.
- Aumento en la precisión y repetibilidad.
- Ahorro de Energía.
- Aumento en la seguridad.
- Aplicación en el modelado y control de robots.
- Creación de vehículos autónomos.
- Evolución con la industria 4.0.

Ya que los sistemas de control requieren de un conocimiento profundo de diferentes áreas para su aplicación y diseño, como la matemática y la física, su aprendizaje se vuelve complejo existiendo gran cantidad de información que, en la mayoría de las ocasiones, solo presenta la parte teórica sin llevarla a la práctica.
Si bien existen herramientas que permiten el análisis de sistemas y facilitan los cálculos matemáticos, las más utilizadas tienen un costo de licencia que no es accesible para la mayoría de los estudiantes y pequeños desarrolladores. Es precisamente lo anterior, lo que genera un área de oportunidad para el diseño, fabricación e implementación de prototipos didácticos que permitan disminuir las limitaciones en esta rama de la automatización.
En el ámbito antes descrito, el presente trabajo propone un sistema de levitación neumático (dispositivos que utilizan la fuerza del aire o un gas para suspender objetos en el aire sin contacto físico con ninguna superficie (Pinto Poalacin, 2020)) como opción para afianzar conocimientos y desarrollar habilidades en las áreas de control de procesos, permitiendo la combinación de distintas técnicas y algoritmos para alcanzar resultados más precisos y controlados.

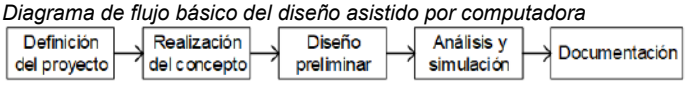
1.2 Antecedentes de plantas de levitación neumática

En 2022 Armendariz y Moreta utilizaron un ventilador para computadora como actuador para un dispositivo neumático, esto siendo posible a través de un tubo de contención de un diámetro similar al ventilador utilizado. Sin embargo, se tuvieron problemas con la potencia del mismo y la adaptación de la estructura mecánica. Así mismo, el control se realizó mediante un Controlador Lógico Programable (PLC). (Armendariz Parraga, 2022).
Durante el mismo año Quevedo (Revilla, 2022) realizó un prototipo similar de levitación. El dispositivo tenía un acople fabricado por el autor entre el actuador y el tubo de contención, ya que éste último era de menor diámetro.
Otro ejemplo de prototipos para sintonización de controladores lo presenta Colin (Colín, 2020), que implementó controladores PID para el control de la altura en un regulador neumático, cuya base era un tubo de acrílico y como objeto a levitar una esfera de unicel. Como actuador y elemento de control final utilizó un ventilador de 6000rpm. En dicho prototipo se probaron diferentes algoritmos de control, entre los que se encuentran el evolutivo y mediante criterios de la curva de respuesta de Ziegler – Nichols. El autor menciona que este tipo de prototipos permiten que los usuarios desarrollen habilidades en el diseño de métodos de control.
En 2015 García (García, 2015) desarrolló una simulación en un ambiente 3D de un accionador neumático que tenían en físico. La intención del artículo propuesto era realizar la sintonización de los controladores a través de un entorno de simulación previo al uso del algoritmo en la planta real. El actuador en este caso fue un motor de corriente alterna, utilizando como elemento de control un variador de frecuencia.
Una de las dificultades mencionadas por el autor es la fabricación de la planta debido a sus dimensiones, por ello la decisión de desarrollar un entorno simulado. Así mismo, en la bibliografía actual se tienen diferentes publicaciones y proyectos enfocados en la elaboración de controladores para levitadores neumáticos.
En la mayoría de los artículos analizados, se tienen problemas en la fabricación de los prototipos, pues la mayor parte de las investigaciones se centran en el desarrollo de algoritmos de control más que en la planta de prueba que, generalmente, basa su construcción en materiales como madera o piezas plásticas recicladas que incrementan el volumen del prototipo y dificultan que éste pueda replicarse.
Derivado de lo anterior, se presenta una propuesta de prototipo de levitador neumático diseñado en el software especializado NX de Siemens ®, utilizando licenciamiento de estudiante.
La fabricación de las piezas diseñadas se llevó a cabo mediante manufactura aditiva por impresión 3D, con la finalidad de que el prototipo pueda ser replicable y que la estructura esté a la medida de los componentes utilizados.

1.3 Diseño Asistido por Computadora (CAD).

El diseño asistido por computadora (CAD, por sus siglas en inglés, *Computer-Aided Design*) es el uso de *software* especializado para crear, modificar, analizar y optimizar un diseño. Este tipo de programas permite a los diseñadores, ingenieros y arquitectos generar representaciones precisas y detalladas de productos y estructuras antes de su fabricación o construcción. El CAD se utiliza en una amplia variedad de industrias, incluyendo la ingeniería, la arquitectura, la manufactura y el diseño industrial.
Estos programas permiten la creación de dibujos en dos dimensiones y en tres dimensiones, facilitando la visualización y manipulación de diseños complejos.
Así mismo, cuentan con herramientas para diseñar con alta precisión y exactitud. Una de las prestaciones más importantes de estas aplicaciones son las herramientas de simulación y análisis, que permiten evaluar el comportamiento de los diseños bajo diversas condiciones, como tensiones, vibraciones, flujos térmicos, flujos neumáticos etc.
La Figura 1, muestra la metodología básica para la elaboración de un diseño asistido por computadora.

Figura 1.
Diagrama de flujo básico del diseño asistido por computadora



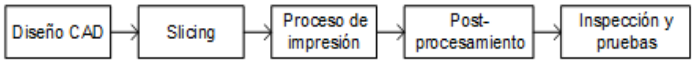
Para llevar a cabo un diseño CAD se requiere, en primer lugar, determinar los objetivos y los requisitos específicos del proyecto, incluyendo dimensiones, materiales, etc. Posteriormente, se crean dibujos preliminares y bocetos para explorar diferentes conceptos y enfoques. Con los bocetos realizados, se procede a desarrollar los modelos preliminares en 2D y 3D, definiendo la geometría básica y las principales características del diseño.

Una vez que se tiene el diseño básico, se realiza el refinado del modelo CAD, incorporando detalles específicos como tolerancias, acabados superficiales, ensamblajes y componentes individuales.
En este proceso, también se pueden llevar a cabo los análisis del comportamiento ante diferentes fenómenos físicos. Por último, se realiza la documentación del diseño, es decir, se generan los planos detallados en vistas, secciones, dimensiones y notas técnicas.

1.4 Manufactura aditiva (impresión 3D).

La manufactura aditiva, también conocida como impresión 3D, es un proceso de fabricación que crea objetos tridimensionales a partir de un modelo digital. A diferencia de otros métodos de fabricación tradicionales, que eliminan material de un bloque sólido, la manufactura aditiva agrega material capa por capa. Esto permite crear objetos con geometrías complejas que serían difíciles o imposibles de fabricar con métodos tradicionales (Sanchez, 2020).
En un contexto científico, la manufactura aditiva se puede definir como un proceso de fabricación basado en la adición de material, en el que un modelo digital se utiliza para controlar la deposición de material capa por capa, creando un objeto tridimensional. Este proceso se caracteriza por su flexibilidad, capacidad de crear geometrías complejas y potencial para la personalización. En la Figura 2, se muestra la metodología general para la implementación de manufactura aditiva.
La impresión 3D ha permitido que docentes y estudiantes puedan desarrollar y materializar ideas de manera más sencilla y accesible ya que, a diferencia de los métodos tradicionales que requieren herramientas y habilidades especializadas, la impresión 3D se ha vuelto más accesible gracias a la disponibilidad de impresoras de bajo costo y de programas intuitivos y de uso libre.

Figura 2.
Diagrama de flujo básico de manufactura aditiva.

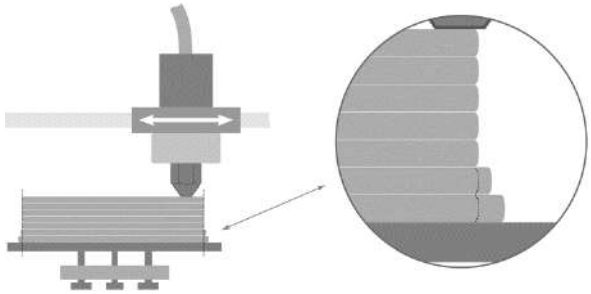


En primer lugar, se realiza el diseño del modelo tridimensional utilizando software de diseño asistido por computadora (CAD). Posteriormente, se crea el código G que controlará el movimiento de la impresora 3D, a este proceso se le conoce como *Slicing* (segmentación). Una vez que se tiene el código G se lleva a cabo la impresión 3D utilizando el material adecuado de acuerdo a las necesidades del proyecto. Entre los más utilizados se encuentra el ácido poliláctico (PLA) y el polietileno tereftalato modificado con glicol (PETG). Un ejemplo del funcionamiento de la impresión 3D se muestra en la Figura 3.

Cuando la impresión ha terminado, es necesario una post producción de la misma, producto de imperfecciones que pueden darse por la naturaleza del procedimiento durante el depósito del material. Por último, se llevan a cabo las pruebas del prototipo en la aplicación requerida y se hacen las modificaciones en caso de ser necesarias (Arcos, 2017).

Otra de las ventajas del uso de este tipo de método de fabricación es la reducción significativa de costos y la optimización de recursos, pues generalmente la fabricación mediante eliminación requiere de materiales más especializados y por ende más costosos.

Figura 3.
Ejemplo de funcionamiento de la impresión 3D.



1.5 Plataforma ESP32

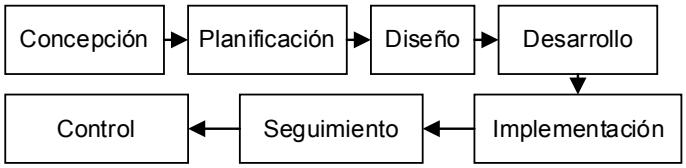
El ESP32 es un microcontrolador altamente versátil y potente que se utiliza en una variedad de aplicaciones, incluido el control de procesos en entornos automatizados. Su importancia en el control de procesos radica en su capacidad para gestionar y controlar una amplia gama de dispositivos y sensores, así como para ejecutar algoritmos de control de manera eficiente y confiable. En este contexto, el enfoque en el control de procesos utilizando el ESP32 tiene varios aspectos clave que son fundamentales para su relevancia y aplicación efectiva.
Uno de los aspectos más destacados es la capacidad del ESP32 para adquirir datos de sensores y dispositivos de manera precisa y oportuna. Esto es crucial en el control de procesos, ya que permite monitorear variables como temperatura, presión, flujo, nivel, entre otros, en tiempo real. La capacidad de adquisición de datos del ESP32 facilita la implementación de sistemas de control en tiempo real que pueden ajustar parámetros y tomar decisiones de manera dinámica en función de las condiciones del proceso (Pravalika, 2019).
Otro aspecto importante es la capacidad de procesamiento del ESP32, que le permite ejecutar algoritmos de control sofisticados y responder de manera rápida a eventos y cambios en el proceso. Esto es esencial para garantizar un control preciso y eficiente de las variables del proceso, así como para implementar estrategias de control adaptativo que optimicen el rendimiento y la eficiencia del sistema.
En entornos industriales y de producción, el ESP32 puede utilizarse para implementar sistemas de control de procesos en aplicaciones como control de temperatura en hornos industriales, control de nivel en tanques de almacenamiento, control de velocidad en motores, control de flujo en sistemas de tuberías, entre otros. Su versatilidad y capacidades lo convierten en una opción atractiva para diseñadores y desarrolladores que buscan soluciones de control de procesos robustas y eficientes (Babiuch, 2019).

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

2.1 Desarrollo de la metodología del proyecto

Para este proyecto se utilizó la metodología de ingeniería aplicada, que consiste en pasar por diversas fases que siguen un proceso sistemático, desde la concepción de la idea hasta su implementación y seguimiento. A continuación, en la Figura 4, se presentan las fases típicas de la metodología anteriormente descrita.

Figura 4.
Metodología para el desarrollo del proyecto



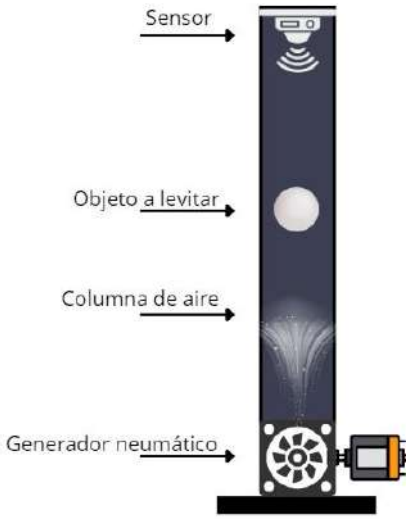
El sistema trabaja a partir de la generación de una película de aire entre la base del levitador y el objeto que se desea levitar, creando así una fuerza de sustentación que contrarresta la gravedad y permite mantener el equilibrio del objeto en posición flotante.

El levitador consta de tres partes principales:

- La base, en donde se encuentra un actuador que genera un flujo de aire que, en este caso particular, es un motor de corriente directa al cual se ha adaptado un sistema de aspas.
- Tubo de acrílico: Está conectado a la base y es por donde se transmite el aire hacia el objeto. Es aquí donde se crea la columna neumática que permite del control de flujo.
- Tapa: Se encuentra en la parte superior del prototipo, aquí se coloca el sistema de retroalimentación o sensor que monitorea el nivel al que se encuentra levitando el objeto.

En la Figura 5, se muestra en un diagrama sencillo el funcionamiento y los componentes del prototipo neumático que se propone.

Figura 5.
Descripción general del levitador neumático



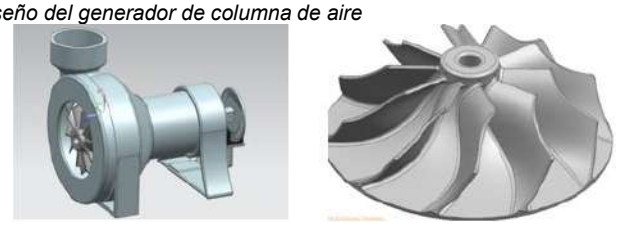
El principio de funcionamiento se basa en la tercera ley de Newton, que establece que "a toda acción corresponde una reacción igual y opuesta". En este caso, la acción de expulsar aire a presión hacia arriba genera una reacción que empuja hacia abajo al objeto, creando así la fuerza de levitación. Es importante destacar que la estabilidad en el prototipo depende de mantener un flujo de aire constante y uniforme, así como de controlar factores como la presión, la distancia y la carga del objeto.

Cuando se activa el actuador, se inicia la expulsión de aire a presión a través de los orificios de la base. Esta corriente de aire crea una capa de aire comprimido entre la base y el objeto, generando una fuerza de sustentación que equilibra el peso del objeto y lo mantiene suspendido en el aire. La presión del aire y la distancia entre la base y el objeto son controladas de manera precisa para garantizar la estabilidad y posición del objeto levitado.

2.2 Diseño utilizando software especializado

Se realizó el diseño utilizando el software NX12 de Siemens de los componentes que forman parte del prototipo del levitador. En primer lugar, el diseño del generador de columna de aire que está formado por una propela conectada al eje de un motor de corriente directa, el diseño de la misma se presenta en la Figura 6.

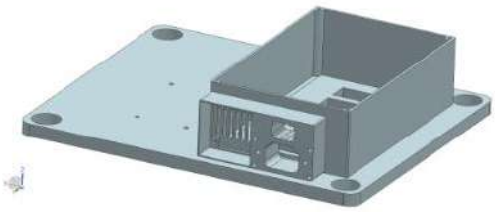
Figura 6.
Diseño del generador de columna de aire



La parte del generador de columna de aire contiene también soportes para el motor de corriente directa con un disco ranurado funcionando como encoder rotativo para la retroalimentación de la velocidad a la que se encuentra trabajando y tener un parámetro matemático que relacione las revoluciones por minuto por la columna de aire generado. También se tiene un adaptador para que el flujo de aire entre directamente al tubo de acrílico por donde se encontrará levitando el objeto.

Posteriormente, se modelaron los soportes y la base definiendo el tamaño teniendo en cuenta los componentes que se incluirán en la misma como la fuente de voltaje, el generador de columna de aire y la pantalla LCD. Se tienen también huecos para los soportes de tubería PVC que mantendrán la estructura. La base se muestra en la Figura 7.

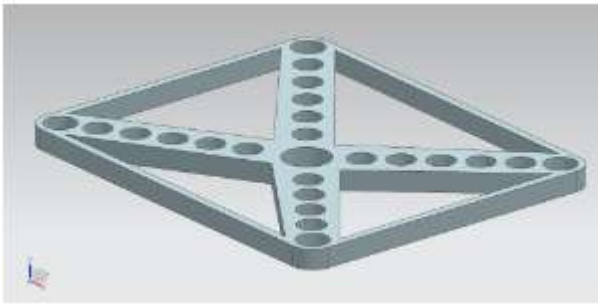
Figura 7.
Diseño del generador de columna de aire



Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

Con la finalidad de generar una estructura rígida se diseñó un soporte central tratando de optimizar el diseño iniciar. Se tomó como parámetro retirar la mayor cantidad de material a utilizar con la finalidad de utilizar de forma más eficiente los materiales de fabricación. El soporte central se presenta en la Figura 8.

Figura 8.
Modelado del soporte central del levitador.



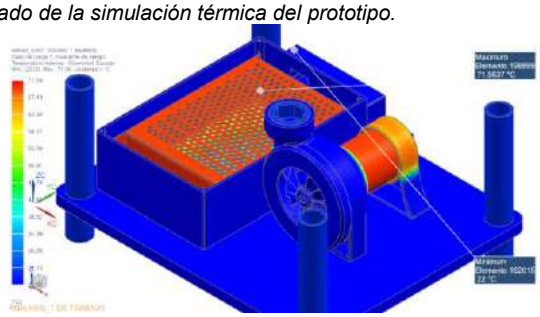
El modelado de la parte superior que se ve en la Figura 9, tiene en su interior el soporte del sensor láser que realizará el monitoreo del estado del objeto a levitar. Al realizarlo de esta forma se tiene la seguridad de que éste se encuentra alineado al tubo de acrílico. También se consideró un sistema de escape de la columna de aire.

Figura 9.
Modelado de la parte superior del Levitador.

2.3 Desarrollo de simulaciones

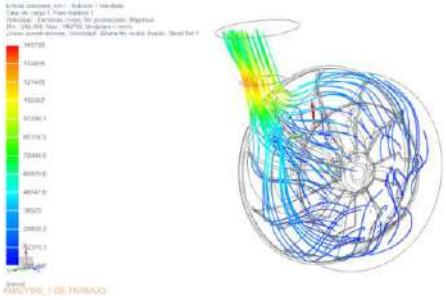
Con la finalidad de tener una visión del funcionamiento general del proyecto antes de su manufactura se realizaron simulaciones de diferentes tipos utilizando software especializado, en este caso NX12 de Siemens.
En primer lugar, se analizó el flujo térmico a través de los componentes diseñados para poder predecir el comportamiento de sus componentes a las temperaturas a las que se encontrará sometido. Esto es importante, ya que se plantea la idea de fabricarlo con manufactura aditiva y los materiales (generalmente plásticos) pueden presentar una deformación en función de la temperatura a la que estén funcionando y también el lugar en donde se pretenda mantenerlos.
Se aplicó una temperatura de 75°C en la carcasa del motor y la base de la fuente de alimentación. El límite fue establecido al ser un valor medio de la mayor temperatura a la que puede trabajar el motor y la fuente de acuerdo a las especificaciones técnicas de las mismas. El resultado de la simulación se puede ver en la Figura 10.

Figura 10.
Resultado de la simulación térmica del prototipo.



Al analizar el comportamiento en los límites máximos se puede observar que no se tiene una deformación considerable en las piezas plásticas al trabajar con los materiales propuestos, esto permite tener una seguridad de que el funcionamiento de la manufactura estará en los parámetros adecuados. El análisis se realizó únicamente en este lugar ya que es el que se encontrará sometido a las condiciones máximas de operación. Se supone entonces, que los demás elementos funcionarán de forma correcta al estar sometidos a temperaturas inferiores a las utilizadas en la simulación.
Después, se procedió a la realización del flujo de aire del generador de la columna para verificar que el diseño permita una correcta circulación hacia el adaptador del tubo de acrílico. En la Figura 11, se presentan los resultados de la simulación.

Figura 11.
Resultados de la simulación de flujo del prototipo.



Se puede notar la eficiencia de la turbina ya que no se encontró turbulencia considerable en el análisis y se observa la subida en la velocidad del fluido siendo su punto más alto 14 veces la velocidad de entrada y en la salida entre 6 y 7 veces la velocidad de entrada.
Es necesario tomar en cuenta que la velocidad de la columna de aire depende de muchos factores como la velocidad de giro, la velocidad del aire del exterior de la turbina, así como el nivel de apertura que se tiene en la parte de las hélices. Sin embargo, se puede concluir que la fabricación del generador de columna de aire puede llevarse a cabo, pues si se tiene un aumento considerable en la velocidad de salida con respecto a la velocidad de entrada.

2.4 Construcción del prototipo

Para la fabricación del prototipo se utilizó la técnica de manufactura aditiva a través de impresión en 3D. Los elementos fueron implementados con material PETG que es de bajo costo

e imprimible en la mayoría de las impresoras 3D comerciales. Así mismo, presentan buenas prestaciones tanto mecánicas como térmicas. En la Figura 12, se muestra un ejemplo del proceso de impresión con la impresora Ender 3V2 de Creality.

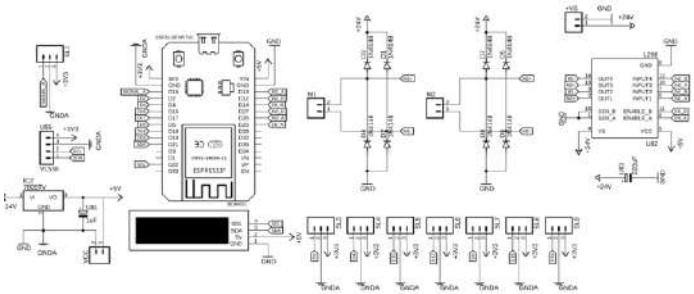
Figura 12.
Ejemplo de fabricación del prototipo utilizando impresión 3D.

El proceso de hizo en varias fases y con diferentes impresoras de acuerdo a las dimensiones de las piezas realizadas. Ejemplos de las piezas ya fabricadas se observan en la Figura 13.

Figura 13.
Ejemplo de piezas fabricadas del prototipo.

Con las piezas fabricadas, se procedió al diseño electrónico de la parte de control, para ello se utilizó el software Eagle de Autodesk. El circuito electrónico contiene los componentes necesarios para el manejo de la velocidad y sentido de giro del motor, elementos de visualización, la conexión para el sensor de retroalimentación, así como elementos de visualización como una pantalla LCD. El esquemático se ve en la 14.

Figura 14.
Diseño esquemático del circuito de control.



El circuito electrónico propuesto se basa en un microcontrolador ESP32 que ha sido escogido en base a sus características principales y las grandes prestaciones que tiene en función de su precio. Así mismo, el auge que han tenido el desarrollo de proyectos con este tipo de sistema embebido ha creado una basta comunidad y extensa bibliografía de referencia que se puede utilizar para la adquisición de conocimientos de manera autodidacta.

Sin embargo, la planta diseñada no es exclusiva de un solo microcontrolador, puede aplicarse a cualquier tipo dependiendo de las necesidades del usuario. En la Tabla 1, se muestra una tabla comparativa de referencia de las principales características entre 3 de las plataformas más utilizadas: ESP32, Arduino y Raspberry Pi. Si bien estas marcas tienen un vasto catálogo, se acotó el estudio para las placas Arduino Uno, ESP32 DEVKIT1 y la Rasperry Pi Pico.

Tabla 1.
Tabla comparativa de características entre microcontroladores

Característica	***Arduino Uno***	***ESP32***	***Raspberry Pi Pico***
Microcontrolador	ATmega328P	Tensilica Xtensa LX6 (dual-core)	RP2040 (dual-core ARM Cortex-M0+)
Velocidad de Reloj	16 MHz	240 MHz	133 MHz
Memoria Flash	32 KB	4 MB (en promedio, puede variar)	2 MB
SRAM	2 KB	520 KB	264 KB
Conectividad	No integrada	Wi-Fi, Bluetooth	No integrada
GPIO (Pines de E/S)	14 digitales, 6 analógicos	34 (varía según el modelo y fabricante)	26
Interfaces de Comunicación	UART, SPI, I2C	UART, SPI, I2C, I2S, CAN, PWM	UART, SPI, I2C, I2S, PWM, PIO
Voltaje de Operación	5V	3.3V	3.3V
Consumo de Energía	Relativamente bajo	Modo de bajo consumo	Bajo, con modos de ahorro de energía
Facilidad de Programación	Muy alta, utilizando el IDE de Arduino	Alta, soporta Arduino, ESP-IDF, MicroPython	Alta, soporta C/C++, MicroPython
Capacidades de Expansión	Shields Arduino	Módulos y shields ESP32	HATs y módulos compatibles
Costo Aproximado en dólares.	$20	$5 - $10	$4

Para el control de potencia del actuador, al ser este un motor de C.D., se optó por presentar un puente H, particularmente el circuito integrado L298N. Las prestaciones básicas de dicho circuito se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2.
Principales características del puente H L298N

Característica	***Descripción***
Tipo	Controlador de motor de puente H dual
Número de Canales	2
Voltaje de Alimentación (V_s)	4.5V a 46V

Voltaje de Lógica	5V
Corriente de Salida Máxima	2A por canal
Corriente de Pico Máxima	3A por canal (durante cortos períodos)
Potencia de Disipación	25W (con disipador adecuado)
Voltaje de Entrada de Lógica	Baja: ≤ 1.5V, Alta: ≥ 2.3V
Protección Térmica	Sí
Protección Contra Sobrecorriente	Sí
Temperatura de Operación	-25°C a +130°C
Frecuencia de Conmutación	Hasta 40 kHz
Tipo de Encapsulado	Multiwatt15 (para el chip L298N)

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultados de la fabricación

Una vez que se tuvieron las partes principales impresas se realizó la primera prueba de funcionamiento usando como elemento levitador un disco hueco impreso en 3D con la finalidad de conocer si el objeto levitaba. Para este experimento el control de velocidad se hizo de forma manual a través del cambio de voltaje en una fuente de alimentación de C.D. En la Figura 15 se muestra el ensamble básico del tubo de acrílico y la turbina con el motor.

Figura 16.
Turbina montada con el motor y el tubo de acrílico.

Las pruebas se repitieron con diferentes objetos y objetos tomando como muestra el voltaje que requería el actuador para que el objeto partiera del reposo. Los resultados se ven en la Tabla 3.

Tabla 3.
Resultados de voltaje en objetos de prueba

Objeto	***Peso***	***Voltaje requerido***
Esfera	2.5g	20V
Disco	2.2g	18V
Disco hueco	2g	16V

Posteriormente, se montó el sensor de distancia láser, que para este caso se optó por el modelo VL530X que es un módulo de medición de distancia basado en tecnología LIDAR (Light Detection and Ranging), fabricado por STMicroelectronics. Este sensor utiliza un láser infrarrojo para medir distancias con alta precisión, abarcando rangos desde 30 mm hasta 2 metros. La medición de distancia se realiza mediante la detección del tiempo que tarda un pulso de luz en reflejarse de un objeto y regresar al sensor. Es compacto, consume poca energía y proporciona una interfaz de comunicación I2C, lo que lo hace ideal para el prototipo pues el diámetro del tubo de acrílico es reducido. El montaje del sensor se muestra en la Figura 17.

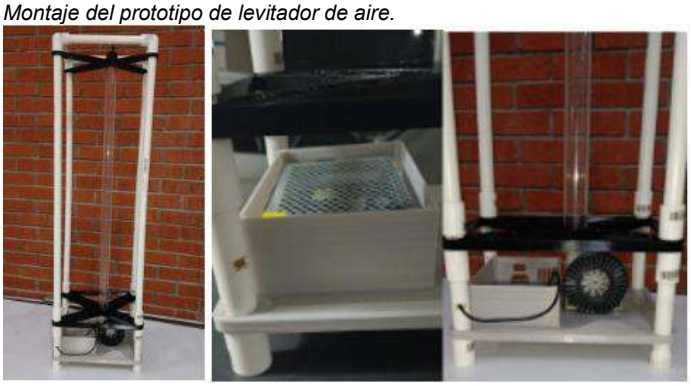
Figura 17.
Montaje del sensor de distancia en la parte superior.

De acuerdo al diseño realizado en el software, se llevó a cabo el armado de todos los componentes estructurales del prototipo. En primer lugar, se añadieron los soportes con tubería PCV que dan rigidez al levitador. En la Figura 18, se muestra un ejemplo de roscado de la tubería para su acoplamiento en los componentes fabricados en 3D.

Figura 18.
Ejemplo de fabricación del prototipo utilizando impresión 3D.

El armazón de tubos de PVC se ensambló conforme a los planos, también se montaron los componentes de la base como la fuente de alimentación, el motor y los conectores eléctricos como se ve en la Figura 19.

Figura 19.
Montaje del prototipo de levitador de aire.



Por último, se realizó el circuito impreso utilizando manufactura por fresadora de control numérico y se montó en el gabinete de control. El resultado se observa en la Figura 20.

Figura 16.
Turbina montada con el motor y el tubo de acrílico.

IV. CONCLUSIONES

El trabajo desarrollado, apoyado en la impresión 3D, el diseño asistido por computadora y el microcontrolador ESP32, representa una integración innovadora de tecnologías avanzadas para desarrollar un sistema de levitación que ofrece numerosas aplicaciones prácticas en el ámbito del control de procesos.

La combinación de manufactura aditiva y el proceso con fresadoras de control numérico, permite fabricar componentes precisos y personalizados para el prototipo, mejorando su diseño y rendimiento. El diseño asistido por computadora facilita la creación de modelos virtuales y simulaciones que ayudan a planificar y mejorar el funcionamiento del levitador. Por su parte, el ESP32 proporciona capacidades de control y comunicación que permiten gestionar de manera eficiente el sistema de levitación y recopilar datos en tiempo real.

Este proyecto puede ser utilizado en prácticas de control de procesos para enseñar conceptos fundamentales como la estabilidad, el control de la presión y la optimización de parámetros. Los estudiantes pueden aprender sobre el uso de sensores para medir variables relevantes, el diseño de algoritmos de control para mantener la levitación estable y la integración de sistemas electrónicos para automatizar el proceso.

Además, puede tener aplicaciones en la industria para manipular objetos delicados sin contacto físico, en laboratorios para realizar experimentos de levitación y en demostraciones educativas para mostrar principios de física y tecnología avanzada. Su versatilidad y capacidad de integración con otros sistemas hacen que sea una herramienta valiosa tanto para la enseñanza como para la investigación en el campo de la ingeniería y el control de procesos.

Si bien la teoría de control es un campo que puede representar un reto para los estudiantes de ingeniería por sus conceptos abstractos y el alto dominio de fundamentos matemáticos que requiere para su entendimiento, el realizar proyectos que permitan a los estudiantes aplicar los algoritmos y las funciones obtenidas y desarrolladas dan pie a la mejora en su comprensión, así como en futuros proyectos que involucren a esta área de la automatización.

V. AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos al Tecnológico Nacional de México (TecNM) Campus Instituto Tecnológico Superior de Lerdo y Campus La Laguna por las facilidades brindadas para la realización del presente trabajo.

También a las divisiones de Sistemas Automotrices, Electrónica y Posgrado por la facilidad para la realización del presente proyecto. Así mismo, a la comunidad estudiantil que es la base del desarrollo de estos prototipos.

VI. REFERENCIAS

Arcos, G. (2017). Manufactura aditiva para prototipado rápido. *Jóvenes en la ciencia*, 2230-2234.

Armendariz Parraga, J. (2022). *Diseño e implementación de un levitador neumático.* Universidad Politécnica Salesiana.

Babiuch, M. (2019). Using the ESP32 microcontroller for data processing. *20th International Carpathian Control Conference*.

Bolton, W. (2001). *Ingeniería de control.* Mexico, DF: Alfaomega.

Camargo, C. (2015). Metodología para la Transferencia Tecnológica en La industria basada en Software Libre. *Universidad Nacional de Colombia* .

Colín, L. (2020). Diseño e implementación de un regulador PID del flujo de un levitador neumático. *Tecnología, Diseño e Innovación*, 39-50.

García, L. (2015). Modelación, simulación y control de un levitador neumático. *Revista Politécnica*, 59-66.

Pinto Poalacin, S. M. (2020). *Implementación de un módulo de levitador neumático mediante control pid para el Laboratorio de Control y Manipulación Automática de la Facultad de Mecánica.* Riomba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Ponsa, P. (2001). Actividades Docentes en Mecatrónica. *Universidad Politécnica de Catalunya*.

Pravalika, V. (2019). Internet of things based home monitoring and device control using Esp32. *International Journal of Recent Technology and Engineering 8*, 58-62.

Revilla, F. Q. (2022). *Diseño y construcción de un levitador neumático.* Universidad de Cantabria.

Sanchez, N. (2020). La manufactura aditiva como potencializador de los sistemas productivos. *Inventum*, 2-13.

VII. AUTORES

Eduardo Machado Diaz
https://orcid.org/0000-0003-2610-7570

Hesner Coto Fuentes
https://orcid.org/0000-0002-9548-7864

Luis Amado González Vargas
https://orcid.org/0009-0008-9094-6188

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

Prototipo de Sistema de Cultivo en Interiores para la Germinación de Semillas con Monitoreo y Control en la Web Utilizando un Microcontrolador ESP32 y Protocolo MQTT

Machado-Díaz, E.[1] ✉; Barrón-Quintero, A.O.H.[1]; Martínez-Sandoval, H.J.[1]

Datos de Adscripción:
[1] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, División de Ingeniería en Sistemas Automotrices, Av. Tecnológico No. 1555 Sur Periférico Gómez - Lerdo Km. 14.5, Ciudad Lerdo, Estado de Durango C.P. 35150.

✉ eduardo.md@itslerdo.edu.mx

Resumen **- El cultivo interior (indoor por su nombre en inglés), se refiere a la práctica de cultivar plantas, especialmente aquellas que son comestibles como vegetales, hierbas y frutas, en un entorno controlado dentro de un espacio cerrado, como una casa, un apartamento o un invernadero. El presente proyecto presenta el diseño, desarrollo e implementación de un prototipo de sistema de germinación de semillas automatizado con monitoreo de variables físicas en la web con la finalidad de que éstas puedan ser visibles desde cualquier lugar con acceso a internet. En primer lugar, se describe el proceso de diseño de la estructura del sistema a través de Diseño Asistido por Computadora (CAD) mediante el software Fusion 360 de Autodesk en su versión de licencia educativa para su fabricación mediante impresión 3D. Así mismo, se presenta el proceso de desarrollo de los circuitos electrónicos para la adaptación de los sensores para la medición de temperatura, humedad, nivel de agua y sensibilidad de luz. Posteriormente se da una explicación de la programación del sistema en el microcontrolador a través de un ESP32 para la conectividad con la página web desarrollada en el entorno Node-RED® utilizando el protocolo MQTT para el intercambio de información. El presente trabajo se plantea como base para el posterior desarrollo de aplicaciones de cultivo en interiores en semillas de verduras de bajos requerimientos, pues se concluye que es posible crear prototipos de bajo costo y adaptado a las necesidades de diferentes sectores sociales y académicos.**

Palabras Clave **- Automatización, Control ambiental, Germinación, Monitoreo, Prototipo**

Abstract **- Indoor cultivation refers to the practice of growing plants, particularly edible ones such as vegetables, herbs, and fruits, in a controlled environment within an enclosed space, such as a house, apartment, or greenhouse. This project presents the design, development, and implementation of a prototype automated seed germination system with web-based monitoring of physical variables, enabling visibility from any location with internet access. Firstly, the design process of the system's structure is described using Computer-Aided Design (CAD) with Autodesk's Fusion 360 software under an educational license, for fabrication through 3D printing. Additionally, the development process of electronic circuits for sensor adaptation to measure temperature, humidity, water level, and light sensitivity is presented. Subsequently, the system's programming on the microcontroller via an ESP32 is explained, enabling connectivity with the web page developed in the Node-RED® environment using the MQTT protocol for information exchange. This work serves as a foundation for the further development of indoor cultivation applications for low-requirement vegetable seeds, concluding that it is feasible to create low-cost prototypes adapted to the needs of different social and academic sectors.**

Keywords **- Automation, Environmental control, Germination, Web monitoring, Prototype, Sensors.**

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción al cultivo interior

En la actualidad, la agricultura y la tecnología han evolucionado de la mano mediante la automatización de los procesos. Tal es así, que el diseño de sistemas autónomos en procesos agrícolas se ha convertido en un área de creciente interés e innovación tanto para grandes cultivos como para el cultivo doméstico (Murciano, 2019).

El cultivo doméstico ha experimentado un aumento considerable en la actualidad, impulsado por diversos factores como la creciente conciencia ambiental, la búsqueda de alimentos frescos y saludables, y la disponibilidad de tecnologías y conocimientos accesibles. Esta tendencia se ha visto reflejada en el aumento en la creación de huertos urbanos, jardines verticales y sistemas de cultivo en interiores, tanto en hogares como en comunidades donde se tienen las condiciones necesarias para ello (de Castro, 2024).

El cultivo interior (*indoor* por su nombre en inglés), se refiere a la práctica de cultivar plantas, especialmente aquellas que son comestibles como vegetales, hierbas y frutas, en un entorno controlado dentro de un espacio cerrado, como una casa, un apartamento o un invernadero. Este método de cultivo ha ganado popularidad debido a sus ventajas en términos de control ambiental, eficiencia de recursos y disponibilidad durante todo el año.

Derivado de lo anterior, se ha generado mucha información sobre las bases para la germinación de alimentos básicos. Sin embargo, así como se puede obtener el conocimiento a partir de la globalización de la información por internet o en la literatura convencional, se presentan problemáticas que evitan que esta tarea pueda realizarse de forma exitosa. Una de las principales es la falta de tiempo de las personas que quieren incursionar en él o el desconocimiento de las variables básicas que intervienen en los procesos agrícolas sobre todo en el de germinación con el cual comienza el crecimiento de las plantas.

Es por ello que es necesario generar tecnología de fácil acceso que permita a las personas que deseen incursionar en el cultivo en interiores, tener una ayuda en el control de variables físicas críticas para el crecimiento de las semillas con el propósito de que, una vez germinadas, puedan ser trasplantadas en recipientes más grandes para la cosecha, en el caso de comestibles o para su presentación en aquellas que sean para usos ornamentales.

El presente artículo presenta el diseño, desarrollo e implementación de un prototipo de sistema de germinación de semillas automatizado con monitoreo de variables físicas en la web con la finalidad de que éstas puedan ser visibles desde cualquier lugar con acceso a internet. Esto derivado del uso generalizado de smartphones que ha tenido un impacto significativo en el acceso a internet, ya que muchas personas utilizan sus dispositivos móviles como principal medio de conexión en lugar de computadoras de escritorio o portátiles.

1.2 Antecedentes

A causa de la creciente preocupación por el medio ambiente y el consumo de alimentos sin conservadores o fertilizantes que puedan poner en riesgo la salud, se han realizado una gran cantidad de investigaciones de sistemas automáticos de riego. Ejemplos de estas aplicaciones, y que están enfocados en el presente proyecto se presentan a continuación.

El sistema desarrollado por Guijarro (Guijarro-Rodríguez, 2018), presenta como problemática la poca disponibilidad de las personas para mantener hidratados los cultivos o jardines domésticos. La metodología descrita tiene como finalidad el desarrollo de software para aplicaciones móviles y un hardware basado en la plataforma Arduino ® , todo esto basándose en el análisis de cultivos de huertos domésticos. Sin embargo, el sistema no fue implementado en su totalidad y solamente se realizaron pruebas básicas del funcionamiento de los sensores de las variables de humedad, temperatura y luminosidad para que sirva como iniciativa en la implementación de este tipo de sistemas.

Existen también trabajos como el realizado por Quispe Tapara (2018), que aplicó un sistema automático de riego en un vivero que tenía la necesidad de controlar los parámetros de los cultivos ya que presentaban anomalías a lo largo del cultivo de café. El autor menciona que los factores principales son el escaso control en los tiempos de riego, el cambio climático y el tiempo que dedicaban los encargados a realizar el mantenimiento a los cultivos para que las plantas se desarrollaran.

Se presenta como alternativa un sistema de riego basado en la plataforma Arduino ® con sensores de humedad, luz y temperatura que son los parámetros principales que se tenían que controlar. Como interfaz visual se utiliza un programa basado en Processing® que permitía el control. La investigación se centra en el estudio de los factores determinantes en el desarrollo de las plantas a través de metodología cuantitativa y basada en la experiencia de los trabajadores lo que da pie a un proceso de mejora basado en la experimentación.

Los anteriores sistemas presentan alternativas en cuanto al hardware, el software y las características principales que deben de monitorearse. Una investigación que implementó sistemas y tuvo monitoreo en la web es el presentado por (Castro Popoca, 2008). El artículo tiene como objetivo implementar un riego automatizado en tiempo real para determinar el momento oportuno y la cantidad de riego a través de tecnologías de la información.

El sistema está basado en un datalogger CR10X y considera tres estrategias de riego basadas en estudios realizados de forma cuantitativa. Los resultados fueron favorables ya que se disminuyó el consumo de agua y se diseñaron estrategias para la mejora del programa de riego y del monitoreo de anomalías que pudieran presentarse.

Un trabajo similar, pero con hardware más accesible y de uso libre lo presenta (Calderón Vargas, 2015) que combina las prestaciones de la plataforma Arduino® con una placa de tipo YUN® que contiene comunicación a través de ethernet. Tenía como objetivo mejorar las condiciones de cultivos en Ciudad Juárez, Chihuahua en México que es una zona semidesértica en la cual, la falta de agua, juega un factor importante en el desarrollo de productos agrícolas. Se utilizaron sensores para la humedad ambiental, humedad en el sustrato, temperatura ambiente y válvulas de control a través de solenoides y relevadores. La interfaz fue una página web programada en Java Script® que se comunica con la placa Arduino YUN®. Lo anterior fue implementado en un prototipo de cultivo con una sola planta teniendo resultados favorables.

Centrados ya en el cultivo interior se tiene el sistema propuesto por (Murciano Carretero, 2019) que propone un prototipo para la germinación de plantas de fresa. El proyecto presenta estudios de las variables para la producción de este fruto con la finalidad de establecer los parámetros necesarios en el sistema. La metodología utilizada se basa en sensores industriales y, a diferencia de los proyectos antes mencionados, hace referencia a la importancia de la luminosidad en las plantas de fresas, y en general, de todos los cultivos, siendo importante el monitoreo y control de esta variable en sistemas indoor.

Siguiendo en la temática de cultivos interiores se tiene también el trabajo presentado por (Varona Anta, 2022). La investigación se llevó a cabo a partir de la pandemia de COVID-19, en donde, de acuerdo a los estudios realizados por la autora, existe un incremento en el consumo de alimentos más saludables a través de micro brotes que pueden cultivarse en espacios reducidos y con pocos recursos. Así mismo, se centra en el estudio de plantas que tienen un corto ciclo de germinación.

En la Universidad de la República en Uruguay (Menoni, 2023) se creó un sistema de cultivo Indoor para la producción de Cannabis. En este trabajo se presentan los resultados obtenidos en el desarrollo de un sistema de monitoreo y control aplicado a un invernadero de cannabis para producción indoor. Se incluye el análisis realizado para identificar las variables relevantes que deben ser monitoreadas y la selección de procesos a ser automatizados.

Además, se describe el desarrollo de una red inalámbrica que consta de una serie de sensores para diferentes variables y un conjunto de actuadores distribuidos. Estos componentes, registran las variables del proceso y proporcionan información que se almacena en una base de datos y se visualiza a través de una interfaz de usuario.

Las variables monitoreadas incluyen la humedad y temperatura del suelo, la humedad y temperatura ambiente, la concentración de CO_2, el estado de la luz y el nivel de pH del agua.

A partir de los antecedentes presentados, se puede observar una tendencia en el aumento de sistemas de cultivos en interiores que derivan de la demanda de la población actual en alimentos de mejor calidad y de bajos requerimientos.
En la mayoría de la bibliografía consultada (Calderón Vargas, 2015), se comparten parámetros necesarios para llevar a cabo esta tarea como lo son la humedad, la temperatura, la luminosidad y el PH. De igual forma, se obtuvieron diferentes tipos de sensores que pueden utilizarse para el desarrollo de estos sistemas.

1.3 Problemática a resolver

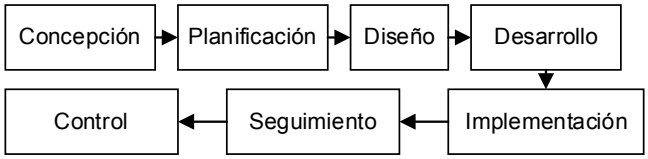
Los cultivos indoor han aumentado en popularidad a raíz de diversos factores, entre los principales se pueden mencionar: el aumento en la preocupación de la población por una mejor alimentación y la creciente agenda en cuestiones de desarrollo sostenible.
Si bien el cultivo en interiores se presenta como una idea para subsanar estos problemas, se tienen diferentes factores que limitan su aplicación. Por ejemplo, la dificultad para mantener los parámetros de germinación de las semillas de los cultivos ya que éstos son sensibles a la variación en la temperatura y la humedad. Un sistema de control del ambiente es crucial para asegurar las condiciones ideales para la germinación.
Otra de los inconvenientes, enfocados en cultivos en hogares, tiene un monitoreo ineficiente de los sistemas pues la mayoría son manuales y dependen del conocimiento, disponibilidad y recursos que tienen las personas que desean incursionar en este tipo de cultivos. Esto deriva también en problemas de riegos inadecuados, es decir, no se tiene un equilibrio en la humedad del sustrato, indispensable para el crecimiento ideal de las semillas.
Un problema que se presenta en la Comarca Lagunera de Durango, es el clima semidesértico y el déficit de agua en la zona lo que demanda un control exhaustivo del uso de recursos hídricos para disminuir el gasto de agua y el desarrollo de sistemas sostenibles de mejor calidad.
El presente proyecto pretende dar una alternativa de solución a los problemas antes mencionados, brindando un prototipo que sea de bajo costo, fácil implementación y que monitoree las variables principales en el desarrollo de las semillas utilizadas en cultivos indoor como lo son: temperatura, humedad ambiental, humedad en el sustrato y la luminosidad. De igual forma, se pretende atacar el inconveniente del monitoreo fuera de donde se ha desarrollado el sistema, es decir, que la visualización de las variables se almacene y esté disponible en la web.
También el prototipo tiene el potencial de mejorar significativamente la eficiencia y la tasa de éxito en la germinación de semillas, tanto para huertos caseros como para aplicaciones profesionales en agricultura y viveros una vez que se ha validado el funcionamiento del sistema en general, así como de los parámetros seleccionados.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

2.1 Metodología de proyecto de ingeniería.

Para este proyecto se utilizó la metodología de ingeniería aplicada que consiste en pasar por diversas fases que siguen un proceso sistemático, desde la concepción de la idea hasta su implementación y seguimiento. A continuación, en la Figura 1, se presentan las fases típicas de la metodología anteriormente descrita.

Figura 1.
Metodología del proyecto de ingeniería



Estas fases proporcionan una estructura organizada para la ejecución de proyectos de ingeniería aplicada, asegurando una gestión eficiente, resultados satisfactorios y cumplimiento de los objetivos planteados.

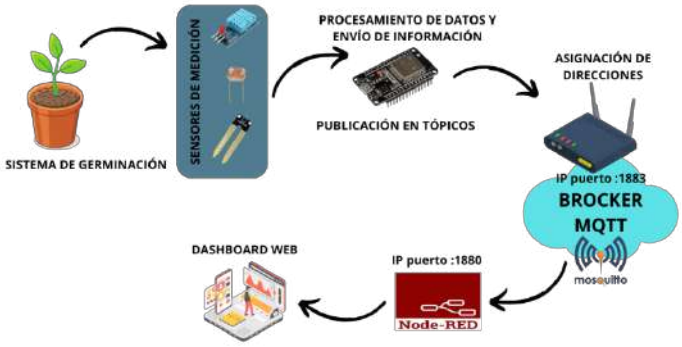
2.2 Concepción de la investigación

La necesidad del proyecto recae en resolver la problemática del monitoreo de datos ambientales y variables naturales que son esenciales en la germinación de cultivos en interiores, así como mejorar los métodos de riego de los mismos a partir de la aplicación de diversas tecnologías de vanguardia que faciliten la fabricación y la implementación del prototipo.
Las principales características que se buscan aplicar en el proyecto presentado son las siguientes:

- Bajo costo de implementación.
- Uso de herramientas de hardware y software libre.
- Manejo de sensores comerciales con la finalidad de dar un mejor mantenimiento a los sistemas físicos.
- Monitoreo de los datos en tiempo real en la computadora personal.
- Diseño de una interfaz visual para la visualización y adquisición de datos en la web.
- Diseño compacto para no requerir mucho espacio en los interiores en los que va a ser aplicado.
- Sistema de riego semiautomático para mejorar el manejo del agua en la germinación de las semillas.

Lo anterior descrito se definió a partir de las problemáticas, resultados y conclusiones de la bibliografía analizada, así como de los perfiles de los participantes en el mismo. En el esquema de la
Figura 2, se presenta el panorama general de proyecto en su concepción.

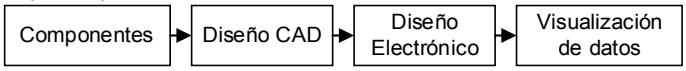
Figura 2.
Esquema general del proyecto



2.3 Planificación del sistema

Con base a lo establecido en el apartado de concepción se planificó el desarrollo en cuatro etapas principales que se observan en la Figura 3

Figura 3.
Etapas de planificación del sistema



En la primera etapa, se definieron los sensores con los que se trabajó, éstos deben de tener un bajo costo, relativamente fácil de implementar y de programar, así como de tener un tamaño reducido con la finalidad de optimizar los espacios a utilizar. Dentro de este apartado, se definió el método de fabricación, que se fue realizado a partir de manufactura aditiva mejor conocida como impresión 3D.

Posteriormente, con los sensores definidos, se realizó el diseño del prototipo a la medida de los componentes elegidos utilizando software asistido por computadora. En este caso, se realizó la interrogante si utilizar software con licencia o de uso educativo/libre.

La tercera etapa contempló el desarrollo de los circuitos acondicionadores de señal para los sensores, así como las conexiones de los mismos en un microcontrolador ESP32® que fue el elegido de acuerdo a sus características enfocadas en la comunicación inalámbrica ya sea por Wi-Fi, bluetooth o su mismo protocolo llamado ESPNOW

Por último, se programó la interfaz visual a través de herramientas que permitan el monitoreo y registro de datos en la web, así como la visualización en la computadora con comunicación Serial.

2.4 Hardware utilizado

2.4.1 ESP32

El ESP32 es un microcontrolador altamente versátil y potente que se utiliza en una variedad de aplicaciones, incluido el control de procesos en entornos automatizados. Su importancia en el control de procesos radica en su capacidad para gestionar y controlar una amplia gama de dispositivos y sensores, así como para ejecutar algoritmos de control de manera eficiente y confiable. Una imagen descriptiva se presenta en la Figura 4, que corresponde una placa DevKit1

Figura 4.
Microcontrolador ESP32 DEVKIT1(Fuente: Digikey)

Uno de los aspectos más destacados es la capacidad del microcontrolador para adquirir datos de sensores y dispositivos de manera precisa y oportuna. Esto es crucial en el control de procesos, ya que permite monitorear variables como temperatura, presión, flujo, nivel, entre otros, en tiempo real. La capacidad de adquisición de datos facilita la implementación de sistemas de control en tiempo real que pueden ajustar parámetros y tomar decisiones de manera dinámica en función de las condiciones del proceso (Pravalika, 2019).

Además, ofrece la posibilidad de comunicarse con otros dispositivos y sistemas a través de una variedad de interfaces como Wi-Fi, Bluetooth, SPI, I2C, entre otras. Esta capacidad de comunicación facilita la integración del ESP32 en entornos de control de procesos más complejos donde se requiere interacción con sistemas de supervisión, bases de datos, actuadores, entre otros componentes (Babiuch, 2019).

De acuerdo a las especificaciones anteriores, se presenta como una alternativa de bajo costo para la elaboración de la presente investigación.

2.4.2 Sensor DHT11

Es un sensor de temperatura y humedad diseñado para aplicaciones de monitoreo ambiental, este sensor puede medir la temperatura en un rango de 0 a 50 grados Celsius con una precisión de ±2 grados Celsius, y la humedad relativa en un rango de 20% a 90% con una precisión de ±5%. Utiliza un único bus de datos para la comunicación y puede ser implementado con microcontroladores como Arduino®, ESP32®, Raspberry Pi®, lo que lo hace popular en proyectos de electrónica y domótica donde se requiere medir la temperatura y humedad del entorno. El sensor de presenta en la Figura 5.

Figura 5.
Sensor de temperatura y humedad DHT11(Fuente: Digikey)

En sistemas de cultivo indoor, el uso del sensor DHT11 es bastante común para monitorear las condiciones ambientales dentro del entorno de cultivo. Por ejemplo, en sistemas de cultivo hidropónico o de cultivo en invernaderos controlados, se utiliza para medir la temperatura y humedad relativa del aire, lo que es de vital importancia para garantizar condiciones óptimas para el crecimiento de las plantas tanto en entornos externos como controlados como el descrito en el presente artículo.

2.4.3 Resistencia dependiente de luz (LDR)

Es un componente electrónico que varía su resistencia eléctrica en función de la intensidad de la luz que recibe. Está

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

compuesto por una cerámica semiconductora que disminuye su resistencia cuando es expuesta a la luz como se ve en la Figura 6.

Figura 6.
Resistencia dependiente de luz (LDR) (Fuente: Adafruit)

Tomando sus características para el cultivo en interiores el LDR se utiliza como sensor de luz para monitorear la cantidad de iluminación que reciben las plantas

2.4.4 Sensor de humedad de sustrato.

El sensor HW-080 es un dispositivo utilizado para medir la humedad del suelo. Este tipo de sensor es especialmente relevante en aplicaciones agrícolas, de jardinería y de monitoreo ambiental, donde el contenido de humedad del suelo es un factor crítico para el crecimiento de las plantas y otros organismos vivos en el suelo, la composición del sensor se encuentra en la Figura 7.

Figura 7.
Electrodo del sensor HW-080 (Fuente: Adafruit)

El sensor HW-080, generalmente consta de dos electrodos que se insertan en el suelo. Estos electrodos están conectados a un circuito que mide la resistencia o conductividad entre ellos que, para este caso, estaría conectado a un acondicionador de señal proveniente del fabricante para posteriormente ser ingresado por un canal del convertidor análogo – digital del ESP32.
El funcionamiento básico de un sensor de humedad en tierra implica la detección de cambios en la conductividad eléctrica del suelo, que varía en función de la cantidad de agua presente en el suelo. Cuanto más húmedo esté el suelo, mayor será su conductividad eléctrica, y viceversa.
Su aplicación en el prototipo es la base para la detección de cambios en la humedad del sustrato y realizar el control de la misma a través de la programación del microcontrolador y la interfaz visual.

2.4.5 Sensor VL540x

El sensor VL53L1X es un sensor de distancia láser de alta precisión diseñado para medir distancias de manera precisa y rápida en una variedad de aplicaciones. Utiliza tecnología de tiempo de vuelo (ToF) para calcular la distancia entre el sensor y el objeto objetivo. La Figura 8, muestra una imagen del sensor en cuestión.

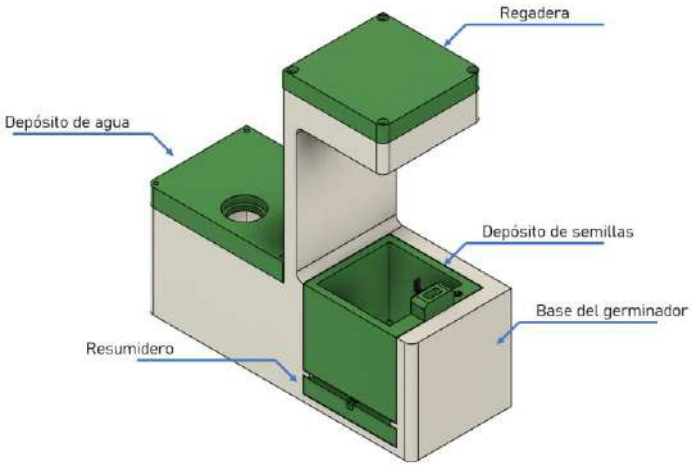
Figura 8.
Sensor VL5310X(Fuente: Digikey)

Es especialmente notable por su capacidad de medir distancias de hasta varios metros con una alta resolución y precisión, lo que lo hace ideal para aplicaciones que requieren detección y seguimiento de objetos en movimiento o que necesitan medidas precisas de distancias.

2.5 Diseño y manufactura del prototipo.

Se realizó el diseño del prototipo a través del software especializado Fusion 36 ® con licenciamiento de estudiante. El diseño está dividido en 5 partes principales que se muestran en la Figura 9.

Figura 9.
Estructura general del prototipo de germinador en Fusion 360®



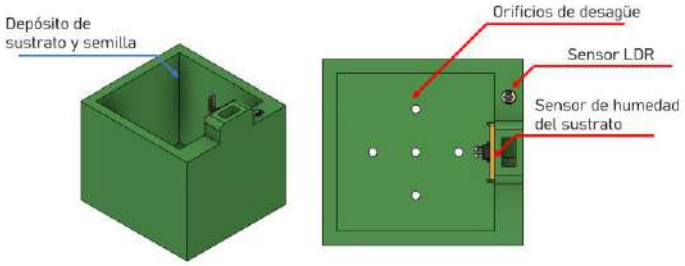
Entre las especificaciones de diseño se tienen:

- Piezas con formas regulares con la finalidad
- Las piezas deben de ser, en medida de lo posible, fácilmente ensamblables.
- Tamaño reducido para ocupar menos espacio en el interior donde se va a aplicar.

2.5.1 Diseño del depósito de semillas

El depósito de semillas es el núcleo del prototipo, en este lugar es donde se va a colocar el sustrato que va a sostener el cultivo mientras se da su germinación. En esta pieza se tienen colocados el sensor de humedad de tierra y la medición de la intensidad de la luz. El diseño del depósito de semillas se ve en la Figura 10.

Figura 10.
Diseño del depósito de sustrato y semilla en Fusion 360®



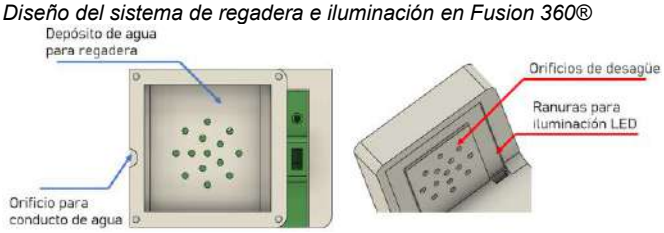
La ubicación de los sensores en la estructura está estratégicamente definida para que la medición de los parámetros sea lo más fiable posible. Así mismo, se encuentran hechos al calce para que los elementos de medida no tengan movimiento que puedan generar errores en las señales.

2.5.2 Diseño de la regadera y sistema de iluminación.

Para el apartado del riego automático se definió una regadera en la parte superior del depósito de sustrato y semilla para que el agua fuera distribuida lo más uniformemente posible dentro de las especificaciones de diseño. También, se tiene un sistema de iluminación LED para cuando sea necesario controlar esta variable. El diseño se ve en la

Figura 11.

Figura 11.
Diseño del sistema de regadera e iluminación en Fusion 360®

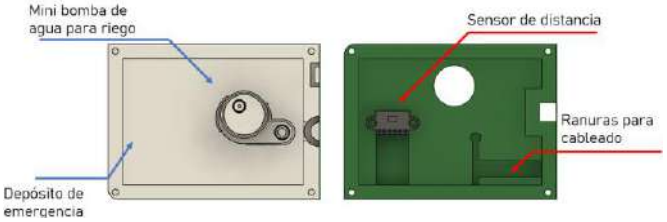


De igual forma, se tienen orificios equidistantes y centrados con la caja de depósito y el orificio para el conducto de agua proveniente de la bomba.

2.5.3 Diseño del depósito de agua.

El sistema de riego se basa en un depósito de aproximadamente 300 mililitros de reserva que fungirá como sistema emergente en caso de que no se pueda realizar de forma manual. Se tiene una forma cuadrada para mejor cálculo del volumen del líquido. En la Figura 12, se presenta el diseño del depósito y la ubicación de la bomba.

Figura 12.
Diseño del depósito de agua y tapa con sensor en Fusion 360®



Con la finalidad de tener una retroalimentación de si el depósito se encuentra vacío se colocó un sensor de distancia láser con el que se pueda calcular de forma aproximada el agua que se tiene actualmente e impedir que la bomba funcione en vacío.

2.5.4 Resumidero.

Al tener orificios de desagüe en el depósito de sustrato y semillas se colocó un resumidero que permita contener el agua que se filtre de la parte superior. Por cuestión de diseño, se implementó de poca capacidad como se ve en la Figura 13.

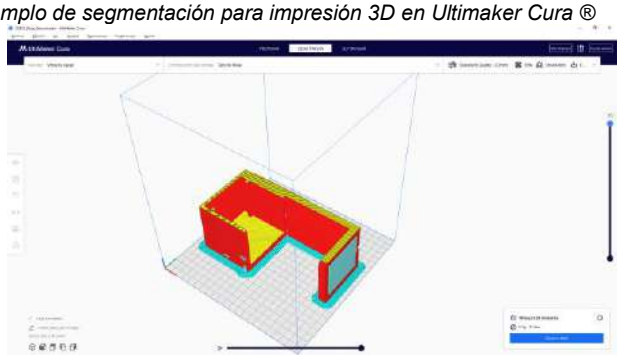
Figura 13.
Resumidero para depósito de sustrato y semilla en Fusion 360®

Este sistema no se tiene retroalimentación en cuanto al nivel del agua del depósito de sustrato y semilla, siendo necesario que el usuario supervise la capacidad del mismo. Si bien su desborde no causa daños al sistema, si puede realizarlo en la ubicación donde se encuentre.

2.5.5 Implementación del diseño con impresión 3D.

Una vez que se tienen los diseños de las piezas y el ensamble de las mismas, se procede a generar el código para su fabricación en impresión 3D. Después de un análisis de las características del diseño, se definió al PETG como material de impresión pues tiene una alta capacidad de soportar temperaturas altas (conveniente en la zona donde se va a aplicar), así como poca o nula filtración de líquido al menos en materiales de bajo costo.
El software usado para la segmentación de las piezas fue Ultimaker Cura® en donde se colocan las especificaciones de la fabricación y se genera el código G que entiende la impresora. Un ejemplo de segmentación se ve en la Figura 14.

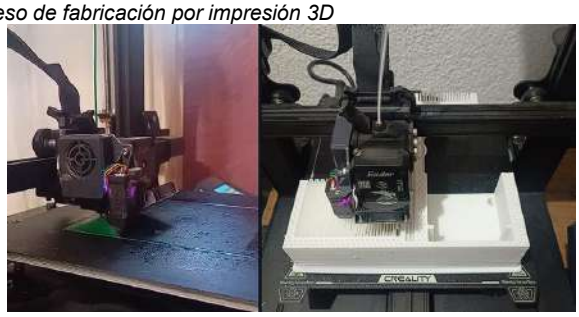
Figura 14.
Ejemplo de segmentación para impresión 3D en Ultimaker Cura ®



Se puede apreciar que el software también realiza un estimado de gasto de material y de tiempo de impresión, lo que permite hacer un análisis de los tiempos y gastos que se puedan tener si se quiere implementar.
Posteriormente, se llevó a cabo la impresión de todas las piezas. Un ejemplo de este proceso se muestra en la

Figura 15.

Figura 15.
Proceso de fabricación por impresión 3D



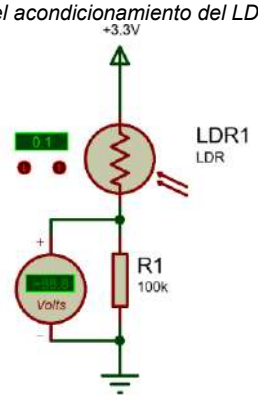
2.6 Diseño del circuito electrónico.

Una vez que se ha finalizado con la fabricación de la estructura se procedió con el diseño del circuito de control cuya pieza principal es el microcontrolador ESP32.

2.6.1 Acondicionamiento de la LDR

La LDR es una resistencia, por lo que es necesario realizar un acondicionamiento de señal que permita convertir esta variable a voltaje, pues éste es el que es leído por el conversor análogo – digital del ESP32. El circuito diseñado para esta tarea es un divisor de voltaje que se muestra en la Figura 16.

Figura 16.
Diseño esquemático del acondicionamiento del LDR en Proteus®



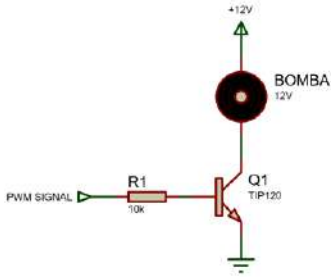
El voltaje de salida está dado por (1) que corresponde al análisis de un divisor de voltaje. La alimentación es de 3.3V pues es la tensión soportada por el microcontrolador ESP32®

$$V_o = \left(\frac{R1}{R_{LDR} + R_1}\right) \cdot 3.3V \qquad (1)$$

2.6.2 Circuitos de amplificación de corriente

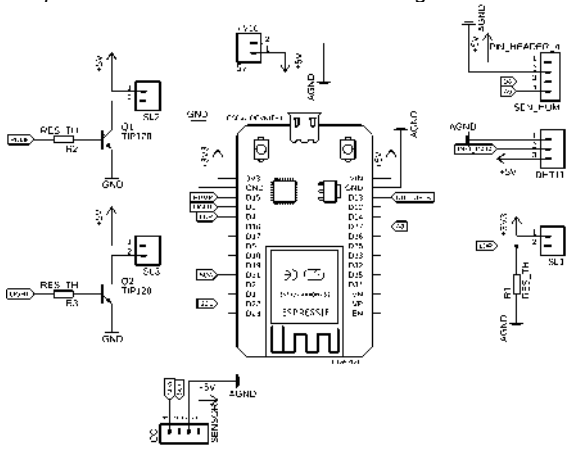
Consta de dos transistores de potencia TIP120 que serán los encargados del control de corriente de la iluminación y de la bomba de agua del depósito. Los transistores se encuentran trabajando en modo corte – saturación a partir de circuitos típicos de conexión con microcontroladores en emisor común como se muestra en la Figura 17. De igual forma se encuentran conectados a salidas PWM con la finalidad de modificar la potencia de salida del circuito.

Figura 17.
Diseño esquemático del circuito de potencia en Proteus®



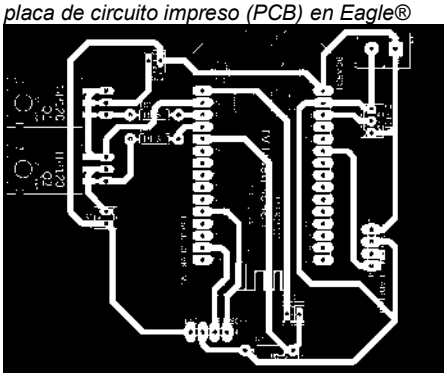
Así mismo, cuenta con conectores tipo JST para la conexión rápida de los sensores tanto de temperatura y humedad como del ultrasónico para el senado del nivel del tanque de agua. Para la LDR, se tiene un divisor de tensión conectado a un canal análogo – digital del ESP32 ®. Éstos últimos elementos funcionan a partir de protocolos de 2 hilos por lo que no requieren un acondicionamiento específico de señales. El esquemático general del proyecto se ve en la Figura 18.

Figura 18.
Diseño esquemático del circuito electrónico en Eagle®



Posteriormente, del circuito esquemático se diseñó la placa de circuito impreso en caso de que se requiera ser fabricada, esta se muestra en la Figura 19.

Figura 19.
Diseño de la placa de circuito impreso (PCB) en Eagle®

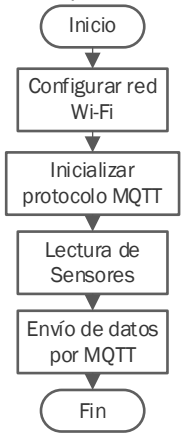


2.7 Algoritmos de programación

El algoritmo de programación se divide en dos partes: la primera corresponde a la realizada en el microcontrolador y la segunda la desarrollada en la interfaz visual en Node-Red®. En

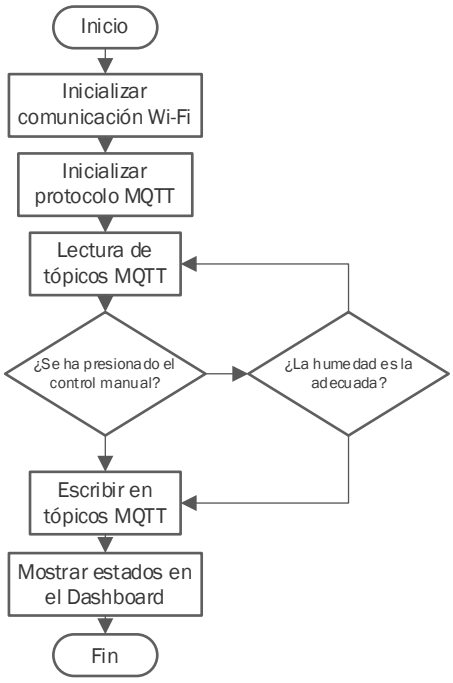
la Figura 20, se muestra el diagrama de flujo del funcionamiento básico del microcontrolador.

Figura 20.
Diagrama de flujo del algoritmo implementado en el ESP32®



En la Figura 21, se visualiza el diagrama de la , se presenta el algoritmo en diagrama de flujo del funcionamiento de la interfaz visual en Node-Red®. En donde se tienen dos modos de funcionamiento, el manual con controles mediante el dashboard y una automática que realiza un control on – off a través de la medición de humedad en el sustrato.

Figura 21.
Diagrama de flujo del algoritmo implementado en Node-RED®



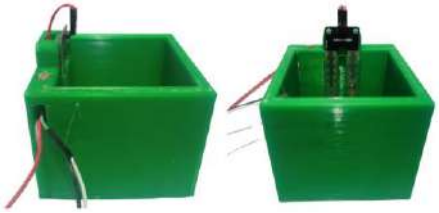
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Montaje de la estructura del germinador

Una vez que se tuvieron todas las piezas impresas se comenzó con el ensamble físico de los componentes. En primer lugar, se colocaron los sensores de luz y de humedad del sustrato en la caja de germinación.

Para el cableado se usaron conductos internos de la pieza para guiar a los conductores por un camino que no pusiera en riesgo la manipulación ya que, hay que recordar, que se va a trabajar con líquidos y se necesita evitar contacto con la corriente eléctrica. La Figura 22, muestra la caja de germinación montada y la ubicación de los sensores.

Figura 22.
Caja de germinación fabricada y sensores montados



Posteriormente, se montó la estructura base del germinador como se ve en la Figura 23. Al igual que el elemento anterior, se dejaron huecos para poder pasar el cableado electrónico.

Figura 23.
Estructura base del germinador montada

En la Figura 24, se puede observar el depósito de agua con la bomba colocada y el sensor en la parte superior en la tapa. Se tienen ranuras para el cableado y un orificio en la parte superior de la tapa para el llenado de agua cuando el tanque comienza a vaciarse.

Figura 24.
Montaje del depósito de agua.

3.1.1 Implementación del protocolo MQTT

El protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) es un protocolo de mensajería ligero y sencillo, diseñado

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

principalmente para aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT). Utiliza un modelo de comunicación publicador/suscriptor, donde los dispositivos o aplicaciones (clientes) pueden publicar mensajes en temas específicos y suscribirse a estos temas para recibir mensajes.

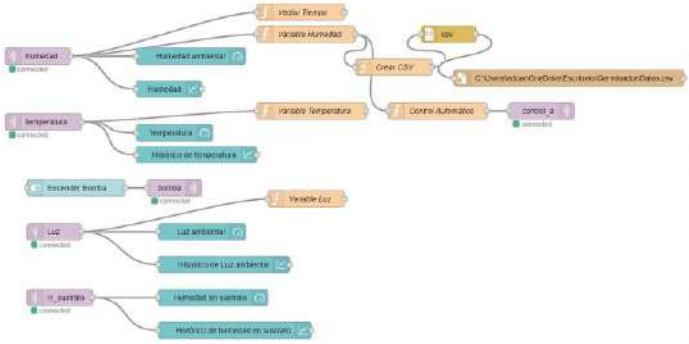
Los clientes se conectan al broker a través de TCP/IP, estableciendo parámetros de sesión y autenticación si es necesario. La publicación de mensajes se realiza en temas específicos, y el broker reenvía estos mensajes a los suscriptores correspondientes.
Para la implementación del protocolo en la web se diseñó un código en Node-RED ® que se basa en la suscripción a tópicos de cada sensor. Es decir, cada sensor y actuador del sistema se encuentra etiquetado para que el brocker puesta realizar el envío y recepción de datos, así como gestionar las suscripciones. La Tabla 1 muestra los tópicos requeridos para la adquisición de datos.

Tabla 1.
Relación de sensores y tópicos para implementación de MQTT

Sensor/actuador	Nombre de tópico
DHT11 (Temperatura)	Temperatura
DHT11(humedad)	Humedad_ambiental
Sensor HW-08	Humedad_sustrato
Fotorresistencia	Luz_ambiental
Bomba	Estado_bomba
VL530X	Nivel

La Figura 25., muestra la programación en Node-Red® para los elementos mencionados. Cada una de las funciones están realizadas en JavaScript, en donde el algoritmo principal es tomar el valor de los tópicos seleccionados y almacenarlos en variables globales que serán enviadas a un archivo separado por comas (CSV).

Figura 25.
Programación del Dashboard en Node-Red®



Para la implementación del control automático, se desarrolló un control On – Off básico presentado en el Código Fuente 1 que envía una señal por MQTT al ESP32® cuando la humedad está por debajo del 50%.

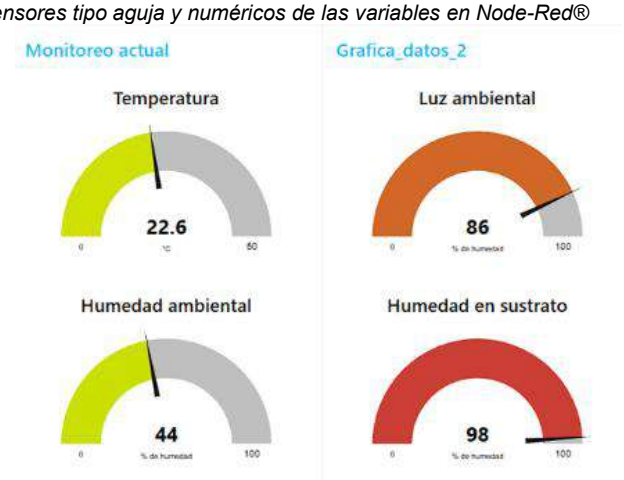
Código Fuente 1.
Programación del control On - Off

```
var humedad = global.get('humedad');
var control = false
if (humedad <= 50){
    control = true;
}
else
    control = false;
return control;
```

Con los tópicos identificados se diseñó e implementó la interfaz visual de la

Figura 26. En ella se encuentran gráficamente a través de medidores de aguja las variables principales de monitoreo y también de forma numérica. También se encuentran botones para el encendido de las luces de forma manual o automática y de la bomba.

Figura 26.
Sensores tipo aguja y numéricos de las variables en Node-Red®



Para el análisis de los datos se tienen gráficas históricas que en un futuro permitirán realizar estudios de la relación que existen entre las variables ambientales y el crecimiento de la semilla a germinar. Ejemplos de históricos se muestran en la Figura 27.

Figura 27.
Ejemplo de gráficas históricas de variables.

Como ejemplo, se presentan las gráficas de la humedad y la temperatura. En la realización del experimento se encendió un aire lavado que disminuye la temperatura, pero a su vez, aumenta la humedad ambiental siendo un factor que puede influir en las condiciones controladas del sistema.

La interfaz visual completa se presenta en la Figura 28. Es importante mencionar que el servidor web se encuentra dentro de la red local de los autores del artículo por lo que es accesible para cualquier dispositivo al ingresar a la dirección IP correspondiente al equipo de cómputo donde se encuentra corriendo el programa de Node-RED®.

Figura 28.
Interfaz visual o dashboard del prototipo en Node-Red®

IV. CONCLUSIONES

En conclusión, el desarrollo del prototipo de sistema de cultivo en interiores para la germinación de semillas, con monitoreo y control en la web utilizando un microcontrolador ESP32 y el protocolo MQTT, demuestra el potencial significativo de la tecnología moderna para mejorar la agricultura urbana y promover prácticas sostenibles. La integración de software especializado, como Fusion 360, y técnicas de manufactura aditiva permitió diseñar y fabricar componentes precisos y personalizados, optimizando la funcionalidad y eficiencia del sistema. El uso del microcontrolador ESP32 y el protocolo MQTT facilitó la comunicación en tiempo real y la gestión eficiente de datos, permitiendo que los posibles usuarios puedan monitorear y controlar las condiciones de cultivo de forma remota. Esto no solo aumenta la accesibilidad y conveniencia para los usuarios, sino que también contribuye a una mejor gestión de recursos, reduciendo el desperdicio y mejorando la productividad.

El impacto en la sociedad actual es notable, ya que este tipo de sistemas puede ser implementado en entornos urbanos, promoviendo la autosuficiencia alimentaria y reduciendo la dependencia de los sistemas agrícolas tradicionales. Además, fomenta la educación y conciencia sobre la importancia de la agricultura sostenible y el uso responsable de los recursos naturales.

El proyecto propuesto en este artículo ofrece una solución viable para enfrentar los desafíos asociados con el cambio climático y la urbanización. La capacidad de cultivar alimentos en interiores, controlando cuidadosamente las condiciones ambientales, permite una producción constante y confiable sin depender de las estaciones o del clima. Esto puede ser especialmente beneficioso en áreas con condiciones climáticas adversas o limitaciones de espacio.

Así mismo, el generar datos históricos puede derivar en análisis de datos a través de diferentes herramientas para implementar un sistema de control automático como lo pueden ser sistemas expertos o sistemas de aprendizaje.

V. AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos al Tecnológico Nacional de México (TecNM) Campus Instituto Tecnológico Superior de Lerdo por las facilidades brindadas para la realización del presente trabajo. También a la División de Ingeniería en Sistemas Automotrices y al Subdirección de Posgrado e investigación por el apoyo a la investigación realizada.

VI. REFERENCIAS

Babiuch, M. (2019). Using the ESP32 microcontroller for data processing. *20th International Carpathian Control Conference*.

Calderón Vargas, J. C. (2015). *Sistema domótico de riego controlado vía Web utilizando tecnología Arduino.* Licenciatura en Ingeniería en Sistemas Computacionales.

Castro Popoca, M. (2008). Sistema de riego automatizado en tiempo real con balance hídrico, medición de humedad del suelo y lisímetro. *Agricultura técnica en México*, 459-470.

de Castro, J. (2024). DISPOSITIVO PARA CULTIVO INDOOR DE PLANTAS. *Revista Foco*.

Guijarro-Rodríguez, A. (2018). Sistema de riego automatizado con Arduino. *Sistema*, 27.

Menoni, C. A. (2023). Sistema de monitoreo y control de cultivo indoor de cannabis. *Memoria Investigaciones en Ingeniería*, 156-171.

Murciano Carretero, A. (2019). *Diseño de automatización y control de sistema de cultivo indoor industrial mediante PLC y pantalla HMI* . Universitat Politècnica de València).

Murciano, A. (2019). *Diseño de automatización y control de sistema de cultivo indoor industrial mediante PLC y pantalla HMI* . Universitat Politècnica de València.

Pravalika, V. (2019). Internet of things based home monitoring and device control using Esp32. *International Journal of Recent Technology and Engineering 8*, 58-62.

Quispe Tapara, H. (2018.). *Diseño de un sistema de riego automatizado por aspersión para viveros de café utilizando la tecnología arduino en la empresa Viveros Ortíz–Pasco.*

Varona Anta, C. (2022). *Cultivo de microgreen de rúcula en agricultura vertical indoor: evaluación económica y medioambiental.* Universidad Politécnica de Cartagena.

VII. AUTORES

Eduardo Machado Diaz

https://orcid.org/0000-0003-2610-7570

Alfredo Orlando Hassan Barrón Quintero

https://orcid.org/0009-0007-5299-558X

Heber Joctan Martínez Sandoval

https://orcid.org/0009-0000-0534-2593

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

Diseño 3d y Análisis de Ingeniería Mediante Software NX para la Implementación de Simulador de Impacto Vehicular

Vaquera-González, E.[1]; Román-Landeros, D. A.[1]; Serrano-Hernández, A[1].

Datos de Adscripción:
[1]Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, División de Posgrado e Investigación. Av. Tecnológico N° 1555 . Periférico Lerdo Km. 14.5, Placido Domingo, 35150 Lerdo, Dgo. México
✉ evaquera@itslerdo.edu.mx

Resumen **- La investigación exhaustiva sobre los simuladores de impacto ha sido fundamental para considerar las situaciones que pueden surgir en accidentes viales. Esta comprensión detallada de la importancia y la relevancia de los simuladores ha conducido al diseño de un prototipo basado en una amplia gama de fuentes de investigación. Además, se han llevado a cabo pruebas de simulación minuciosas en cada componente del simulador, teniendo en cuenta tanto su estructura como sus dimensiones a tamaño real. Estas pruebas han proporcionado valiosos datos sobre la deformación de materiales, que a su vez han informado sobre los ajustes necesarios en el diseño, permitiendo una mejora continua en el proceso. La realización de este tipo de proyectos es de suma importancia, ya que promueve la innovación dentro de la institución y contribuye significativamente al desarrollo académico y práctico de los alumnos y profesores. Al ofrecer herramientas y recursos avanzados como este simulador de impacto, se facilita el aprendizaje y se enriquece la experiencia educativa, preparando a los estudiantes para enfrentar los desafíos del mundo real en el campo de la ingeniería automotriz. En la siguiente investigación se detalla el diseño del prototipo del simulador de impacto, los cálculos de las fuerzas que se aplicaran en las simulaciones de esfuerzo, los análisis de ingeniería, los cuales validaran ingenierilmente el diseño para su fabricación mediante los factores de seguridad previamente calculados, de igual manera se llevara acabo la manufactura del simulador de impacto. Todo esto para observar el comportamiento de los materiales al momento de un impacto, sin dejar a un lado la importancia del uso del cinturón de seguridad.**

Palabras clave **- Accidentes, Deformación, Diseño, Impacto, Innovación, Simulador**

Abstract - Extensive research on impact simulators has been essential to consider the multiple situations that can arise in a road accident. This detailed understanding of the importance and relevance of simulators has led to the design of a prototype based on a wide range of research sources. In addition, detailed simulation tests have been carried out on each component of the simulator, taking into account both its structure and its full-size dimensions. These tests have provided valuable data on material deformation, which in turn has informed necessary adjustments to the design, allowing for continuous improvement in the process. Carrying out this type of project is of utmost importance, since it promotes innovation within the institution and contributes significantly to the academic and practical development of students and teachers. By offering advanced tools and resources like this impact simulator, learning is facilitated, and the educational experience is enriched, preparing students to face real-world challenges in the field of automotive engineering. The following investigation will detail the design of the prototype of the impact simulator, the calculations of the forces that will be applied in the stress simulations, the engineering analyses, which will engineering validate the design for its manufacture using previously calculated safety factors. In the same way, the manufacturing of the impact simulator will be carried out. All this to observe the behavior of the materials at the time of an impact, without leaving aside the importance of using the seat belt.

Keyword **- Accidents, Deformation, Design, Impact, Innovation, Simulator**

I. INTRODUCCIÓN

El simulador de impacto es un sistema para realizar ensayos de impacto vehicular para así poder comprobar la velocidad pasiva de los vehículos y poder evaluar el nivel de protección que ofrecen a los pasajeros. (Universidad Politécnica de Madrid, 2024)

Comúnmente este tipo de simuladores abarca diferentes áreas del sector de investigación e innovación ya que la fabricación de automóviles cada vez se está innovando y es necesario realizar pruebas para comprobar la seguridad de los vehículos que saldrán al mercado para saber si serán seguros para el uso de estos mismos, sin embargo la realización de este tipo de simuladores requiere de una gran cantidad de dinero y no siempre se pueden realizar las pruebas a todos los automóviles que están siendo fabricados por lo tanto existen simuladores de impacto que te permiten recrear un accidente automovilístico sin la necesidad de contar con un automóvil (Illescas P., 2009)

Los simuladores de impacto de autos se basan en modelos matemáticos y físicos para simular con precisión las fuerzas y las deformaciones que ocurren durante una colisión. Estos modelos se combinan con datos reales sobre vehículos y materiales para recrear las condiciones de un accidente (Siemens Digital Industries Software, 2024).

Existen diferentes tipos de simuladores de impacto, desde simulaciones por ordenador hasta instalaciones físicas más complejas. Algunos simuladores de impacto utilizan maniquíes instrumentados con sensores para medir las fuerzas y los efectos del impacto en el cuerpo humano.

Estos simuladores son utilizados por fabricantes de automóviles y organismos de seguridad para evaluar y mejorar el diseño de los vehículos, probar nuevos sistemas de seguridad y evaluar la efectividad de los dispositivos de retención, como cinturones de seguridad y airbags (Condes, 2005)

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

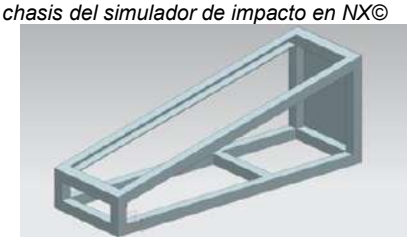
Además, los simuladores de impacto de autos también se utilizan en investigaciones científicas para analizar y comprender mejor las lesiones causadas por accidentes de tráfico, así como para desarrollar soluciones de seguridad más efectivas (Alegsa, 2023) El objetivo de este proyecto es diseñar y analizar ingenierilmente un simulador de impacto vehicular para concientizar a la población sobre el uso adecuado del cinturón de seguridad y así reducir el porcentaje de muertes en accidentes automovilísticos. El alcance que se espera es en las diferentes áreas que se encuentran dentro y fuera del instituto.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

2.1 Diseño de prototipo principal

Se llevó a cabo el prediseño de un simulador de impacto con el objetivo de crear una estructura basada en una construcción existente, utilizando medidas completamente aleatorias. El primer paso en este proceso fue la creación de un chasis y una jaula representativa, además de un ensamblaje preliminar, para obtener una idea visual y funcional de cómo podría ser un diseño final de un simulador.

Figura 1
Prediseño de chasis del simulador de impacto en NX©



El diseño continuó con la instalación de tres barras laterales: dos diagonales y una horizontal. Estas barras proporcionan un refuerzo adicional al chasis de la jaula, mejorando su resistencia al recibir el impacto. Además, se incorporó un soporte esencial para la colocación de un asiento de auto y una pared frontal destinada a colocar una protección para el usuario, garantizando su seguridad durante el uso del simulador.

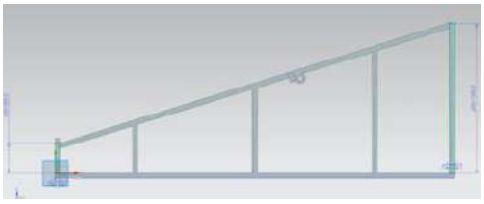
Figura 2
Prediseño de jaula del simulador de impacto en NX©

Se tiene un ensamblaje de ambas piezas que permite apreciar una idea muy básica utilizada para la creación de un prototipo mejor estructurado, con parámetros, cálculos y medidas especificadas. Este ensamblaje inicial sirvió como una base fundamental, sobre la cual se desarrolló un diseño más detallado y preciso, asegurando una mayor congruencia y funcionalidad en el prototipo final.

Figura 3
Preensamble del simulador de impacto en NX©

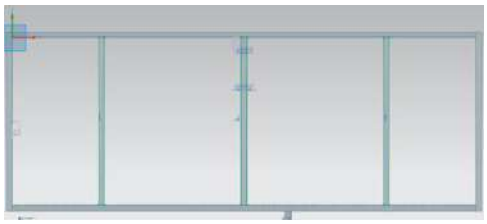
La altura máxima del chasis se estableció en 1.5 metros para lograr una inclinación adecuada, que corresponda a los parámetros requeridos de la jaula al momento de accionar el simulador. Esta altura es crucial para garantizar que el simulador funcione correctamente y cumpla con los estándares de seguridad y eficiencia necesarios.

Figura 4
Diseño de soportes principales en NX©



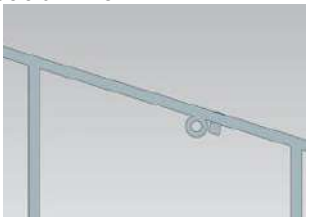
Para la parte inferior del chasis, se agregaron tres barras de 1.4 metros con el fin de mejorar la estabilidad de la base del chasis en contacto con el suelo cuando el simulador está en funcionamiento. Además, estas barras contribuyen a un diseño más estético y mejor estructurado.

Figura 5
Diseño para reforzamiento inferior en NX©



En la parte lateral del chasis, se realizó una modificación para instalar un sistema de accionamiento que permite detener y soltar la jaula mediante un pasador con una palanca. La estructura tiene un diámetro interno de 1 pulgada, teniendo en cuenta las dimensiones que puede tener una chumacera fuera del entorno de diseño.

Figura 6
Parte lateral del chasis en NX©



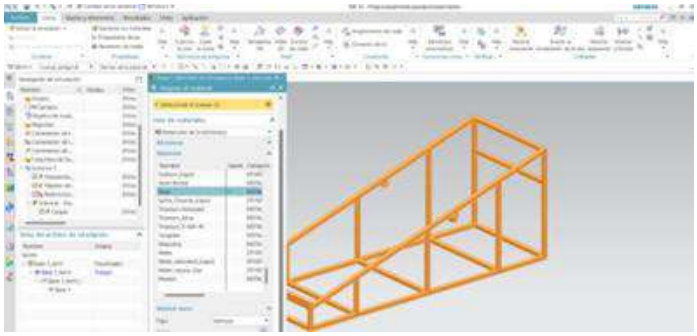
2.2 Simulaciones de esfuerzo mediante software

En el apartado de posprocesamiento del software se utilizó el apartado de análisis estructural para así generar una simulación nueva específicamente para el análisis del impacto que se recibirá en la zona específica.

Figura 7
Apartado de FEM y SIM para la simulación en NX©

En el siguiente apartado se agregó el mallado de las piezas a analizar y la selección de materiales para simular la deformación y esfuerzo de las piezas según el material que se utilice ya que cada material se comporta diferente debido a sus distintas propiedades.

Figura 8.
Asignación de materiales de la base en NX©



Se le colocó una restricción tipo fija a las partes de las estructuras que no recibirán ningún impacto por lo que no tendrán que soportar ningún esfuerzo debido a la zona donde se presentará el impacto.

Figura 9
Creación de restricción fija en NX©

Lo siguiente a realizar fue colocar la carga necesaria en la parte del cuerpo que no se encuentra con algún tipo de restricción, este valor fue determinado tomando en cuenta la inclinación de la figura y el peso que se tiene en la jaula responsable de realizar la carga, tomando en cuenta que el peso del objeto es de 341 kilos, se procede a utilizar las componentes del peso del objeto a lo largo y perpendicular al plano inclinado. (Budynas & Nisbett, 2008)

Formula 1 Formula para carga necesaria

$$F_{paralela} = (m)(g)(sin\theta) \quad (1)$$

Donde:

$F_{paralela}$ es el componente del peso del objeto a lo largo del plano inclinado.

m es la aceleración debido a la gravedad, que es aproximadamente 9.8 $^{m}/_{s^2}$

θ es el ángulo del plano inclinado que se encuentra a 17°

Y se sustituyeron los valores en la fórmula 2:

$$F_{paralela} = 341\ kg\ x\ 9.8\ {}^{m}/_{s^2}\ x \sin(17°) \quad (2)$$

Se calcula el valor de $\sin(17°)$

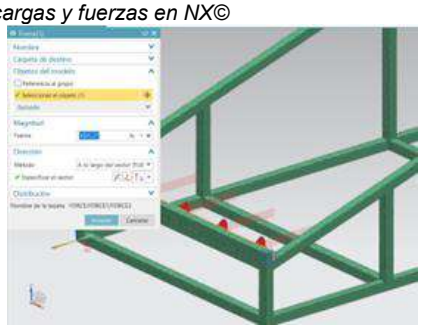
$sin(17°)$ = 0.2924

Se sustituye el valor en la fórmula 3:

$$F_{paralela} = 341\ kg\ x\ 9.8\ {}^{m}/_{s^2}\ x\ 0.2924 \approx 1005.27\ N \quad (3)$$

La obtención de este resultado se colocó en el apartado de fuerzas del software y se seleccionó la parte donde la base recibirá el impacto que en su caso fue la parte interna de la zona frontal de la estructura.

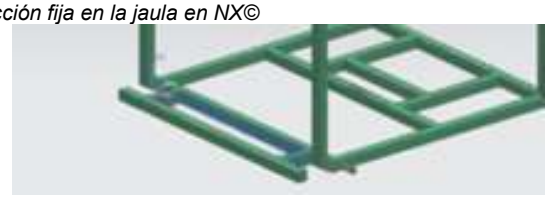
Figura 10
Apartado de cargas y fuerzas en NX©



Para la parte de la jaula se hizo el mismo procedimiento, utilizando el mismo material en y colocando una restricción fija en las zonas cercanas que no recibirán ningún impacto ni esfuerzo.

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

Figura 11
Restricción fija en la jaula en NX©



Para colocar la carga necesaria en la parte del cuerpo que no se encuentra con algún tipo de restricción, este valor fue determinado tomando en cuenta la inclinación de la figura base y el peso que tiene en la jaula responsable de realizar el recorrido y la carga. El total fue de 1005.27 N.

Figura 12
Carga en zona de impacto de la jaula en NX©

2.3 Selección de materiales

Después de hacer las simulaciones se buscaron distribuidores y proveedores de material de acero, con la finalidad de encontrar el mejor material calidad – precio.

Tabla 1
Dimensiones, recios de materiales y cantidades de piezas a usar

Materiales	Cantidad	Precio unitario	Precio total
PRT 2x2" Calibre 14	10	$495	$4950
Polines 1x3 ½" Calibre 16	2	$412	$824
Disco para sierra circular	2	$50	$100
Discos para desbaste	5	$30	$150
Rodamientos 40mm x 68 mm	4	$220	$880
Asiento de automóvil	1	$450	$450
Rollo micro alambré 0.030	2	$300	$600
Maquina p/soldar inverter	1	$3000	$3000
Amortiguadores de automóvil	2	$50	$50
TOTAL			$11004

Se cortaron los materiales de las medidas que se tenían en el diseño antes realizado en el software, para el apartado del chasis dejando ángulos de 90° en las esquinas para cualquier modificación.

Figura 13
Perfiles cortados a medida

Para la estructura de la jaula se cortaron los materiales sin hacer ninguna modificación a las medidas previamente vistas en el diseño del software.

Figura 14
Corte de perfiles para jaula

2.4 Soldado de los materiales previamente cortados

Para comenzar la unión entre todos los componentes del chasis lo primordial fue cuadrar la base que sostiene todos los soportes y refuerzos soldando los dos tramos de perfil

Figura 15
Unión de refuerzos inferiores

Lo siguiente a realizar fue colocar los soportes de 1.5 m y sus componentes de la parte trasera del chasis para así tener una mejor referencia y que la altura quedara acorde a lo especificado en el diseño.

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

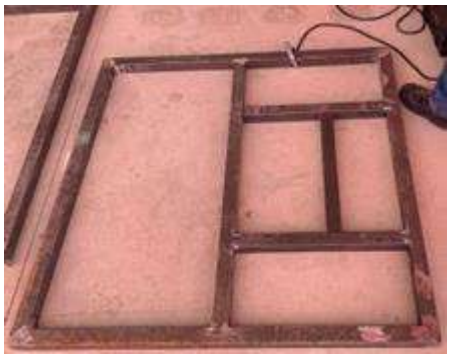
Figura 16
Soportes traseros del chasis

Se realizaron las uniones con soldadura de los soportes donde van recargados los rieles en diagonal, para que éstos quedaran de manera fija tomando en cuenta la desviación o deformación que tienen los materiales tras el contacto con la soldadura.

Figura 17
Soportes laterales en vertical

Los siguiente es soldar la base de la jaula para poder montar el asiento y la jaula al chasis y los rieles.

Figura 18
Soportes para base del asiento



Para la parte frontal de la jaula se procedió a soldar los perfiles de 90 cm y el perfil en horizontal de 1.2 m con la misma indicación que en la parte trasera con 5cm hacia adentro de la base para una simetría entre la parte trasera y la parte frontal.

Figura 19
Empotramiento y fijación del asiento

2.5 Acabados estéticos

Se realizaron acabados estéticos de pintura al chasis, la base del asiento, la jaula y los rieles.

Figura 20
Acabado estético a todo el simulador

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultado análisis estructural a la base.

Los resultados del análisis estructural a la base arrojaron como datos el esfuerzo nodal máximo al momento de recibir el impacto de la jaula teniendo un total de 25.15 MPa lo cual indica el punto máximo de esfuerzo hacia la pieza restringida. El esfuerzo máximo generado por la carga aplicada se distribuye hacia las zonas donde se encuentran las restricciones fijas el animado arrojado por el software permite visualizar el momento exacto en el que se encuentra en su punto máximo de deformación sin embargo esta animación solo muestra una representación de cómo se podría apreciar la deformación del material.
Una vez teniendo el resultado de 25.15 MPa se procedió a utilizar la fórmula 4 para calcular el factor de seguridad tomando en cuenta la siguiente fórmula:

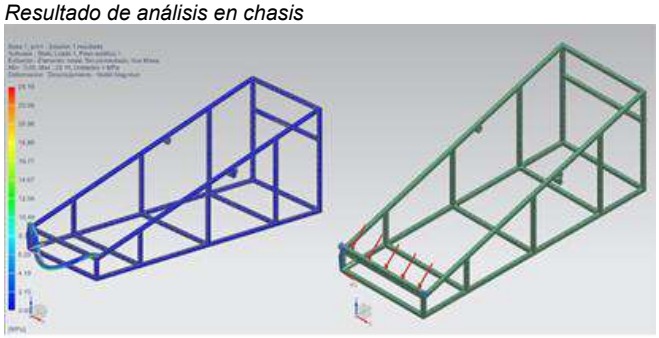
$$Factor\ de\ Seguridad = \frac{Resistencia\ última\ del\ material}{Carga\ aplicada} \quad (4)$$

Donde:
Resistencia última del acero comercial: *250 MPa*
Carga aplicada: *25015 MPa*
Se obtiene que:

Sustitución y resolución de fórmula (5) de seguridad

$$Factor\ de\ Seguridad = \frac{250\ MPa}{25.15\ MPa} = 9.94 \quad (5)$$

Figura 21
Resultado de análisis en chasis



3.2 Resultado análisis estructural a la pieza idealizada de la base.

El resultado de someter la estructura de la base permitió apreciar el esfuerzo máximo que se tuvo al momento de aplicar la carga en la zona superior de la estructura, tomando en cuenta los cálculos que se realizaron previamente al análisis se tiene que el esfuerzo nodal máximo al que está sometida la jaula es de 15.07 MPa donde la zona que se tiene con mayor esfuerzo sometido tiende a ser en la zona donde se encuentran los soportes verticales, el asistente de animado muestra una representación de la deformación de la pieza al ser sometida al análisis, sin embargo, al igual que el análisis de la base este simplemente muestra cómo se podría apreciar la pieza al momento de la deformación.
Tomando en cuenta el resultado del análisis estructural siendo este de 15.07 se procedió a calcular el factor de seguridad al momento de aplicar la carga tomando en cuenta la fórmula 6:

$$Factor\ de\ Seguridad = \frac{Resistencia\ última\ del\ material}{Carga\ aplicada} \quad (6)$$

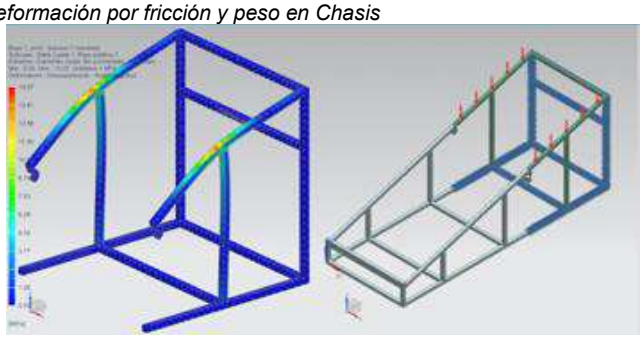
Donde:

$$Resistencia\ última\ del\ acero\ comercial: 250\ MPa$$
$$Carga\ aplicada: 15.07\ MPa$$

Se obtiene que en la fórmula 7:

$$Factor\ de\ Seguridad = \frac{250\ MPa}{15.07\ MPa} = 16.5 \quad (7)$$

Figura 22
Deformación por fricción y peso en Chasis



En la tabla 2 se aprecian los resultados concisos de los análisis mediante software antes mencionados, en los cuales se visualiza la factibilidad del simulador de impacto.

Tabla 2
Resultados análisis estructurales

Esfuerzo Máximo	Esfuerzo Mínimo	Factor de seguridad	Resiste el impacto: Si/No
25.15 Mpas	0 Mpas	9.94	Si
15.07 Mpas	0 Mpas	16.5	Si

Las pruebas de funcionamiento al simulador se llevaron a cabo en el laboratorio de sistemas automotrices donde se trabajó la mayor parte del tiempo en perfeccionar los procesos para llevar a cabo las pruebas, en un principio la idea de realizar pruebas de funcionamiento era simplemente realizarlas en el software NX, sin embargo, se optó por realizar las pruebas en físico para poder comprobar el funcionamiento correcto de los elementos con los que fue elaborado cada una de las partes del simulador.
Se realizaron dos pruebas sin la necesidad de un usuario en la jaula ya que la intención era apreciar cómo es que se podría apreciar el impacto desde fuera, en la primera prueba se tuvo un error al momento de tener montada la jaula uno de los soportes con rodamientos se desprendió de su lugar y se tuvo que volver a colocar de tal manera que esta vez quedara bien asegurado.

3.3 Resultado de pruebas de impacto

Se realizaron dos pruebas sin la necesidad de un usuario en la jaula ya que la intención era apreciar cómo es que se podría apreciar el impacto desde fuera, en la primera prueba se tuvo un error al momento de tener montada la jaula uno de los soportes con rodamientos se desprendió de su lugar y se tuvo que volver a colocar de tal manera que esta vez quedara bien asegurado.

Figura 23
Resultado en pruebas físicas del simulador

En la segunda prueba se pudo apreciar como la jaula tuvo un recorrido con una velocidad constante hasta el punto de llegar hacia la zona frontal del chasis obteniendo como resultado un impacto contundente y un funcionamiento correcto de cada una de las estructuras diseñadas y analizadas para la implementación.

Figura 24
Acabado final del simulador de impacto

3.4 Funcionamiento general del sistema

El simulador de impacto tiene un principio de funcionamiento que va enfocado a conocer los impactos y daños que sufren los materiales en una colisión vehicular, sin dejar a un lado la importancia del uso del cinturón de seguridad. El funcionamiento del sistema es el siguiente:

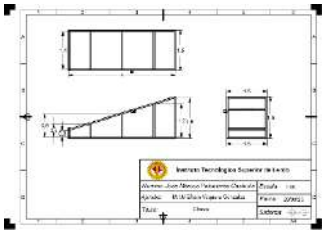
- Escenario de impacto: Se define el tipo de impacto a simular, como colisiones frontales, laterales, traseras, o vuelcos. Esto puede incluir la velocidad del impacto, el ángulo de colisión y otras condiciones relevantes. En este caso el impacto será frontal, dejando caer la jaula del copiloto para que se impacte con una barrera de metal propia de la estructura del simulador.
- Montaje de la prueba: La jaula del copiloto se encuentra sobre una plataforma móvil que permitirá recrear el escenario de impacto.
- Generación del impacto: La jaula del copiloto es impulsada a una velocidad determinada hacia una barrera fija. En otros casos, se puede utilizar una plataforma que acelera y luego detiene bruscamente el vehículo para simular un choque.
- Creación del modelo de elementos finitos: Se crea un modelo virtual del vehículo o vehículos utilizando un software de simulación de elementos finitos. Esto implica dividir la geometría del vehículo en elementos más pequeños y definir las propiedades materiales y geométricas de cada componente.
- Generación de informes: Se elaboran informes detallados que documentan los hallazgos del experimento, incluyendo recomendaciones para mejorar la seguridad del vehículo.
- Mejoras en diseño: Los datos y conclusiones obtenidas del simulador de impacto se utilizan para realizar mejoras en el diseño del simulador y sus materiales, optimizar sistemas de seguridad y cumplir con las normativas de seguridad vial.

3.5 Planos generales del sistema

A continuación, se muestran los planos de fabricación del simulador de impacto, los cuales fueron obtenidos después de modelar el sistema en el software de NX de Siemens.

Figura 25
Plano de estructura del simulador de impacto

Figura 26
Plano de la jaula del simulador de impacto



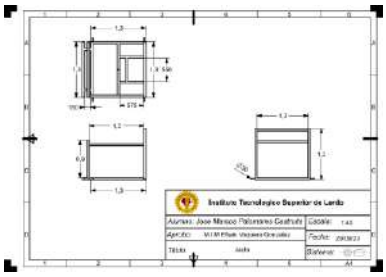
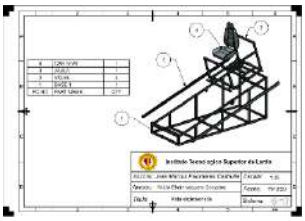


Figura 27
Plano vista explosionada del simulador de impacto



IV. CONCLUSIONES

La ejecución meticulosa de cada actividad dentro del marco del proyecto ha resultado fundamental para el desarrollo y la adquisición de habilidades específicas en el ámbito del diseño. Particularmente, se ha centrado en aspectos cruciales como la concepción inicial del diseño y la implementación de las diversas partes del prototipo principal del simulador. Asimismo, el análisis estructural exhaustivo de cada componente ha proporcionado una comprensión profunda de su funcionamiento interno y las propiedades inherentes de los materiales utilizados, generando resultados satisfactorios y visualmente claros al interactuar con el entorno de simulación de movimiento proporcionado por el software especializado.

Este enfoque también ha sido esencial para la selección y evaluación de materiales idóneos para la construcción de las estructuras del simulador, contribuyendo así a la optimización del rendimiento y la seguridad del dispositivo. Durante el proceso de

manufactura, se ha prestado una atención meticulosa a cada detalle conforme a los planos y especificaciones previamente establecidos, superando los desafíos y limitaciones encontrados en cada etapa de la producción.

Además, se ha llevado a cabo un análisis exhaustivo de diferentes escenarios y condiciones para anticipar el comportamiento y desempeño del diseño final. Esto ha implicado la realización de pruebas de funcionamiento del simulador con el objetivo principal de evaluar las propiedades y características de los materiales empleados, así como de concienciar a los usuarios sobre la importancia del uso del cinturón de seguridad en todo momento durante la conducción, mediante la simulación de impacto estático y otras situaciones representativas de riesgo.

Es importante mencionar que para esta primera etapa del proyecto del simulador de impacto se tuvo un alcance que consistió en el diseño, calculo, análisis y fabricación de la máquina, por lo que para futuras etapas del proyecto se proponen las siguientes recomendaciones:

Para la estructura de la base, se recomienda instalar un accionador que permita regresar la jaula a su posición original de manera automática, utilizando algún tipo de motor automatizado. Esto evitará complicaciones al dejar de utilizar el simulador y reducirá los riesgos asociados con la operación manual. Además, se sugiere la instalación de sensores que detecten la fuerza y la velocidad en las partes esenciales de la jaula o la base.

En cuanto a la estructura de la jaula, se recomienda mejorar la seguridad de la parte frontal utilizando un material más resistente. Asimismo, se deben reemplazar los soportes para los rodamientos con materiales más duraderos y robustos que los utilizados anteriormente.

Antes de realizar cualquier modificación física, se aconseja mejorar el diseño según las recomendaciones anteriores y visualizar estos cambios en un software de simulación. Esto permitirá evaluar cómo quedará el diseño final sin complicaciones adicionales, garantizando que las modificaciones sean efectivas y seguras antes de implementarlas físicamente.

V. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen en primera instancia al titular de la subdirección de posgrado e investigación del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo el MDGPT. Jesús Alejandro Valdés Nieblas por su apoyo y gestión de recursos para la realización de esta primera etapa del proyecto. El agradecimiento se extiende a los estudiantes de ingeniería en Sistemas Automotrices que a lo largo de los años han colaborado con su dedicación y esfuerzo en la participación de este tipo de proyectos, fortaleciendo la innovación científica tecnológica que se desarrolla dentro de la institución. Se Agradece también al Tecnológico Nacional de México por el impulso tecnológico a los diferentes campus alrededor del país, en este caso al Tecnológico Nacional de México Campus Lerdo.

VI. REFERENCIAS

Aceroform. (2023*). ¿Qué es el PTR?* https://www.aceroform.com.mx/blog/ptr/#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20el%20ptr%3F,tama%C3%B1o%20ni%20soportar%20gran%20peso

Aceroform. (2023). *Laminado | ¿Qué es y cuál es su proceso?* https://www.aceroform.com.mx/blog/laminado/

Aceromafe (2023). *Tratamientos térmicos del acero: tipos y características*. https://www.aceromafe.com/tratamientos-termicos-del-acero/

Alegsa, L. (04 de octubre de 2023). *¿Qué es un simulador de choques por ordenador?* Alegsa: https://www.alegsa.com.ar/Comentario-ia/8547.php#gsc.tab=0

AYJ transmisiones y equipos. (2024). *Maquinado o mecanizado: qué es, cómo funciona y cuáles son sus ventajas* https://www.ajtransmisiones.com/blog/que-es-maquinado

Bonilla, A., & Martínez, L. (2013). *Guía TECNOPYME fase II. Herramientas de Diseño e Ingeniería*. *CAP, 1*. [Archivo PDF]. https://www.bizkaia.eus/Home2/Archivos/DPTO8/Temas/Pdf/ca_GTcapitulo1.pdf

Budynas, R., & Nisbett, J. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (Octava ed.). Mc Graw Hill Interamericana. https://termoaplicadaunefm.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/03/disec3b1o-en-ingenierc3ada-mecc3a1nica-de-shigley-8-edicic3b3n-budynas.pdf

Centelsa (2016) *Proceso de Estirado-Trefilado*. http://centelsa.com/procesos-centelsa-proceso-de-estirado/

Condes, N. J. (2005). *Simulación de ensayos de choque en vehículos: validación de un modelo de dummy en 2 dimensiones.* Universidad Carlos III de Madrid: https://hdl.handle.net/10016/8679

Dassault Systèmes. (2022). *Extrusión.* https://www.3ds.com/es/make/guide/process/extrusion

Dassault Systèmes. (2022) *Fundición.* https://www.3ds.com/es/make/guide/process/casting

Derichebourg España. (10 de enero de 2020,). *Tipos de acero.* https://www.derichebourgespana.com/tipos-de-acero/

Eraso G. O. (2008). *Procesos de Manufactura*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia. https://www.academia.edu/45119412/procesos_de_manufactura_en_ingenier%c3%8da_industrial

Frías, J., & O'Brien, C. (2005). *La administración del diseño y la mercadotecnia, ¿un mismo objetivo?* [Ponencia] MX Design Conference. https://mxdesign.diseno.ibero.mx/conference/2005/HTMs-PDFs/AdmondelDisenoyMerca.pdf

Illescas P. D. (2009). *Simulación de un choque frontal de un vehículo automóvil contra diferentes tipos de barrera.* Universidad Carlos III de Madrid: https://hdl.handle.net/10016/7532

Khan Academy (2017). *¿Qué son los choques elásticos e inelásticos?* https://es.khanacademy.org/science/physics/linear-momentum/elastic-and-inelastic-collisions/a/what-are-elastic-and-inelastic-collisions

Laboratuvar (2017). *Pruebas de resistencia al impacto*. https://www.eurolab.com.tr/es/sektorel-test-ve-analizler/endustriyel-testler/darbe-dayanim-testleri

Posicionando, M. (10 de abril de 2021). *Todo sobre el forjado de metales.* https://distribuidoradealuminio.net/blog/todo-sobre-el-forjado-de-metales/

Rapiddirect. (17 de mayo de 2023). *Tabla de resistencia del metal: Qué material tiene la resistencia ideal del metal*. https://www.rapiddirect.com/es/blog/carta-de-fuerza-del-metal/#:~:text=Como%20suena%20el%20nombre%2C%20la,una%20m%C3%A1quina%20de%20prueba%20universal.

RMC. (22 de mayo de 2021). *Gray cast iron Mechanical properties*. https://es.steel-foundry.com/news/gray-cast-iron-mechanical-properties/

Ruiz, A. (2023). *¿Cuántos tipos de diseño existen actualmente?* ESDESIGN. https://www.esdesignbarcelona.com/actualidad/diseno/cuantos-tipos-de-diseno-existen-actualmente

San Juan, D. (2015). Soldadura: métodos y fundamentos. *Revista Cero Grados*. https://0grados.com/soldadura-metodos-y-fundamentos/

SDI (2022). *Procesos de manufactura*. https://sdindustrial.com.mx/blog/proceso-de-manufactura/#%C2%BFQue-es-un-proceso-de-manufactura

Siemens Digital Industries Software. (2024). *Diseño asistido por ordenador (CAD)*. https://www.sw.siemens.com/es-ES/technology/computer-aided-design-cad/

Some. (2022). *La embutición profunda de chapa metálica y sus aplicaciones industriales*. https://www.some.es/es/La-embuticion-profunda-de-chapa-metalica-y-sus-aplicaciones-industriales

Torices, A. (4 de diciembre de 2023,). PTR: *¿Qué es? Conoce sus medidas y calibres.* https://acerostorices.mx/perfiles-comerciales/ptr/#:~:text=Tipos%20de%20PTR,2%20formas%3A%20cuadrado%20y%20rectangular.

ULMA Forged Solutions (1 de septiembre de 2023) *El acero: características, propiedades y usos*. https://www.ulmaforge.com/noticia/el-acero-caracteristicas-propiedades-y-usos/

Universidad Politécnica de Madrid. (2024). *Simulador de impactos*. Hub Digital de innovación: https://www.upm.es/recursosidi/infraestructura/simulador-de-impactos/

VII. AUTORES

Efrain Vaquera Gonzalez

https://orcid.org/0009-0002-9123-6977

Arturo Serrano Hernandez

https://orcid.org/0009-0001-1302-5747

Diego Alberto Roman Landeros

https://orcid.org/0000-0002-0671-7577

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

Análisis de Materiales PLA y ABS Impresos en 3D, Sometidos a Compresión y Estrés Térmico

Serrano-Hernández, A[1]✉; Machado-Díaz, E[1]; Vaquera-González, E[1]

Datos de Adscripción:
[1] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Lerdo. División de Ingeniería en Sistemas Automotrices. Av. Tecnológico No. 1555 Sur, Periférico Gómez – Lerdo Km 14.5, C. P. 35150, Lerdo, Durango, México.

✉ arturo.sh@itslerdo.edu.mx

Resumen **- La implementación del proceso de fabricación con impresoras 3D como nueva tecnología, ha revolucionado a nivel mundial dentro de la industria en general, la forma en que se diseñan, prototipan y fabrican productos. Esta tecnología ha permitido flexibilidad en los procesos de fabricación y ha transformado la industria al ofrecer soluciones eficientes y rentables. El objetivo del proyecto fue evaluar la viabilidad de sustituir materiales de piezas mecánicas plásticas de uso industrial (Nylamid), por otros materiales plásticos pero impresos, haciendo pruebas inicialmente con PLA y ABS con distintos niveles de relleno. A través de la recopilación de datos sobre piezas sometidas a distintas cargas en entornos industriales, es que se diseñó un experimento en el que se probaron distintos materiales expuestos a condiciones similares de la industria, pero de forma controlada. Este intercambio se realizó considerando implicaciones económicas y de tiempos de fabricación, para determinar la viabilidad de la sustitución del material para las piezas mecánicas. El experimento constó de pruebas en una mufla (horno), los materiales empleados fueron PLA y ABS y además se sometieron las muestras a una carga de 4.7Kg, evaluando su comportamiento y registrando los datos correspondientes a la deformación según la temperatura de control por tiempo determinado. Los resultados obtenidos del experimento ayudaron a determinar la viabilidad de la sustitución de material, sin comprometer la resistencia de las piezas mecánicas. Esto sugiere, que es posible utilizar materiales alternativos en la fabricación de estas piezas, lo que podría traducirse en posibles beneficios económicos.**

Palabras Clave: **Deformaciones, Esfuerzos, Impresión 3D, Materiales.**

Abstract **- The implementation of the manufacturing process with 3D printers as a new technology has revolutionized the way products are designed, prototyped, and manufactured on a global scale within the industry in general. This technology has allowed flexibility in manufacturing processes and has transformed the industry by offering efficient and cost-effective solutions. The objective of the project was to evaluate the feasibility of replacing materials for industrial-use plastic mechanical parts (Nylamid) with other printed plastic materials, initially testing with PLA and ABS with different infill levels. Through the collection of data on parts subjected to various loads in industrial environments, an experiment was designed in which different materials exposed to conditions similar to the industry but in a controlled manner were tested. This exchange was carried out considering economic and manufacturing time implications to determine the feasibility of substituting the material for mechanical parts. The experiment consisted of tests in a muffle furnace, the materials used were PLA and ABS, and the samples were subjected to a 4.7Kg load, evaluating their behavior and recording the corresponding deformation data according to the control temperature for a determined time. The results obtained from the experiment helped determine the feasibility of the material substitution without compromising the strength of the mechanical parts. This suggests that it is possible to use alternative materials in the manufacture of these parts, which could translate into potential economic benefits.**

Keywords: **3D Printing, Deformations, Materials, Stresses.**

I. INTRODUCCIÓN

En el ámbito industrial, la calidad y durabilidad de las piezas plásticas de desgaste son aspectos cruciales que influyen directamente en la eficiencia y seguridad de los procesos.
La resistencia a la compresión y a las condiciones térmicas son dos propiedades de exposición común a este tipo de piezas, la resistencia a las mismas es un factor buscado para garantizar un rendimiento óptimo en entornos de uso exigente. La evaluación de estas características mediante pruebas específicas, se convierte en un componente esencial para asegurar la fiabilidad y longevidad de los componentes plásticos utilizados en aplicaciones industriales.

Existen diversos procesos industriales pueden fácilmente intercambiar sus piezas plásticas por piezas impresas, como el caso de piezas creadas por procesos de fundición o por moldeo, entre ellos inyección, compresión, moldeo rotacional, o bien por procesos de remoción de material.
Algunos autores dan muestra de sus experimentos en áreas específicas, tal es el caso de David, Rosello Cruz (2022) quien experimentó con la extrapolación del proceso de impresión para aplicarse en el sector de la construcción, donde concluye que para dicho sector aún se encuentran en una fase de desarrollo inicial. Esto se ve reflejado en la calidad de las estructuras, la cual no es del todo óptima y queda alejada de las construcciones realizadas mediante los métodos tradicionales en cuanto a calidad superficial y de acondicionamiento.
En Argentina, ya desde 2018 se veía la evolución del campo de aplicación de la impresión 3D, siendo así que Roberto Antoni López (2018) enmarcó cuales giros guiaban dicho desarrollo, concluyendo que el ramo médico ha tomado el primer lugar como

campo de aplicación en dicho país y otros como Estados Unidos y Reino Unido, dejando en segundo plano al ramo industrial aunque no menos importante, pero si notando muy por debajo a ramas como la educación, arquitectura, juguetería, milicia, otros.

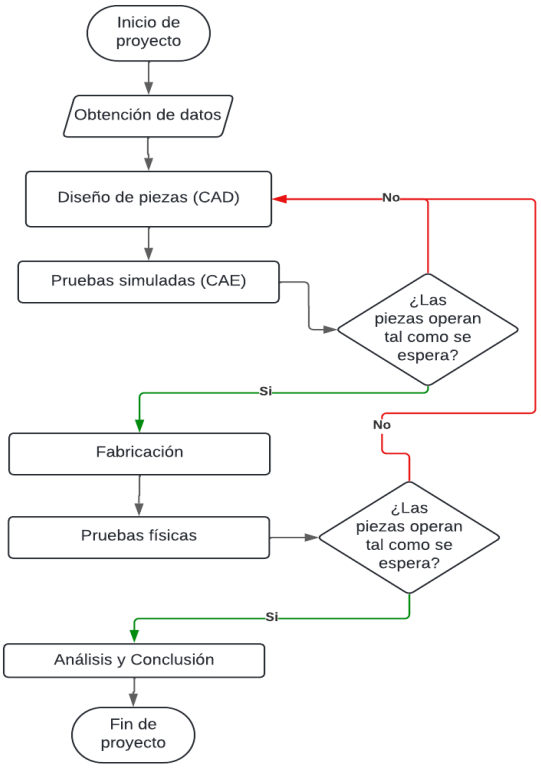
Respecto al ramo industrial y en apego a normativas, se han realizado estudios de resistencia de materiales impresos, en el caso de Rome Muñoz y otros (Muños et al, 2015), realizaron pruebas de resistencia de materiales de acuerdo con la norma ASTM D638-10, comprando piezas impresas con PLA contra resina sintética con material orgánico (Laywood). Obteniendo que la resistencia mecánica es mayor en materiales impresos.

Por lo anterior mencionado, es que se diseñó un experimento que proporcione información de apoyo en la toma de decisión, respecto a la selección de materiales, particularmente la comparativa del Nylamid y ABS entre otros y procesos de fabricación respecto a su uso, la impresión sustituyendo a piezas plásticas maquinadas .

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

Como parte de un proceso sistemático que guíe el proceso de estudio y la obtención de conocimiento, es que se estableció un método alineado con el proceso de diseño mecánico clásico mostrado en la figura 1.

Figura 1
Diagrama de proceso metodológico alineado al diseño mecánico.



2.1 Obtención de datos

A raíz de una vinculación establecida por parte del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo (ITSL) con el sector industrial, es que se hizo saber acerca del uso de piezas mecánicas plásticas (Nylamid) como piezas de desgaste en procesos industriales, un ejemplo de ellas se muestra en la figura 2, presentándose problemáticas con el proceso de fabricación (maquinado), principalmente referentes a tiempos de fabricación y entrega de productos. Generando de ahí la idea de experimentación para un intercambio del proceso de fabricación y materiales.

Figura 2
Pieza de análisis "Rulli para rodillo"

Las restricciones propuestas son que los materiales a emplear no reduzcan su resistencia, reduzcan costo de fabricación entre otras, ya que actualmente las piezas cumplen las con la función deseada. Los parámetros o condiciones de operación se muestran en la tabla1.

Tabla 1
Condiciones de operación de la pieza de uso industrial de referencia

	Envasadora RP-16
Pieza	Rulli para rodillo
Material	Nylamid 901
Temp. de trabajo	90°C
Aplicación	Separador de piezas de contacto
Costo unitario	$200.00 MXN
Tiempo de fabricación	--
Entorno	Exposición a sosa, ácido y agua caliente
Fuerzas	Fricción, fuerza de choque

La propuesta es mantener la eficiencia operativa del material y en la medida de lo posible reducir costos y tiempos de fabricación y/o entrega del producto.
Con base a experimentación con rigurosas pruebas de un proceso alternativo y variación en los materiales de fabricación, darán un panorama más amplio para la toma de decisión respecto al cambio de proceso y materiales a implementarse como alternativa al proceso actual. Se muestran algunas propiedades mecánicas de materiales de análisis propuestos y otros de referencia en la tabla 2.

Tabla 2
Propiedades mecánicas de algunos materiales plásticos

	PLA	***ABS***	***PETG***	***Nylamid***
Temp. Fusión (°C)	210	230	240	215
Temp. Operación (°C)	52	88	74	93
Densidad (g/cm^3)	1.24	1.07	1.27	1.14
Resistencia a la tensión (MPa)	55	43	49	70
Coeficiente elasticidad(GPa)	3.4	2	1.2	2.75
Resistencia expansión($\mu m/m - K$)	68	88	60	100

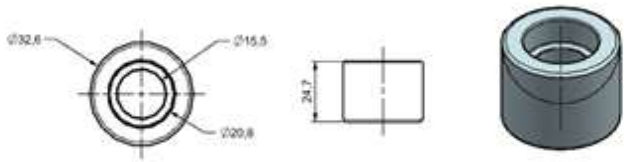
* Algarni, M., & Ghazali, S. (2021), Strauß, M. (2023), Aceros Levinson. (2018).

2.2 CAD

En la etapa de Diseño Asistido por Computadora (CAD). El diseñador representa gráficamente piezas o productos en forma digital, utilizando software especializado de modelado 3D, a través de entidades como líneas, arcos, círculos, polígonos, entre otros. El dibujo puede representarse en 2 o 3 dimensiones, en este último caso se puede realizar en forma de superficies o sólidos, con la ventaja que el usuario puede conservar el diseño en formato digital y editarlo para mejorarlo o para utilizar alguno de sus componentes en el diseño de una nueva pieza (Carrasco Garcia, J. C., 2006).

En el proyecto desarrollado se usó software especializado de diseño paramétrico (NX12 de SIEMES), como apoyo para el desarrollo del proyecto, particularmente para su análisis de ingeniería y por la facilidad de cambio de formato para su posterior fabricación por impresión 3D, mostrando en la figura 3 una de las representaciones gráficas obtenidas por software de las piezas con las que se experimentará.

Figura 3
Modelado 3D y obtención de plano constructivo por software. Plano obtenido del software NX de SIEMENS versión 12.



2.3 CAE

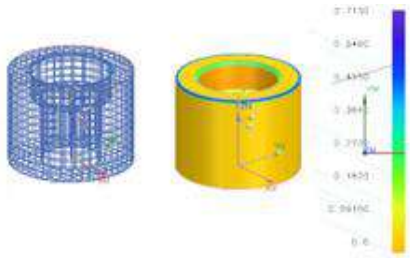
La Ingeniería Asistida por Computadora (CAE), simula determinadas condiciones a través de variables de control, para determinar su efecto, sobre el elemento diseñado, con la finalidad de llegar a una forma geométrica óptima para determinadas condiciones específicas. Utilizado como modelado de pruebas no destructivas. La base del CAE hace referencia a un segundo término, Análisis por Elementos Finitos (FEA), que permite analizar distintas opciones de diseño o materiales de forma rápida.

El concepto del análisis por elementos finitos, radica en sustituir la estructura continua real por una estructura idealizada equivalente, compuesta por un número finito de partes discretas, por medio de un mallado (bidimensionales; cuadriláteros y triángulos; tridimensionales: hexaedros y tetraedros), al cual se aplican cargas en los nodos de los elementos límite del modelo, después del cual empleando teoremas de energía (relación entre fuerzas actuantes en los nodos y sus desplazamientos ley de Hooke, módulo de Young, módulo de Poison, etc.), se llega a derivar una matriz de rigidez. De esta forma se consigue pasar de un sistema continuo (infinitos grados de libertad), que es regido por un sistema de ecuaciones diferenciales, a un sistema con un número de grados de libertad finito (Rojas Lazo, O., & Rojas Rojas, L. 2006).

Los datos postprocesados permiten una visualización gráfica en una escala de colores, animaciones, esquemas, etc., como se muestra en la figura 4, para mostrar los esfuerzos y las deformaciones resultantes. Permitiendo evaluar rápidamente zonas críticas del diseño y analizar si la pieza soportará la tensión de operación sin deformarse más de lo permitido por el diseño.

Para las pruebas simuladas, se hizo uso del mismo software NX, en el cual se establecieron condiciones de operación. Siendo útil para analizar el comportamiento de las piezas previo a su fabricación, y tener una referencia adicional de evaluación del rendimiento de las piezas.

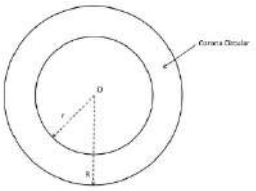
Figura 4
Pieza analizada por software usando FEA. Simulación realizada en el software NX de SIEMENS versión 12.



2.4 Cálculo

Otra forma de tener referencias o estimaciones de las reacciones de las piezas es a través de un cálculo simplificado, para el caso particular de esfuerzos a compresión aplicado sobre un anillo circular, correspondiendo con su sección transversal de aplicación como se muestra en la figura 5.

Figura 5
Sección transversal donde se aplica la carga a compresión



El primer paso requerido es realizar la conversión de la masa de prueba propuesta a Peso, ara que las unidades correspondan al Sistema Internacional (N)

$$F = ma = mg \quad (1)$$

El segundo paso requiere obtener el esfuerzo de operación, o la que se someterá la pieza dada.

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{F}{\pi(R^2 - r^2)} \quad (2)$$

Como tercer paso se obtiene el factor de seguridad, comparando el esfuerzo de operación, en relación a la resistencia del material.

$$F.S = \frac{S_t}{\sigma} \quad (3)$$

De forma teórica las deformaciones se pueden estimar teniendo la información del esfuerzo de operación y el módulo de elasticidad, a través de la ley de Hooke.

$$\sigma = E\,\varepsilon \tag{4}$$

Derivando en el despeje de la deformación unitaria, la cual se asemeja a la obtención práctica de la deformación, lo que es más conveniente hacerlo a través de las mediciones directas antes y después de la aplicación de la carga

$$\varepsilon = \frac{L_{f-}L_o}{L_o} = \frac{\delta}{L_o} \tag{5}$$

La dilatación térmica de los materiales se calcula en función de la variación de la temperatura y el coeficiente de expansión térmica.

$$\delta_t = \alpha \Delta T L \tag{6}$$

Combinando las deformaciones producidas por el esfuerzo a compresión y la dilatación térmica, es la deformación total

$$\delta_T = \delta + \delta_t \tag{7}$$

Igualando la deformación total con las variaciones iniciales se obtiene:

$$\frac{\sigma}{E} + \alpha \Delta T L = \frac{\sigma_i}{E} + \alpha \Delta T_i L \tag{8}$$

2.5 Fabricación

1) Maquinado CNC

Un centro de maquinado es una máquina altamente automatizada capaz de realizar múltiples operaciones de remoción de material en una instalación con control numérico computarizado (CNC) donde la intervención del operador es mínima.

Las operaciones más comunes de maquinado son aquellas que usan herramientas de corte rotatorio, o bien un herramental de maquinaria que permita el giro del material ante a un cortador fijo.

Las propiedades del material de trabajo son de lo más importante para el éxito de la operación de remoción de material. Estas propiedades del trabajo de corte se resumen a menudo en el término “maquinabilidad”.

Para evaluar la maquinabilidad se usan varios criterios, donde los más importantes son: la vida de la herramienta, las fuerzas y potencia, el acabado superficial y la facilidad de eliminación de la viruta. El buen desempeño del maquinado no depende sólo del material, también al tipo de operación de maquinado, a las herramientas y a las condiciones de corte.

El Nylamid es una muy buena opción como material para el trabajo deseado, particularmente el denominado 901 color azul, que incrementa la estabilidad térmica, soportando temperaturas de hasta 127°C sin perder su buena maquinabilidad. Y respecto al proceso de fabricación es rápido, habiendo obtenido los tiempos de maquinado a través de simulación por software como se muestra en la figura 6.

Figura 6

Simulación de maquinado de piezas de desgaste por CNC. Simulación de maquinado realizada en el software NX de SIEMENS versión 12

2) Manufactura aditiva; Impresión 3D por deposición de material fundido (FDM)

Durante el proceso de impresión 3D se aportan y adhieren de forma controlada diferentes tipos de materiales para crear objetos a partir de los datos de un modelo en tres dimensiones, normalmente capa sobre capa (ASTM International 203AD). Se muestra en la figura 7 el tipo de impresora empleada para la experimentación, así como el software respectivo de la marca (ultimaker cura). La impresión facilita la creación de objetos con geometrías intrincadas, cambios y personalizaciones llegando a poder fabricar en un solo paso diseños complejos, se produce menor desperdicio de material (al prescindir de moldes y de algunos postprocesos sobre piezas) por lo que la innovación en producto se acelera y simplifica ofreciendo no solo ventajas en costes, sino también en barreras a la entrada, en las cadenas de suministro y en la participación del cliente en el diseño (Weller, Kleer, y Piller 2015). Siendo la simplicidad de la logística de la fabricación aditiva, representada en la figura 8 comparando contra un proceso tradicional.

Figura 7

Proceso de fabricación aditiva

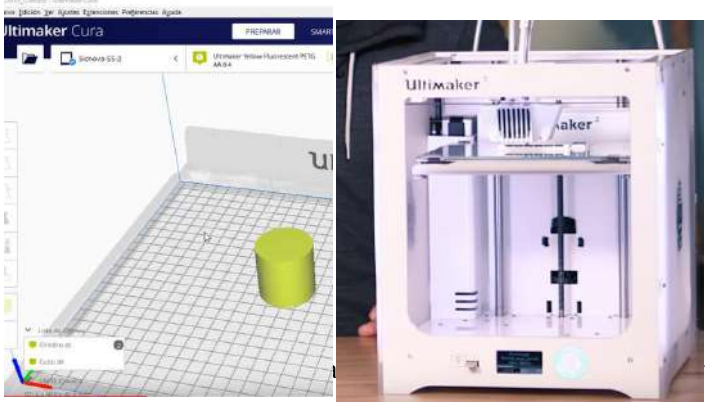
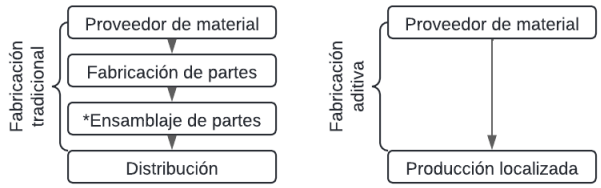


Figura 8
Comparativa de cadena logística en fabricación y entrega de producto



Respecto a los tiempos de maquinado e impresión 3d, fueron estimados a través de software, NX en su aplicación de fabricación y cura de ultimaker, de donde se obtuvieron los tiempos de fabricación estimados, representando en la figura 9 y figura 10 la forma que el software proporciona la información de dichos tiempos, y en la tabla 3, la recopilación de información comparando los tiempos de impresión respecto a los tiempos de maquinado.

Figura 9
Tiempo de maquinado estimado a través de software. Imagen y obtención de datos obtenidas de la simulación de maquinado realizada en el software NX de SIEMENS versión 12.

Figura 10
Tiempo de impresiones estimado a través de software. Imagen y datos obtenidos del software Cura Versión 5.5.0 de Ultimaker.

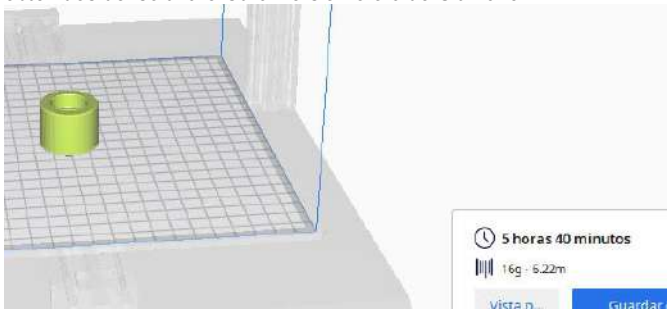


Tabla 3
Tiempos de fabricación – entrega de producto

Maquinado CNC	***21min 14seg***		
Impresión 3D	PLA	ABS	PETG
Tiempo total (hr)100%	5hrs 40min	5hrs 40 min	5 hrs 40min
75%	3hrs 15min	3hrs 15min	3hrs 15min
50%	2hrs 34min	2hrs 34min	2hrs 34min
25%	1hrs 55min	1hrs 55min	1hrs 55min

PLA: El ácido láctico, de origen vegetal, es utilizado ampliamente en la industria alimenticia, química, farmacéutica, del plástico, textil, agricultura, alimentación animal, entre otros. Es un biopolímero termoplástico cuya molécula precursora es el ácido láctico. Debido a su biodegradabilidad, propiedades de barrera y biocompatibilidad, este biopolímero ha encontrado numerosas aplicaciones industriales. (Serna C. L, Rodríguez de S. A, Albán A. F 2024)

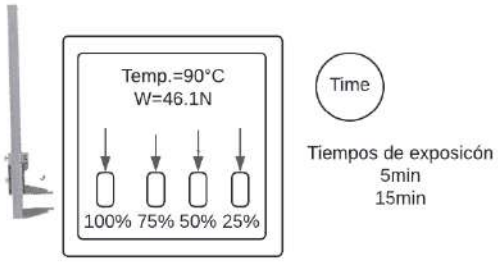
ABS: El Acrilonitrilo Butadieno Estireno) derivado del petróleo, es una mezcla de un copolímero vítreo (estireno - acrilonitrilo) y un compuesto elástico, principalmente el polímero de butadieno. La estructura con la fase elastómera del polibutadieno (forma de burbujas) inmersa en una dura y rígida matriz SAN, se destaca por combinar dos propiedades muy importantes como: la resistencia a la tracción y la resistencia al impacto en un mismo material, además de es un material liviano. (Vinicio, M. o. J. 2016).

PETG: Es producto de la glicolización del PET. Este proceso consiste en agregar ciclohexano di metanol y reemplazar al etilenglicol, consiguiendo una cadena de átomos más larga. Con esto se consigue retardar la cristalización cuando las piezas fabricadas en PETG son sometidas a esfuerzo. Además, PET adicionado con glicol aumenta la flexibilidad del polímero y reduce su capacidad higroscópica con respecto al PET (AMFG, 2019). Por su facilidad de extrusión y estabilidad térmica, el PETG y otros derivados del PET son cada vez más usados en manufactura aditiva.

2.6 Pruebas físicas

Se propuso un experimento, donde interactúen tres variables donde, su interacción se mide respecto al tiempo de exposición y la deformación final presentada, las cuales proporcionaran una metodología de estudio de las interrelaciones entre los factores múltiples de interés, para el caso particular de análisis las variables son: Cargas mecánicas a compresión, cargas térmicas y porcentaje de material impreso, se muestra una representación sencilla del experimento en la figura 11.

Figura 11
Diagrama representativo del experimento



Realizadas las primeras pruebas, se optó por modificar el experimento por el riesgo a quemaduras y daño al equipo de medición en la toma de las mediciones. Realizando entonces la exposición a cargas por compresión pasada la exposición térmica y fuera de la mufla (Felisa FE-361 manual), se muestra en la figura 12 la mufla, así como la placa metálica aplicando carga por compresión a la pieza de experimentación.

Figura 12
Pruebas físicas de cargas térmicas y esfuerzos por compresión

Las mediciones térmicas fueron realizadas por una cámara termográfica Fluke Ti32 que combina imágenes digitales e infrarrojas, cuyos rangos de medición temperatura oscilan de entre -20 ° y 600 °C
Las mediciones de deformación fueron realizadas con un vernier digital una vez que la pieza regreso a temperatura ambiente, mostrando la forma de medición en la figura 13.

Figura 13
Mediciones de temperaturas y deformaciones sobre piezas de análisis. Imagen y obtención de datos de la cámara termográfica Fluke Ti32 y extraídas del software Fluke SmartView 3.2.1

Se registraron los datos de la experimentación en la tabla 4.

Tabla 4
Resultados de mediciones de alturas de las piezas tras las pruebas (mm) y temperaturas (°C)

.	PLA 5MIN	PLA 15MIN	ABS 5MIN	ABS 15MIN	NYLA MID 5MIN	NYLA MID 15MIN
100%	23.9	23.7	24.7	24.7	24.6	24.6
Pieza azul	50	60.3	53.1	61.5	61.8	71.6
Pieza	25.2	24.9	25.3	25.3	25.2	25.2
negra	53.2	61.1	57.6	61.7	64.3	73.8
75%	23.9	23.6	24.7	24.7		
Pieza azul	51.3	61.6	58.2	66.2		
Pieza	24.8	24.7	25.3	25.3		
negra	54.1	64.6	59.6	66.2		
50%	23.5	22	24.7	24.6		
Pieza azul	51.6	63.3	52.9	64.4		
Pieza	24.4	24.1	25.3	25.2		
negra	54.3	65.5	53.9	62.4		
25%	23.5	21.6	24.7	24.6		
Pieza azul	54.3	63.8	62.5	71.8		
	24.4	23.9	25.3	25.2		
	56.3	66.2	52.8	66.8		
Pieza negra						

2.7 Otras consideraciones

Consideraciones de experimentos realizados por terceros, con pruebas que constan de sumergir parcialmente piezas impresas en 3D en un pequeño volumen de disolvente orgánico. El agente corrosivo Nitro-P, es utilizado para diluir pinturas y es muy agresivo. Seleccionado para maximizar el daño, las partes impresas en 3D, se sumergieron en el disolvente durante un período de 24 horas, y su cambio de forma y propiedades fue monitorizado seguida de una evaluación visual y física mostrado en la figura 14. (Ara, E. 2022).

Figura 14
Consideraciones adicionales de resistencia química, experimento externo.

Los resultados obtenidos de los experimentos realizados por terceros respecto a la resistencia química se muestran en la tabla 5.

Tabla 5
Consideraciones adicionales de resistencia química, experimento externo.

Material	Degradación	Velocidad De Gracional	Variación Mecánica	% De Deformación
PLA	*5*	*4*	*3*	*60%*
PET-G	*2*	*2*	*4*	*10%*
ABS	*5*	*3*	*5*	*15%*
TPU	*3*	*5*	*1*	*150%*
PA	*2*	*2*	*4*	*10%*
PP	*0*	*0*	*0*	*0%*
PACHT CF15	*1*	*1*	*2*	*12%*
PP GF30	*0*	*0*	*0*	*0%*

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Esfuerzo de operación

Al utilizar la fórmula 2 podremos obtener el esfuerzo de operación de los siguientes materiales.

$$\sigma = \frac{4.7(9.81)}{\pi(0.0325^2 - 0.208^2)} = 0.023MPa$$

3.2 Factor de seguridad

Utilizando la fórmula 3 se logró obtener el factor de seguridad de diferentes materiales, siendo los resultados adimensionales.

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

PLA

$$F.S = \frac{55}{0.023} = 2391$$

ABS

$$F.S = \frac{43}{0.023} = 1869$$

PETG

$$F.S = \frac{49}{0.023} = 2130$$

NYLAMID

$$F.S = \frac{70}{0.023} = 3043$$

3.3 Deformación unitaria

Utilizando la fórmula 4 se puede despejar para obtener la deformación unitaria por cada material en función de su módulo de elasticidad, siendo de igual forma los resultados adimensionales.

PLA

$$\varepsilon = \frac{23{,}000}{3.4E9} = 6.76x10^{-6}$$

ABS

$$\varepsilon = \frac{23{,}000}{2E9} = 11.5x10^{-6}$$

PETG

$$\varepsilon = \frac{23{,}000}{1.2E9} = 15.33x10^{-6}$$

NYLAMID

$$\varepsilon = \frac{23{,}000}{2.75E9} = 8.36x10^{-6}$$

3.4 Deformación final

Aplicando la fórmula 7 de deformación, se obtiene el valor de la deformación lineal, necesario para posteriormente obtener la longitud final línea a través de la fórmula 5.

PLA

$$\delta = L_o\varepsilon + \alpha\Delta TL = (25.3mm)6.76x10^{-6} + (0.068x307.5x0.0253) = 0.00017 + 0.592 = 0.5291mm$$

$$L_f = L_o - \delta = (25.3) - 0.5291 = 24.77\text{mm}$$

ABS

$$\delta = L_o\varepsilon + \alpha\Delta TL = (25.3mm)11.5x10^{-6} + (0.088x307.5x0.0253) = 0.00029 + 0.6846 = 0.6849mm$$

$$L_f = L_o - \delta = (25.3) - 0.6849 = 24.61\text{mm}$$

PETG

$$\delta = L_o\varepsilon + \alpha\Delta TL = (25.3mm)15.33x10^{-6} + 0.060x307.5x0.0253 = 0.00029 + 0.4667 = 0.467mm$$

$$L_f = L_o - \delta = (25.3) - 0.467 = 24.833\text{mm}$$

NYLAMID

$$\delta = L_o\varepsilon + \alpha\Delta TL = (25.3mm)8.36x10^{-6} + 0.1x307.5x0.0253 = 0.00021 + 0.778 = 0.7782mm$$

$$L_f = L_o - \delta = (25.3) - 0.7782 = 24.52\text{mm}$$

En la tabla 6 se muestra el resumen de los datos obtenidos por calculo o por experimentación de las deformaciones.

Tabla 6
Resumen de resultados experimentales y calculados de deformación y otras variables

	PLA	***ABS***	***PETG***	***Nylamid***
Esfuerzo de operación ($\boldsymbol{\sigma}$) MPA	0.023	0.023	0.023	0.023
Factor de seguridad (adimensional)	2391	1869	2130	3043
Deformación unitaria (adimensional)	6.76E-6	11.5E-6	15.33E-6	8.36E-6
Longitud lineal final calculada (mm)	24.77	24.61	24.93	24.52
Longitud lineal final por experimentación (mm)	23.7	24.7	-	24.6
Variación entre cálculo de deformación final y medición (mm)	-1.07	0.09	-	0.08

IV. CONCLUSIONES

Respecto a los esfuerzos y deformaciones el PLA y el ABS se comportaron de forma similar en cuanto a la ganancia de temperatura. Se estima que una exposición directa a 90°C con 100% de relleno podría requerir hasta una hora para alcanzar dicha temperatura, mientras que con 25% de relleno se lograría en aproximadamente la mitad del tiempo.
Existieron diferencias entre los cálculos y las mediciones realizadas tras las pruebas, esto debido a que el cálculo solo contempla valores medios de esfuerzos, diferencias temperaturas, entre otros y no considera el nivel de relleno del material
En las pruebas, el PLA resultó con una baja resistencia a la compresión, ya que, tras 15 minutos de operación, presentó deformaciones significativas, incluso con altos porcentajes de material. El ABS demostró ser una mejor opción para resistir dichos esfuerzos.

En apoyo con el software de diseño NX se determinó que los tiempos de maquinado varían de 1 minuto 18 segundos a 21 minutos 15 segundos, dependiendo de la pieza y de la estrategia de corte. En comparación, la impresión 3D de las mismas piezas puede tomar de 1 hora 20min hasta 5 horas y 40 minutos, demostrando que el maquinado CNC es más eficiente y rápido, aunque más costoso.
Es importante considerar que el tiempo de fabricación en CNC incluye solo la operación de remoción de material, sin contar el tiempo adicional para preparar la máquina, limpiar, sujetar y extraer la pieza, así como quitar virutas. Tampoco se consideran traslados de materias primas ni re-trabajos, etc.

Este tipo de análisis sin duda pueden contribuir a la toma decisión respecto a la selección de materiales para un posible uso industrial, como se mostró en los datos de consideraciones adicionales, existen variables de control que han de robustecer la experimentación con pruebas en el mismo material, para asegurar que el comportamiento en la pieza deseada. Es entonces necesario enfocar los análisis según su aplicación.

Se recomienda ampliar la investigación con tiempos más prolongados de exposición para corroborar tendencias, probar más materiales incluyendo resinas y ya sea bajo el proceso de impresión, o por moldeo u otros, además de considerar de forma más amplia la industria de aplicación, ya que difiere en gran medida si se aplicase en la industria de medica o de alimentos respecto a su aplicación en la minería o construcción.

V. AGRADECIMIENTOS

En primera instancia agradecemos al M.D.G.P.T Jesús Alejandro Valdés Nieblas, subdirector de Posgrado e Investigación del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, por su apoyo para la realización de este proyecto, así como al Ing. Everardo Rafael como guía en relación a la propuesta de datos de análisis según su experiencia en la industria respecto al uso de piezas plásticas de desgaste, siendo así la base de desarrollo de la idea para su futura implementación en pruebas de campo en el sector industrial.

Extendemos el agradecimiento a los estudiantes Janeth Alejandra Díaz Vallejo y Guillermo Avalos Cruz que a lo largo del desarrollo del proyecto colaboraron con su dedicación y esfuerzo para la culminación exitosa de las pruebas y proyecto en general.

Agradeciendo también al Tecnológico Nacional de México campus Lerdo como casa de adscripción donde se desarrollaron las pruebas de laboratorio para proporcionar resultados de análisis y cuyos mismos fueron la base del trabajo vinculado.

VI. REFERENCIAS

Aceros Levinson. (2018). PL Aceros Levinson. Aceros Plásticos Metales. https://www.aceroslevinson.com/plasticos/nylamid/propiedadesprincipales/

Algarni, M., & Ghazali, S. (2021). Comparative Study of the Sensitivity of PLA, ABS, PEEK, and PETG's Mechanical Properties to FDM *Printing Process Parameters. Crystals,* 11(8),995. https://doi.org/10.3390/cryst11080995

AMFG, FDM 3D Printing: Comparing ASA, PETG, and PC Filaments AMFG,https://amfg.ai/2019/02/12/fdm-3d-printing-asa-petg-pc filaments-compared/ (2019).

Ara, E. (2022, 3 enero). Probando la resistencia química de materiales de impresión 3D. BCN3D Technologies. https://www.bcn3d.com/es/test-- definitivo-corrosion-materiales-impresion-3d/

ASTM International. 203AD. «F2792 - Standard Terminology for Additive Manufacturing Technolgies.»

Carrasco Garcia, J. C., (2006). Tecnología avanzada del diseño y manufactura asistidos por computador - CAD/CAM. Prospectiva, 4(1), 75-81.

Groover, M. P. (1997b). *Fundamentos de manufctura mode.* Pearson Educación.

Lopez, R. (2018). *Impresión 3D y sus aplicaciones en medicina* [Presentación en Congreso, Universidad Nacional de Cuyo]. http://tesisfcp.bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/13174/17-ciencia-tecnologia-e-innovacion-lopez-roberto-unt.pdf

Rojas Lazo, O., & Rojas Rojas, L. (2006). *Diseño asistido por computador*. Industrial Data, 9(1), 7-15.

Roselló Cruz, D. (2022). Estudio de las aplicaciones de la impresión 3D en el ámbito de la construcción (Treball Final de Grau). UPC, Escola Superior d'Enginyeries Industrial, Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa, Departament de Resistència de Materials i Estructures a. Retrieved from http://hdl.handle.net/2117/364632

Serna C. L, Rodríguez de S. A, Albán A. F. (2011) *Ácido Poliláctico (PLA): Propiedades y Aplicaciones.* https://revistaingenieria.univalle.edu.co /index.php/ingenieria_y_competitividad/article/view/2301

Strauß, M. (2023). *Das beste Filament für 3D-Drucker: 14 Sorten PETG im Test*. TechStage. https://www.techstage.de/ratgeber/das-beste filament-fuer-3d-drucker-14-sorten-petg-im-test/zqm9205

Vinicio, M. o. J. (2016). Caracterización de materiales termoplásticos de ABS y PLA semi - rígido impresos en 3D con cinco mallados internos diferentes. http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/13064

Weller, Christian, Robin Kleer, and Frank T. Piller. (2015). Economic Implications of 3D Printing: Market Structure Models in Light of Additive Manufacturing Revisited. *International Journal of Production Economics* 164. Elsevier: 43–56. doi:10.1016/j.ijpe.2015.02.020.

VII. AUTORES

Arturo Serrano Hernández

https://orcid.org/0009-0001-1302-5747

Eduardo Machado Díaz

https://orcid.org/0000-0003-2610-7570

Efraín Vaquera González

https://orcid.org/0009-0002-9123-6977

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

Herramienta Computacional Desarrollada en Python para el Análisis de Flujos en un Sistema Eléctrico de Potencia

Muñoz-Castillo R. A.[1] ✉; Ruiz-Ponce G. E.[1]; Hernández-Flores C.[1]; Arjona-López M. A.[1]

Datos de Adscripción:
[1] Tecnológico Nacional de México /Instituto Tecnológico de La Laguna. División de Estudios de Posgrado e Investigación, Av. Instituto Tecnológico de La Laguna, 27000, Primero de Cobián Centro, Torreón, Coahuila, México.

✉rubenm.castillo@ieee.org

Resumen **- El análisis del comportamiento en estado estacionario de los Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP) es de importancia para el estudio de una red eléctrica. Los SEPs al ser representados por impedancias, resulta complejo analizarlos individualmente, debido a la interconexión entre los elementos del SEP, por lo que, el cálculo convencional de los parámetros representativos de los flujos de potencia puede complicarse. Este artículo presenta el diseño de un software de código abierto en Python que permite la solución de las ecuaciones que definen los flujos de potencia del SEP en estado estacionario. La herramienta tiene las siguientes características: (I) realiza una importación de los datos en un caso de estudio; la información es extraída de la base de datos estructurada con el formato estándar de los casos de prueba del IEEE, (II) calcula las magnitudes de los elementos resistivos para la construcción de la matriz de admitancias según la topología del sistema y el total de barras, (III) emplea el método de Newton-Raphson para determinar las variables desconocidas del sistema, da solución a las ecuaciones de flujos de potencia de acuerdo a la clasificación del bus y optimiza la solución del sistema de ecuaciones del sistema empleando técnicas de dispersidad matricial, (IV) calcula los voltajes nodales, ángulos, la transferencia de potencia y las pérdidas de cada bus del SEP, y (V) almacena los resultados en una base de datos para su posprocesamiento. Así mismo, también se presenta la solución de diferentes escenarios de SEPs con cargas balanceadas.**

Palabras Clave **- Flujos de Potencia, Método de Newton-Raphson, Python, Red Eléctrica, Sistema Eléctrico de Potencia (SEP), Transmisión de Energía Eléctrica.**

Abstract **- Analyzing the steady-state behavior of Electrical Power Systems (EPS) is important for studying an electrical network. Since the EPS is represented by impedances, it is complex to analyze them individually due to the interconnection between the elements of the EPS. Therefore, the conventional calculation of the parameters representative of the power flows can be complicated. This article presents the design of open-source software in Python that allows the solution of the equations that define the power flows of the EPS in a steady state. The tool has the following characteristics: (I) imports the data into a case study; the information is extracted from the database structured with the standard format of IEEE test cases, (II) calculates the magnitudes of the resistive elements for the construction of the network admittance array following the topology of the system and the total bus bar, (III) uses the Newton-Raphson method to determine the unknown variables of the system, provides a solution to the power flow equations according to the bus classification and optimizes the solution of the system of system equations using matrix sparse techniques, (IV) calculates the nodal voltages, angles, power transfer and losses of each bus of the SEP, and (V) stores the results in a database for post-processing. Likewise, the solution to different SEP scenarios with balanced loads is also presented.**

Keywords **- Electrical Energy Transmission, Electrical Grid, Electrical Power System (EPS), Newton-Raphson Method, Power Flows, Python.**

I. INTRODUCCIÓN

El análisis de flujos de potencia determina las condiciones operativas de equilibrio de los Sistemas Eléctricos de Potencia (SEPs) (Saadat, 1999). Este análisis se basa en encontrar los parámetros característicos del sistema en estado estable para monitorear los límites operativos y generar planes de contingencia ante posibles fallas o sobrecargas en el sistema (Glover, Overbye, Jeffrey-Sarma, & Mulukutla, 2017).

El comportamiento topológico del sistema presenta una complejidad y alta dimensionalidad no lineal, debido a esto, la solución característica del sistema está basada en cálculos numéricos iterativos.

La solución en estado estacionario de la red determina los ángulos y voltajes representativos de cada bus. Estas variables se emplean para calcular la corriente y los flujos de potencia activa y reactiva entre los buses que permiten la transferencia de potencias.

Debido a que la red eléctrica se modela empleando elementos como transformadores, líneas de transmisión, generadores y cargas; la computación forma una parte esencial para eficientizar los procesos de la solución iterativa de las ecuaciones de potencia características del sistema (Idema & Lahaye, 2014).

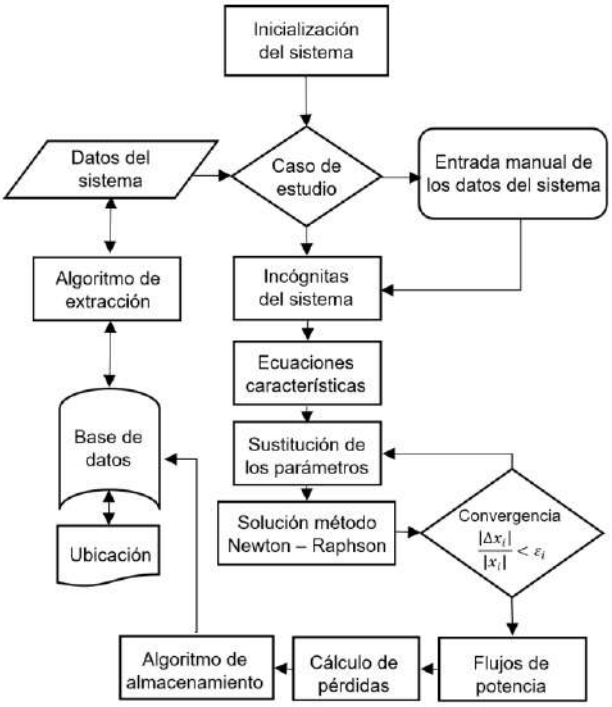
La computación de código abierto, permite multidisciplinar y adaptar el manejo de las funciones operacionales diseñadas para el cálculo de los flujos de potencia, lo que proporciona una funcionalidad más allá de las funciones preestablecidas en los softwares comerciales. La herramienta Python resulta útil debido a que proporciona librerías desarrolladas para optimizar la ejecución de la programación de los modelos matemáticos de los casos de estudio.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

En esta sección se describe el análisis de los flujos de potencia del SEP del caso de prueba mediante: (I) la importación de datos del caso de estudio, (II) la construcción de la matriz de admitancias, (III) el desarrollo del método numérico de Newton-Raphson. Al resolver el sistema, los valores de los voltajes y ángulos son utilizados para: (IV) el cálculo de los flujos de potencia y las pérdidas del sistema. Al obtener las condiciones del sistema en estado estable, (V) los parámetros característicos

del sistema se almacenan en la base de datos. En la figura 1, se aprecia el diagrama de flujo que representa los procesos.

Figura 1
Diagrama de flujo representativo de los procesos de la herramienta computacional para el análisis de flujos de potencia.



Debido a la diversidad de los SEPs, en el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) se estandarizaron los casos de prueba del IEEE. Los casos de prueba están diseñados para estudiar ciertas condiciones ante diferentes escenarios de los SEPs. En este artículo se analiza el comportamiento del caso de prueba de 30 buses, el cual se muestra en la figura 2 (n.d., 2018).

2.1 Importación de datos del caso de estudio

La base datos está sistematizada con la estructura estándar de los casos de prueba del IEEE. Para utilizar la base de datos que contiene la información representativa del sistema se debe ejecutar el comando respectivo para inicializar el sistema. Si la base de datos está vacía, se utilizan las funciones para establecer los datos representativos.

En la tabla 1 se muestran los datos de entrada de las interconexiones del sistema y en la tabla 2 se muestran los datos de entrada de los buses del sistema. A continuación, se anexa el ejemplo 1 utilizando el primer bus e interconexión para configurar la base datos del sistema del caso de estudio cuando esta está vacía:

```
1. from pf.system import setSystem
2. setSystem(filename='30 BUSES.txt', MVAbase=100)
3. setSystem.initialize()
4. setSystem.add.bus(name='GlenLyn', Vbase=132, code=3, Vpu=1.06)
5. setSystem.add.line([1, 2], R=0.0192, X=0.0575, 12B=0.0528)
6. setSystem.finalize()
```

Una vez establecidos todos los datos de entrada del respectivo sistema, las siguientes funciones se encuentran automatizadas para ser llamadas de cualquier forma.

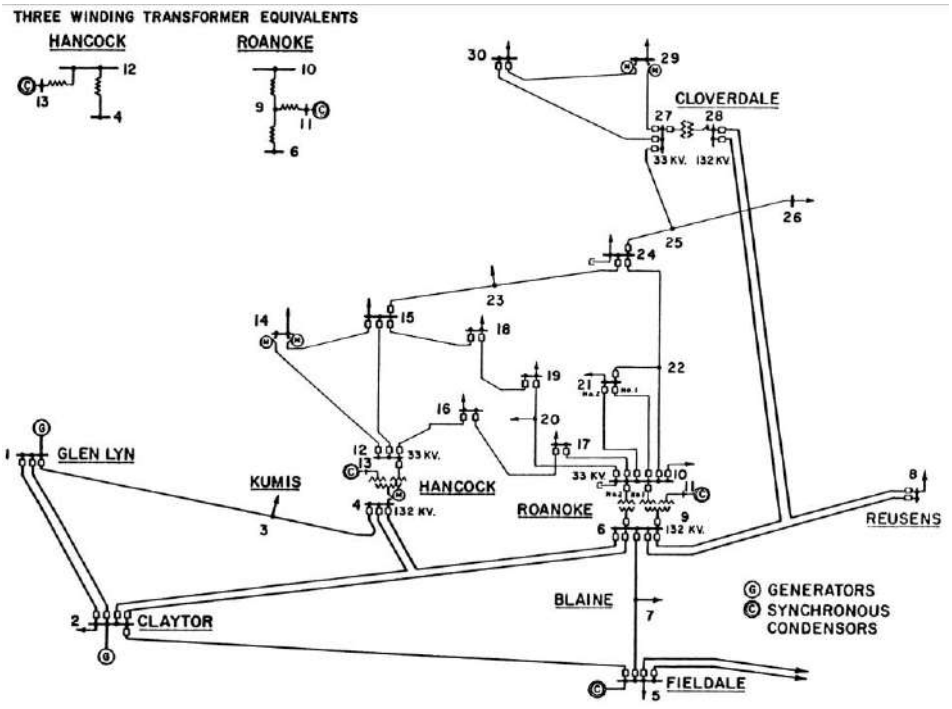
Tabla 1
Datos de entrada de las líneas de transmisión y de los transformadores del sistema de 30 buses

a	Bus	Resistencia	Reactancia	Susceptancia	Ajuste del tap
i	j	p.u.	p.u.	p.u.	u.
1	2	0.0192	0.0575	0.0528	1
1	2	0.0192	0.0575	0.0528	1
1	3	0.0452	0.1652	0.0408	1
2	4	0.057	0.1737	0.0368	1
2	5	0.0472	0.1983	0.0418	1
2	6	0.0581	0.1763	0.0374	1
3	4	0.0132	0.0379	0.0084	1
4	6	0.0119	0.0414	0.009	1
4	12	0	0.256	0	0.932
5	7	0.046	0.116	0.0204	1
6	7	0.0267	0.082	0.017	1
6	8	0.012	0.042	0.009	1
6	9	0	0.208	0	0.978
6	10	0	0.556	0	0.969
6	28	0.0169	0.0599	0.013	1
8	28	0.0636	0.2	0.0428	1
9	10	0	0.11	0	1
9	11	0	0.208	0	1
10	17	0.0324	0.0845	0	1
10	20	0.0936	0.209	0	1
10	21	0.0348	0.0749	0	1
10	22	0.0727	0.1499	0	1
12	13	0	0.14	0	1
12	14	0.1231	0.2559	0	1
12	15	0.0662	0.1304	0	1
12	16	0.0945	0.1987	0	1
14	15	0.221	0.1997	0	1
15	18	0.1073	0.2185	0	1
15	23	0.1	0.202	0	1
16	17	0.0524	0.1923	0	1
18	19	0.0639	0.1292	0	1
19	20	0.034	0.068	0	1
21	22	0.0116	0.0236	0	1
22	24	0.115	0.179	0	1
23	24	0.132	0.27	0	1
24	25	0.1885	0.3292	0	1
25	26	0.2544	0.38	0	1
25	27	0.1093	0.2087	0	1
27	29	0.2198	0.4153	0	1
27	30	0.3202	0.6027	0	1
28	27	0	0.396	0	0.968
29	30	0.2399	0.4533	0	1

Tabla 2
Datos de entrada de los buses.

Bus	Bus	Voltaje	Bus	Voltaje	Ángulo	Potencia activa conectada	Potencia reactiva conectada	Potencia activa generada	Potencia reactiva generada mínima	Potencia reactiva generada máxima	Potencia reactiva inyectada
No	Nombre	kV	Clasificación	p.u.	rad	MW	MVAR	MW		MVAR	
1	GlenLyn	132	3	1.06	0	0	0	0	0	0	0
2	Claytor	132	2	1.043	0	21.7	12.7	40	50	-40	0
3	Kumis	132	0	1	0	2.4	1.2	0	0	0	0
4	Hancock	132	0	1.06	0	7.6	1.6	0	0	0	0
5	Fieldale	132	2	1.01	0	94.2	19	0	40	-40	0
6	Roanoke	132	0	1	0	0	0	0	0	0	0
7	Blaine	132	0	1	0	22.8	10.9	0	0	0	0
8	Reusens	132	2	1.01	0	30	30	0	40	-10	0
9	Roanoke	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
10	Roanoke	33	0	1	0	5.8	2	0	0	0	0.19
11	Roanoke	11	2	1.082	0	0	0	0	24	-6	0
12	Hancock	33	0	1	0	11.2	7.5	0	0	0	0
13	Hancock	11	2	1.071	0	0	0	0	24	-6	0
14	Bus14	33	0	1	0	6.2	1.6	0	0	0	0
15	Bus15	33	0	1	0	8.2	2.5	0	0	0	0
16	Bus16	33	0	1	0	3.5	1.8	0	0	0	0
17	Bus17	33	0	1	0	9	5.8	0	0	0	0
18	Bus18	33	0	1	0	3.2	0.9	0	0	0	0
19	Bus19	33	0	1	0	9.5	3.4	0	0	0	0
20	Bus20	33	0	1	0	2.2	0.7	0	0	0	0
21	Bus21	33	0	1	0	17.5	11.2	0	0	0	0
22	Bus22	33	0	1	0	0	0	0	0	0	0
23	Bus23	33	0	1	0	3.2	1.6	0	0	0	0
24	Bus24	33	0	1	0	8.7	6.7	0	0	0	0.043
25	Bus25	33	0	1	0	0	0	0	0	0	0
26	Bus26	33	0	1	0	3.5	2.3	0	0	0	0
27	Cloverdle	33	0	1	0	0	0	0	0	0	0
28	Cloverdle	132	0	1	0	0	0	0	0	0	0
29	Bus29	33	0	1	0	2.4	0.9	0	0	0	0
30	Bus30	33	0	1	0	10.6	1.9	0	0	0	0

Figura 2
Diagrama unifilar del Sistema Eléctrico de Potencia del caso de prueba de 30 buses.



2.2 Construcción de la matriz de admitancias

La admitancia es el inverso de la impedancia, y ésta relaciona los voltajes y corrientes del sistema de forma matricial. La matriz de admitancias (Y_{bus}), contiene los parámetros resistivos característicos de la topología del sistema; estos parámetros se dividen en dos tipos de elementos: los elementos propios y mutuos. Los elementos propios se encuentran en la diagonal de la matriz, se componen de la sumatoria de las admitancias de las líneas de transmisión conectadas al bus respectivo, esto debido a que representan la admitancia total que percibe el bus respectivo. Los elementos mutuos representan la admitancia de la línea de transmisión interconectada entre dos buses.
En este artículo, se modela la línea de transmisión con el modelo π, el cual relaciona la resistencia y reactancia de la línea y la susceptancia en paralelo, esto permite aproximar eficazmente las pérdidas de potencia activa y reactiva, y las caídas de tensión. El cálculo de los elementos propios de la Y_{bus} puede llevarse a cabo dos formas diferentes, tal como se muestra en (1) y (2).

$$Y_{busik} = \frac{1}{R + jX} + \frac{jB_s}{2} \tag{1}$$

Donde R es la resistencia y X la reactancia de la línea de transmisión en ohm (Ω) y B_s es la susceptancia en paralelo en siemens (S), j es la unidad imaginaria e i y k representan la posición del elemento, donde i igual a k.

$$Y_{busik} = G + jB + \frac{jB_s}{2} \tag{2}$$

Donde G es la conductancia y B la susceptancia de la línea de transmisión en siemens (S).

El cálculo de los parámetros mutuos se muestra en (3) y (4). A diferencia de los elementos propios, estos son negativos, esto debido a la referencia entre los elementos que aportan potencia al sistema y los que la consumen.

$$Y_{busik} = -\frac{1}{R + jX} \tag{3}$$

$$Y_{busik} = -(G + jB) \tag{4}$$

Donde i es diferente de k.

La conductancia (G) representa la capacidad que tiene el sistema para conducir la corriente eléctrica; también es la parte real de la admitancia. La susceptancia (B) representa la capacidad que tiene el sistema para almacenar energía en forma de campo magnético; también es la parte imaginaria de la admitancia. Para el cálculo de G y B, se utiliza (5) y (6).

$$G = \frac{R}{R^2 + X^2} \tag{5}$$

$$B = -\frac{X}{R^2 + X^2} \tag{6}$$

Para simplificar la construcción iterativa de la Y_{bus}, se adquieren los datos de interconexión del sistema y se itera solo sobre estas posiciones. Internamente, se determina la topología del sistema, lo que permite caracterizar la interconexión que se presenta en un bus respectivo. Además, la Y_{bus} resulta ser una matriz cuadrada y simétrica, lo que permite que la construcción de ésta pueda construirse en paralelo, solo con el cálculo de los elementos de orden superior. Por lo tanto, la matriz de orden inferior es igual a la matriz transpuesta de orden superior, como se muestra en (7). Las dimensiones de la matriz se establecen mediante el número de buses del sistema.

$$Y_{buski} = Y_{busik}^{T} \tag{7}$$

Esto de forma iterativa, significa cambiar el orden de las posiciones de los elementos matriciales para los puntos con interconexión, como se muestra en (8). Como la admitancia propia se encuentra sobre la diagonal, i resulta diferente de k.

$$Y_{buski} = Y_{busik} \tag{8}$$

Al emplear esta metodología, se reduce considerablemente el tiempo de procesamiento para la construcción de la matriz de admitancias de sistemas con cientos de buses.

A continuación, se presenta el ejemplo 2 para la construcción de la Y_{bus}:

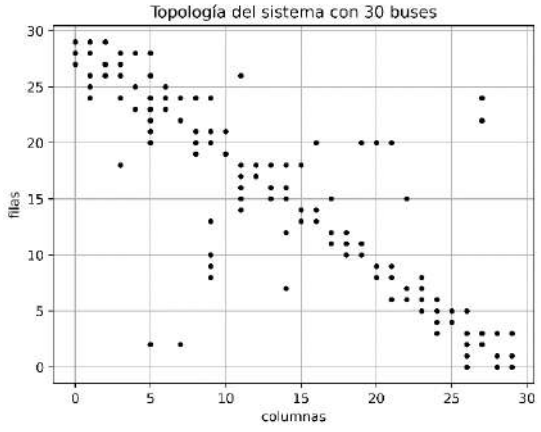
```
1. from pf.system import getSystem
2. getSystem(filename='30 BUSES.txt')
3. getSystem.initialize()
4. getSystem.Ybus()
5. getSystem.finalize()
```

Esto retorna Y_{bus} con sus respectivos valores. Para visualizar de forma gráfica la topología del sistema, la línea cuatro del código debe ser modificada por lo siguiente:

```
4. getSystem.Ybus(plotts=True)
```

En la figura 3, se muestra la representación gráfica de la topología del sistema de 30 buses. Se aprecia que las posiciones de los elementos están invertidas, es decir, el elemento de la matriz (1,1), está graficado sobre el elemento (29, 29). Esto es debido a que existe una modificación entre la ocurrencia de las filas, lo que permite visualizar una gráfica idéntica a la configuración matemática de la interconexión del sistema.

Figura 3
Representación gráfica de la topología del sistema del caso de estudio con 30 buses.

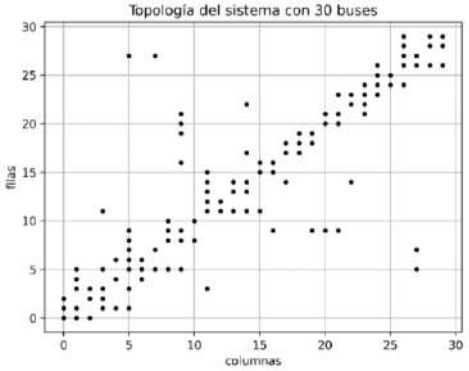


En esta función se determina el tipo de configuración del SEP (Viqueira Landa, 2010), esto mediante la estructura topológica de la Y_{busik}. Se observa en el sistema de 30 buses, la no linealidad que presenta el sistema, donde los elementos que están muy cercanos a la diagonal o adyacentes a ella, indican que las conexiones del sistema están establecidas como locales, así mismo, los elementos que están alejados de la diagonal representan la interconexión del sistema red.

En la figura 4, se muestra la representación gráfica de la topología del sistema sin la modificación. Se observa que, al no aplicar la modificación, se puede presentar una interpretación errónea de la topología del sistema.

Figura 4

Representación gráfica de la topología del sistema del caso de estudio con 30 buses sin la modificación de la ocurrencia de las filas.



2.3 Desarrollo del método numérico de Newton – Raphson.

El método de Newton – Raphson, es un método numérico iterativo diseñado para resolver sistemas no lineales (Játiva, Constante, & Cabrera, 2014). La ecuación que representa el algoritmo se muestra en (9).

$$x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)} \tag{9}$$

Donde $f'(x_n)$ es diferente de cero.

La configuración de este método empleado en SEPs, se muestra en (10).

$$\begin{bmatrix}\delta(i+1)\\ V(i+1)\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}\delta(i)\\ V(i)\end{bmatrix} - \begin{bmatrix}\Delta\delta(i)\\ \Delta V(i)\end{bmatrix} \tag{10}$$

Donde δ es el ángulo de fase del voltaje en rad y V es la magnitud del voltaje en pu.

Para determinar los valores de (10), se utilizan las ecuaciones de potencia, las cuales se muestran en (11), (12), (13) y (14) (Glover, Overbye, Jeffrey-Sarma, & Mulukutla, 2017).

$$P_i = V_i \sum_{k=1}^{n} Y_{ik} V_k \cos(\delta_i - \delta_k - \theta_{ik}) \tag{11}$$

$$Q_i = V_i \sum_{k=1}^{n} Y_{ik} V_k \operatorname{sen}(\delta_i - \delta_k - \theta_{ik}) \tag{12}$$

$$P_i = V_i \sum_{k=1}^{n} V_k [G_{ik} \cos(\delta_i - \delta_k) + B_{ik} \operatorname{sen}(\delta_i - \delta_k)] \tag{13}$$

$$Q_i = V_i \sum_{k=1}^{n} V_k [G_{ik} \operatorname{sen}(\delta_i - \delta_k) + B_{ik} \cos(\delta_i - \delta_k)] \tag{14}$$

Donde (11) y (12) están estructuradas en coordenadas polares y (13) y (14) están estructuradas en coordenadas rectangulares.

La solución de los flujos de potencia establece que los parámetros característicos para determinar las condiciones operativas son: la magnitud del voltaje (V), el ángulo de fase del voltaje (δ), la potencia activa (P) y reactiva (Q) del respectivo bus del sistema. Se observa en (10) que los parámetros de la solución iterativa son V y δ; estos valores están relacionados con las ecuaciones de potencia.

En el control de los flujos de potencia, la potencia activa está relacionada con el ángulo de fase, esto debido a que si hay una variación en δ, esta variación se ve reflejada en P en la misma dirección, tal como se muestra en (15). Así mismo, la potencia reactiva (Q) está relacionada con el voltaje (V), por lo que si hay una variación en V, la diferencia de tensiones se ve modificada, por lo que la variación en Q se verá reflejada en la misma dirección, tal como se muestra en (16) (Kundur, 1994) & (Glover, Overbye, Jeffrey-Sarma, & Mulukutla, 2017). Estas expresiones son mostradas en su forma más simple y generalizada. También se muestra en (17) la suma compleja de P y Q, la cual representa la potencia compleja (S). La relación entre $P-\delta$ y $Q-V$, permite determinar la ecuación característica que representa a las variables del sistema, es decir, en (10) se emplea (11) o (13) para determinar δ, y (12) y (14) para determinar V.

$$P = V_r E_s Y_{sr} \sin(\delta) \tag{15}$$

$$Q = V_r Y_{sr} (E_s \cos(\delta) - V_r) \tag{16}$$

$$S = P + jQ \tag{17}$$

Donde P es la potencia activa, Q es la potencia reactiva, V_r es el voltaje recibido, E_s es el voltaje de envío, Y_{sr} es la admitancia entre E_s y V_r, δ es el ángulo del bus de envío, s y r representan la transferencia de potencia entre los buses de envío y de recepción, respectivamente.

Además, se observa que, al relacionar la diferencia de voltajes con la admitancia, se obtiene la corriente, tal como se muestra en (18).

$$I = (E_s - V_r) Y_{sr} \tag{18}$$

Al establecer las ecuaciones de potencia y sus relaciones, se determinan las ecuaciones características del sistema. Estas dependen de 2 factores principales: 1. La clasificación del bus, y 2. La existencia de la interconexión.

1. La clasificación del bus, determina el funcionamiento para el que éste fue diseñado. Existen 3 principales tipos de buses (Grainger & Stevenson, 1996):

1.1 El bus de carga ó PQ, es aquel que suministra P y Q de forma constante en función a la carga conectada en el respectivo bus. Por lo tanto, los parámetros desconocidos son δ y V. La clasificación del bus se estandariza con el código 0.

Así mismo, el código 1, representa también un bus de carga, y a diferencia del código 0, éste tiene conectada una carga variable.
1.2 El bus de voltaje controlado ó PV, es aquel que proporciona P y V de forma constante. En éste, se especifica P y V, por lo que los parámetros desconocidos son Q y δ. La clasificación del bus se estandariza con el código 2.
1.3 El bus Swing o Slack, es aquel que actúa como compensador del sistema, debido a que proporciona la generación de potencia restante. Este bus funciona como referencia, por lo tanto, se idealizan los parámetros V y δ, y los parámetros desconocidos son P y Q. La clasificación del bus se estandariza con el código 3.

2. Se observa que las ecuaciones de potencia dependen de la magnitud de los elementos de la matriz de admitancia y ésta de la interconexión del sistema. Esto permite determinar la longitud de la ecuación de potencia, debido a que para los elementos nulos en la matriz de admitancias dan como resultado que respecto para ese elemento, la ecuación de potencia sea nula; esto permite que al modificar Y_{busik} con técnicas de esparcidad, el cálculo de potencias resulte optimizado solo para los elementos diferentes de un valor nulo. A continuación, se anexa el ejemplo 3, el cual presenta una continuación del ejemplo 2. En este ejemplo se determinan las ecuaciones características del sistema:

```
6. from pf.system import BusByType
7. from pf.system import PowerEquations
8. f = PowerEquations(b=BusByType(buses), buses=buses)
9. a, b = f.BusByType_.totalEquationsByBus()
10. c = f.powerByBUsType(b)
```

Para encontrar la solución de (10), la ecuación se separa en dos términos, tal como se muestra en (19) y (20). En (19), se aprecia la diferencia del vector de potencia neta (P_{neta}) transmitida en el sistema y el vector de potencia característico (P_{self}) de la sustitución de los valores de V y δ respectivos en las ecuaciones de potencia características del sistema. Se aprecia que P_{neta} se mantiene constante y P_{self} es dinámico de acuerdo a cada iteración.

$$y = \begin{bmatrix}\delta(i)\\ V(i)\end{bmatrix} = P_{neta} - P_{self} = \begin{bmatrix}P_{gen} - P_{carga}\\ Q_{gen} - Q_{carga}\end{bmatrix} - \begin{bmatrix}P(i)\\ Q(i)\end{bmatrix} \quad (19)$$

En (20), se aprecia el producto de la matriz jacobiana (J) que contiene las variaciones de potencia respecto a las variables del sistema y el vector de potencia característico (P_{self}). La construcción de la matriz jacobiana se muestra en (21).

$$f(x) = \begin{bmatrix}\Delta\delta(i)\\ \Delta V(i)\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}J1 & J2\\ J3 & J4\end{bmatrix}\begin{bmatrix}P(i)\\ Q(i)\end{bmatrix} \quad (20)$$

La matriz jacobiana es una herramienta matemática que representa el cambio de potencia ante la variación de los voltajes y ángulos del sistema. Esta matriz es dinámica al sustituir la actualización de V y δ en cada iteración

$$J = \begin{bmatrix}J1 & J2\\ J3 & J4\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}\frac{\partial P(i)}{\partial \delta} & \frac{\partial P(i)}{\partial |V|}\\ \frac{\partial Q(i)}{\partial \delta} & \frac{\partial Q(i)}{\partial |V|}\end{bmatrix} \quad (21)$$

Al sustituir, en (22) se muestra (10) en su forma amplia. Esta ecuación, itera hasta que la diferencia entre los valores previos y los actualizados sea menor a la tolerancia establecida en los criterios de convergencia (Idema & Lahaye, 2014).

$$\begin{bmatrix}\delta(i+1)\\ V(i+1)\end{bmatrix} = \left(\begin{bmatrix}P_{gen} - P_{carga}\\ Q_{gen} - Q_{carga}\end{bmatrix} - \begin{bmatrix}P(i)\\ Q(i)\end{bmatrix}\right) - \begin{bmatrix}\frac{\partial P(i)}{\partial \delta} & \frac{\partial P(i)}{\partial |V|}\\ \frac{\partial Q(i)}{\partial \delta} & \frac{\partial Q(i)}{\partial |V|}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}P(i)\\ Q(i)\end{bmatrix} \quad (22)$$

A continuación, se anexa el ejemplo 4, el cual presenta una continuación del ejemplo 3. En este ejemplo se presenta la solución del sistema no lineal con el método del Newton – Raphson:

```
11. from pf.system import setPower
12. from pf.system import NR
13. P = setPower(d0=d, V0=V, Yb=Y, th=theta)
14. NR(tol=0.0001, iter_=5)
```

2.4 Cálculo de flujos de potencia y pérdidas del sistema.

Los flujos de potencia (PF_{sr}) representan la transferencia de potencia respecto a las interconexiones del sistema, ya que éstas determinan la dirección de la transmisión de energía eléctrica. El cálculo de PF_{sr} se muestra en (23).

$$PF_{sr} = V_s I_{sr}^* \quad (23)$$

Al sustituir (18) en (23), se obtiene (24).

$$PF_{sr} = V_s \left((V_s - V_r)Y_{sr}\right)^* \quad (24)$$

El cálculo de las potencias de generación se determina a través de la sumatoria de los flujos de potencia presentes en el respectivo bus. De acuerdo con la clasificación de los buses, la potencia activa generada desconocida, solo aplica para el bus Slack; en cambio, la potencia reactiva generada es desconocida para todos los buses que la proporcionen, tal como se muestra en (25) y (26), respectivamente. Esta expresión indica los límites de la sumatoria para los valores existentes en la fila del bus respectivo. Esto debido a que, al manejar la matriz dispersa (Gross, 1979), al iterar a lo largo de n, PF_{sr} arroja valores nulos. Por lo tanto, el número de iteraciones se determina por el número de interconexiones c.

$$P_s = \sum_r^c \Re\mathrm{e}(PF_{sr}) \quad (25)$$

$$Q_s = \sum_r^c Im(PF_{sr}) \quad (26)$$

Así mismo, los flujos de potencia pueden ser calculados con la Y_{bus} de orden superior, solo se modifica la ocurrencia de s y r, tal como se mostró en (7). Esto calcula en paralelo PF_{sr} y PF_{rs}.

El factor de potencia (FP) representa la eficiencia en la transferencia de energía eléctrica, en (27) se muestra su cálculo.

$$FP = \frac{P}{|S|} \quad (27)$$

Para el cálculo de las pérdidas en cada interconexión del sistema, se suma PF_{sr} y PF_{rs}, tal como se muestra en (28). En cambio, en (29) se muestra el cálculo de las pérdidas totales del sistema, y se establecen los límites de la sumatoria a lo largo de las interconexiones.

$$P_{losses} + jQ_{losses} = PF_{sr} + PF_{rs} \tag{28}$$

$$S_{total} = \sum_{s}^{c} (P_{losses} + jQ_{losses})_{s} \tag{29}$$

Al determinar el voltaje en el bus de carga, éste puede presentar una caída de tensión considerable, provocada por los elementos resistivos de las interconexiones. Para su compensación, se inyecta una potencia reactiva capacitiva (Q_c), la cual está determinada por el voltaje del bus, esto debido a la relación en (15). El cálculo de Q_c se muestra en (30). Esto es utilizado para corregir el factor de potencia. Además, permite reducir los costos de operación del sistema (Wood, Wollenberg, & Sheblé, 2014).

$$Q_c = \frac{V_i^2}{X_c} \tag{30}$$

Donde X_c es la reactancia capacitiva.

Para conocer la distribución de Q_c en función de la magnitud de la susceptancia capacitiva interconectada, se identifican los elementos resistivos que están interconectados en el respectivo bus, tal como se muestra en (31).

$$B_{cik} = \frac{1}{2}\frac{Q_c}{V_i^2}\frac{Y_{ik}}{Y_{ii}} \tag{31}$$

Donde $\frac{Y_{ik}}{Y_{ii}}$, es el factor de proporcionalidad de la susceptancia entre la interconexión. Por lo tanto, la susceptancia capacitiva representa las susceptancias de las interconexiones, tal como se muestra en (32).

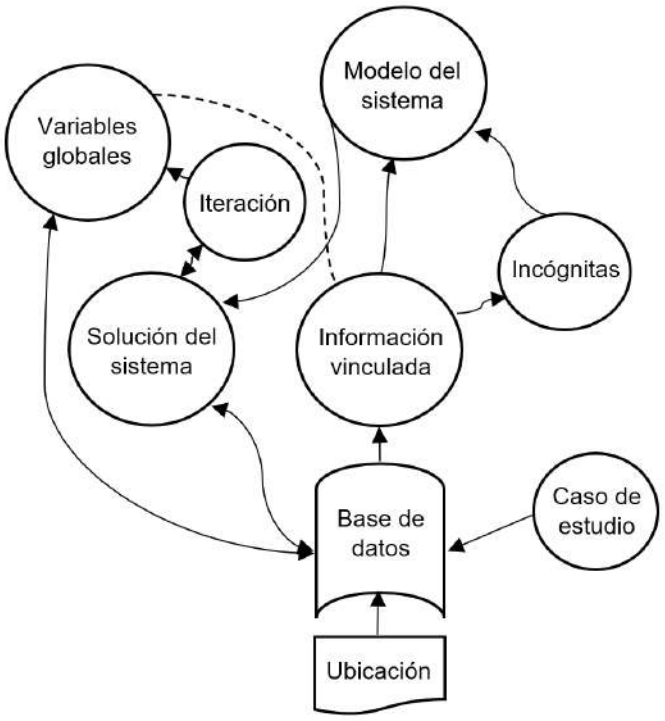
$$B_{c_{ii}} = \sum_{k}^{c} B_{c_{ik}} \tag{32}$$

2.5 Almacenamiento en la base de datos.

El almacenamiento de los datos del sistema, permite operar sin el recalculo de los mismos. Debido a que la solución del sistema se basa en la aproximación por un método iterativo, si el caso de estudio se compone por un sistema de cientos de buses, el almacenamiento de las incógnitas del sistema representa una optimización en el tiempo de cómputo.
La base de datos cuenta con un sistema de almacenamiento automatizado, el cual caracteriza con un identificador, la funcionalidad de cada operación que retorna la herramienta computacional. En la figura 5, se muestra el diagrama que representa la dinámica de la base de datos.

Figura 5

Diagrama representativo de la base de datos de la herramienta computacional.



III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se muestran los resultados relevantes para los flujos de potencia, como lo son las incógnitas del sistema, la solución del sistema, el criterio de convergencia, los flujos de potencia, las potencias de generación y las pérdidas del sistema. En la tabla 3, se observa que, de acuerdo con la clasificación del bus, se determinan las incógnitas del sistema. De acuerdo a la relación de las variables y las potencias, se establecen las ecuaciones características del sistema.

En la tabla 4, se muestra la solución del sistema con una tolerancia del 0.1% (Saadat, 1999). Esta solución se compara con el software OpenDSS y el caso de prueba del IEEE. También muestra el error de aproximación de los resultados.

En la tabla 5, se muestran los resultados de los flujos de potencia activa y reactiva, donde L es el símbolo para la línea de transmisión y T para el transformador. Estos valores fueron comparados con los resultados del software openDSS. Se observa que en la columna Bus-d, se encuentran los números 1 y 2, esto indica que el flujo de potencia va en su sentido natural e inverso, respectivamente.

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

Tabla 3
Incógnitas y ecuaciones del sistema de acuerdo a la clasificación del bus.

Bus	**Bus**	**Incógnitas del sistema**		**Ecuaciones características del sistema**	
No	Clasificación	Ángulo	Voltaje	Potencia activa	Potencia reactiva
1	3	---	---	---	---
2	2	delta2	---	P2	---
3	0	delta3	V3	P3	Q3
4	0	delta4	V4	P4	Q4
5	2	delta5	---	P5	---
6	0	delta6	V6	P6	Q6
7	0	delta7	V7	P7	Q7
8	2	delta8	---	P8	---
9	0	delta9	V9	P9	Q9
10	0	delta10	V10	P10	Q10
11	2	delta11	---	P11	---
12	0	delta12	V12	P12	Q12
13	2	delta13	---	P13	---
14	0	delta14	V14	P14	Q14
15	0	delta15	V15	P15	Q15
16	0	delta16	V16	P16	Q16
17	0	delta17	V17	P17	Q17
18	0	delta18	V18	P18	Q18
19	0	delta19	V19	P19	Q19
20	0	delta20	V20	P20	Q20
21	0	delta21	V21	P21	Q21
22	0	delta22	V22	P22	Q22
23	0	delta23	V23	P23	Q23
24	0	delta24	V24	P24	Q24
25	0	delta25	V25	P25	Q25
26	0	delta26	V26	P26	Q26
27	0	delta27	V27	P27	Q27
28	0	delta28	V28	P28	Q28
29	0	delta29	V29	P29	Q29
30	0	delta30	V30	P30	Q30

Tabla 4
Valores de la solución del sistema mediante el método de Newton – Raphson.

Sistema		Herramienta computacional		OpenDSS y caso de prueba del IEEE		Exactitud	
Bus	Bus	Voltaje	Ángulo	Voltaje	Ángulo	V	δ
No	Code	p.u.	rad	p.u.	rad	%	%
1	3	1.060	0.000	1.06	0	0.00	0.00
2	2	1.043	-5.301	1.043	-5.48	0.00	3.37
3	0	1.034	-7.654	1.021	-7.96	1.27	4.00
4	0	1.025	-9.379	1.012	-9.62	1.29	2.57
5	2	1.010	-13.989	1.01	-14.37	0.00	2.72
6	0	1.018	-11.052	1.01	-11.34	0.77	2.61
7	0	1.010	-12.835	1.002	-13.12	0.76	2.22
8	2	1.010	-11.671	1.01	-12.1	0.00	3.68
9	0	1.028	-14.238	1.051	-14.38	2.27	1.00
10	0	1.005	-15.943	1.045	-15.97	3.94	0.17
11	2	1.082	-14.238	1.082	-14.39	0.00	1.07
12	0	1.030	-15.491	1.057	-15.24	2.66	1.62
13	2	1.071	-15.491	1.071	-15.24	0.00	1.62
14	0	1.012	-16.400	1.042	-16.13	2.93	1.64
15	0	1.006	-16.419	1.038	-16.22	3.18	1.21
16	0	1.012	-15.936	1.045	-15.83	3.31	0.67
17	0	1.002	-16.182	1.04	-16.14	3.79	0.26
18	0	0.993	-16.995	1.028	-16.82	3.50	1.03
19	0	0.989	-17.134	1.026	-17	3.76	0.78
20	0	0.992	-16.896	1.03	-16.8	3.81	0.57
21	0	0.992	-16.407	1.033	-16.42	4.12	0.08
22	0	0.993	-16.387	1.033	-16.41	4.07	0.14
23	0	0.991	-16.702	1.027	-16.61	3.64	0.55
24	0	0.979	-16.710	1.021	-16.78	4.25	0.42
25	0	0.981	-16.362	1.017	-16.35	3.65	0.07
26	0	0.963	-16.814	1	-16.77	3.86	0.26
27	0	0.991	-15.863	1.023	-15.82	3.20	0.27
28	0	1.016	-11.701	1.007	-11.97	0.86	2.30
29	0	0.971	-17.175	1.003	-17.06	3.33	0.67
30	0	0.959	-18.119	0.992	-17.94	3.46	0.99

Tabla 5
Flujos de potencia del sistema de 30 buses.

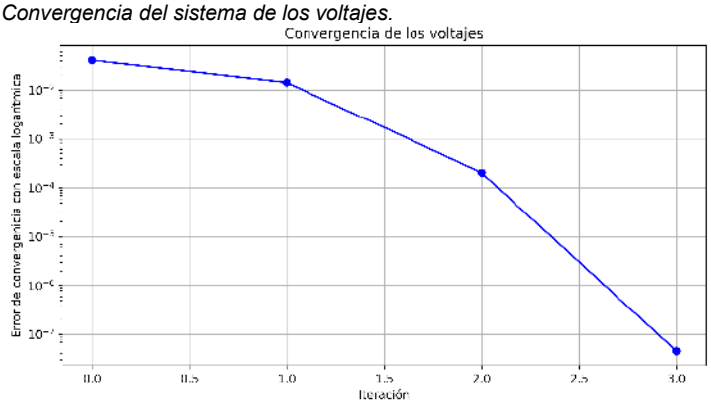
Sistema				Herramienta computacional		OpenDSS		Exactitud	
				Flujos de potencia					
Bus	Bus	Bus	ij	P	Q	P	Q	MW	MVAR
Tipo	i	j	d	MW	MVAR	MW	MVAR	%	%
L	1	2	1	172.8	-21.4	173.2	-21.4	0.22	0.13
L	1	2	2	-167.7	31.1	-168	31.1	0.20	0.15
L	1	3	1	88.2	4.6	87.7	4.6	0.58	0.21
L	1	3	2	-85.1	2.4	-84.6	2.4	0.56	1.48
L	2	4	1	43.6	4.0	43.6	4	0.02	0.01
L	2	4	2	-42.6	-4.8	-42.6	-4.8	0.02	0.00
L	3	4	1	82.7	-3.6	82.2	-3.6	0.58	0.57

L	3	4	2	-81.8	5.2	-81.3	5.2	0.64	0.65
L	2	5	1	82.1	1.7	82.4	1.7	0.32	0.52
L	2	5	2	-79.2	6.3	-79.4	6.3	0.25	0.23
L	2	6	1	60.2	0.6	60.3	0.6	0.10	0.08
L	2	6	2	-58.3	1.4	-58.4	1.4	0.17	0.45
L	4	6	1	72.8	-16.2	72.1	-16.2	0.98	0.19
L	4	6	2	-72.2	17.5	-71.5	17.5	0.97	0.26
L	5	7	1	-15.0	12.0	-14.7	11.9	1.97	1.19
L	5	7	2	15.1	-13.6	14.9	-13.5	1.62	0.83
L	6	7	1	38.3	-3.1	38.1	-3.1	0.60	0.23
L	6	7	2	-37.9	2.6	-37.7	2.6	0.65	0.50
L	6	8	1	29.6	-7.8	29.6	-7.8	0.07	0.00
L	6	8	2	-29.5	7.2	-29.5	7.2	0.07	0.00
L	12	14	1	8.0	2.4	7.9	2.4	1.12	1.02
L	12	14	2	-7.9	-2.2	-7.8	-2.2	1.30	1.23
L	12	15	1	17.8	6.8	17.9	6.8	0.37	0.37
L	12	15	2	-17.6	-6.4	-17.7	-6.4	0.72	0.73
L	12	16	1	7.0	3.5	7.2	3.4	3.15	3.84
L	12	16	2	-6.9	-3.4	-7.2	-3.2	4.31	5.35
L	14	15	1	1.7	0.7	1.6	0.6	6.05	8.97
L	14	15	2	-1.7	-0.7	-1.6	-0.6	5.46	8.13
L	16	17	1	3.4	1.7	3.7	1.4	8.75	15.51
L	16	17	2	-3.4	-1.7	-3.7	-1.4	9.23	16.05
L	15	18	1	6.1	1.6	6	1.6	1.14	1.47
L	15	18	2	-6.0	-1.5	-6	-1.5	0.33	0.45
L	18	19	1	2.8	0.6	2.8	0.6	0.71	1.64
L	18	19	2	-2.8	-0.6	-2.8	-0.6	0.44	1.01
L	19	20	1	-6.7	-2.8	-6.7	-2.8	0.18	0.07
L	19	20	2	6.7	2.8	6.7	2.8	0.06	0.02
L	10	20	1	9.0	3.7	9	3.7	0.18	0.08
L	10	20	2	-8.9	-3.5	-8.9	-3.5	0.04	0.02
L	10	17	1	5.6	4.5	5.3	4.4	5.76	1.52
L	10	17	2	-5.6	-4.5	-5.3	-4.4	5.57	1.45
L	10	21	1	15.7	10.1	15.8	10	0.75	0.55
L	10	21	2	-15.6	-9.9	-15.7	-9.8	0.91	0.66
L	10	22	1	7.6	4.6	7.6	4.6	0.64	0.48
L	10	22	2	-7.5	-4.5	-7.6	-4.5	1.44	1.07
L	21	22	1	-1.9	-1.4	-1.8	-1.4	7.28	3.17
L	21	22	2	1.9	1.4	1.8	1.4	7.30	3.19
L	15	23	1	5.0	2.9	5	2.9	0.05	0.06
L	15	23	2	-4.9	-2.9	-5	-2.9	1.10	1.33
L	22	24	1	5.6	3.2	5.7	3.1	2.69	2.34
L	22	24	2	-5.5	-3.1	-5.7	-3	3.71	3.23
L	23	24	1	1.7	1.4	1.8	1.3	3.10	5.55
L	23	24	2	-1.7	-1.3	-1.8	-1.2	4.35	8.09
L	24	25	1	-1.5	2.1	-1.2	2	18.86	3.94
L	24	25	2	1.5	-2.1	1.2	-2	19.14	3.94
L	25	26	1	3.5	2.4	3.5	2.4	1.37	0.94
L	25	26	2	-3.5	-2.3	-3.5	-2.3	0.00	0.00
L	25	27	1	-5.0	-0.5	-4.8	-0.4	4.62	12.46
L	25	27	2	5.1	0.5	4.8	0.4	5.23	14.30
L	27	29	1	6.2	1.7	6.2	1.7	0.01	0.01
L	27	29	2	-6.1	-1.5	-6.1	-1.5	0.12	0.09
L	27	30	1	7.1	1.7	7.1	1.7	0.06	0.04
L	27	30	2	-6.9	-1.4	-6.9	-1.4	0.42	0.28
L	29	30	1	3.7	0.6	3.7	0.6	0.20	0.14
L	29	30	2	-3.7	-0.5	-3.7	-0.5	0.79	0.59
L	8	28	1	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	4.19	1.78
L	8	28	2	0.5	-3.9	0.5	-3.9	4.23	0.22
L	6	28	1	19.0	0.0	18.7	0	1.33	0.00
L	6	28	2	-18.9	-1.1	-18.6	-1.1	1.55	0.68
T	6	9	1	28.0	-8.2	27.7	-8.2	0.92	0.38
T	6	9	2	-28.0	9.8	-27.7	9.8	0.92	0.43
T	6	10	1	15.7	0.2	15.8	0.2	0.73	6.41
T	6	10	2	-15.7	1.1	-15.8	1.1	0.73	0.61
T	9	11	1	0.0	-15.8	0	-15.8	0.00	0.00
T	9	11	2	0.0	16.2	0	16.2	0.00	0.00
T	9	10	1	28.0	6.0	27.7	5.9	0.92	2.29
T	9	10	2	-28.0	-5.2	-27.7	-5.1	0.92	2.49
T	4	12	1	44.0	14.2	44.2	14.2	0.45	0.01
T	4	12	2	-44.0	-9.5	-44.2	-9.5	0.45	0.18
T	12	13	1	0.0	-10.5	0	-10.5	0.00	0.00
T	12	13	2	0.0	10.7	0	10.7	0.00	0.00
T	28	27	1	18.4	5.1	18.1	5	1.47	1.36
T	28	27	2	-18.4	-3.8	-18.1	-3.7	1.47	1.43

En la figura 6, se muestra el número de iteraciones que tardan los voltajes en converger.

Figura 6

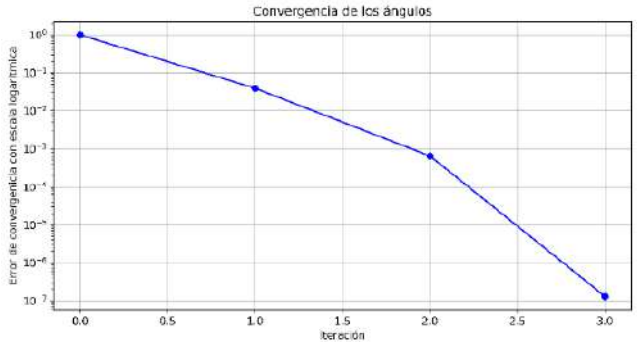
Convergencia del sistema de los voltajes.



En la figura 7, se muestra el número de iteraciones que tardan los ángulos en converger.

Figura 7

Convergencia del sistema de los ángulos.



Se observa que con una tolerancia del 0.1%, el sistema converge en cuatro iteraciones.

En la tabla 6, se muestra la potencia de generación del bus Slack.

Tabla 6

Potencia generada por el bus Slack.

Sistema		Herramienta computacional		OpenDSS	
Potencia generada del bus compensador					
Bus No	Bus Code	P MW	Q MVAR	P MW	Q MVAR
1	3	261.0	-16.8	260.9	-16.8

En la tabla 7, se muestran las pérdidas totales del sistema. Estas se determinaron con (29).

Tabla 7

Pérdidas totales del sistema.

Herramienta computacional		OpenDSS	
Pérdidas totales del sistema			
P MW	Q MVAR	P MW	Q MVAR
17.6	33.3	17.6	33.3

IV. CONCLUSIONES

La herramienta computacional en su versión actual está diseñada para el cálculo de los parámetros representativos de los flujos de potencia en estado estacionario. Su implementación se realizó en el lenguaje de programación de Python, el cual es un software de código abierto. Esta herramienta permite obtener resultados aproximados respecto a los del software openDSS, en donde éste, es un software validado.

La solución del sistema mediante el método de Newton – Raphson, permite analizar la caída de los voltajes provocada por los elementos resistivos propios del sistema.

Se observa en la tabla 5, que los flujos de potencia están presentes en ambas direcciones, solo que el resultado es de signo contrario, y es modificado por la presencia de las pérdidas del sistema. Esta modificación permite, mediante la suma de los mismos, la determinación de las pérdidas generadas por el elemento característico presente entre la interconexión. La suma de las pérdidas en cada interconexión, determina las pérdidas totales del sistema.

V. AGRADECIMIENTOS

Se agradece al sistema de becas *CONAHCYT*, por el apoyo destinado a la investigación para el desarrollo de las tecnologías. Se agradece al TECNM – Campus La Laguna y a la División de Estudios de Posgrado del mismo, por incentivar la investigación.

VI. REFERENCIAS

Glover, J., Overbye, D., Jeffrey-Sarma, T., & Mulukutla, S. (2017). *Power system analysis & design.* Cengage Learning.

Grainger, J. J., & Stevenson, W. D. (1996). *Análisis de Sistemas de Potencia* . McGRAW-HILL.

Gross, C. (1979). *Power System Analysis.* John Wiley & Sons.

Idema, R., & Lahaye, D. J. (2014). *Computational Methods in Power System Analysis.* Atlantis Press.

Játiva, J., Constante, G., & Cabrera, G. (2014). Flujo de Potencia por Newton-Raphson con el Jacobiano Calculado en las Ecuaciones de Errores de Potencia. *REVISTA EPN*.

Kundur, P. (1994). *Power System Stability and Control (part 1).* - McGraw-Hill Professional.

n.d. (2018). *Data Repository for Power system Open models With Evolving Resources.* https://egriddata.org/dataset/ieee-30-bus-power-flow-test-case.

Saadat, H. (1999). *Power System Analysis.* McGraw-Hill.

Viqueira Landa, J. (2010). *Redes Eléctricas 1.* Facultad de Ingeniería, UNAM.

Wood, A. J., Wollenberg, B. F., & Sheblé, G. B. (2014). *Power Generation, Operation and Control.* John Wiley & Sons.

VII. AUTORES

Rubén Ángel Muñoz Castillo

https://orcid.org/0009-0001-0362-3495

Gerardo Enrique Ruiz Ponce

https://orcid.org/0000-0003-1423-4222

Concepción Hernández Flores

https://orcid.org/0000-0002-4757-5309

Marco Antonio Arjona López

https://orcid.org/0000-0003-1826-4066

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

Simulación y Análisis del Comportamiento del Voltaje en una Microrred de Corriente Alterna Considerando Generación de Energía Fotovoltaica y Eólica

Luna-Aguilera, C.[1]; Muñoz-Luna, E.J.[1] ✉; Hernández-Flores, C.[1]; García-Viveros, H.[1]; Arjona-López, M. A.[1]

Datos de Adscripción:
[1] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de La Laguna, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Blvd. Revolución y Av. Instituto Tecnológico de La Laguna, C.P. 27000, Col. Centro, Torreón, Coahuila, México.

✉ cluna351@gmail.com

Resumen **- En este artículo se presenta el análisis en estado estacionario de una microrred de corriente alterna conectada a la red. Una microrred consiste en un grupo de cargas interconectadas con recursos de generación distribuida (incluidos generadores diésel, parques fotovoltaicos, parques eólicos y sistemas de almacenamiento de energía compuestos de baterías). Sus elementos funcionan a pequeña escala cerca de los puntos de consumo. Las microrredes se encuentran en el nivel de distribución de la energía eléctrica por lo que son inherentemente desbalanceadas; en este trabajo se expone el análisis en estas condiciones operativas de la red. Para realizar la simulación se empleó el sistema de prueba de 34 nodos de la IEEE, en el que se interconectaron fuentes de generación distribuida. El software utilizado en el análisis es OpenDSS, que es de acceso abierto, donde principalmente se analizaron los voltajes en los buses y flujos de potencia en la red. Este estudio resalta los beneficios de las microrredes conectadas a la red como, por ejemplo, fortalecer los perfiles de tensión a lo largo del sistema de distribución por medio de energías renovables o la reducción de los flujos de potencia en los alimentadores. Además, se demuestra otra ventaja como la disminución de las pérdidas de potencia en la transmisión de la energía eléctrica. Los resultados obtenidos en los nodos 844 y 890, donde se conectó generación distribuida, muestran que los valores de voltaje a lo largo del día están dentro del rango recomendado por la IEEE, con límites de 0.917 p.u. y 1.05 p.u. en circuitos de distribución con generación distribuida.**

Palabras Clave **- Generación Distribuida, Microrred, OpenDSS, Sistema Eléctrico Desbalanceado.**

Abstract **- This paper presents the steady-state analysis of an alternating-current microgrid connected to the grid. A microgrid consists of a group of interconnected loads with distributed generation resources (including diesel generators, photovoltaic farms, wind farms, and energy storage systems composed of batteries). Its elements operate on a small scale and in the vicinity of the points of consumption. Microgrids operate at the distribution level of electric power; therefore, they inherently exhibit unbalance. This study shows an analysis conducted under these grid operating conditions. To perform the simulation, IEEE 34 node test feeder is used, where distributed generation sources are interconnected. The analysis was conducted using OpenDSS, an open-source software, primarily focusing on analyzing bus voltages and power flows within the network. This study highlights the benefits of grid-connected microgrids, such as strengthening voltage profiles along the distribution system with renewable energy or reducing power flows at feeders. In addition, another advantage is demonstrated, such as the reduction of losses in the transmission of electrical energy. The results obtained at nodes 844 and 890, where distributed generation was connected, show that the voltage values throughout the day are within the range recommended by the IEEE, with limits of 0.917 p.u. and 1.05 p.u. in distribution circuits with distributed generation.**

Keywords **- Distributed Energy, Microgrid, OpenDSS, Unbalanced Electric System.**

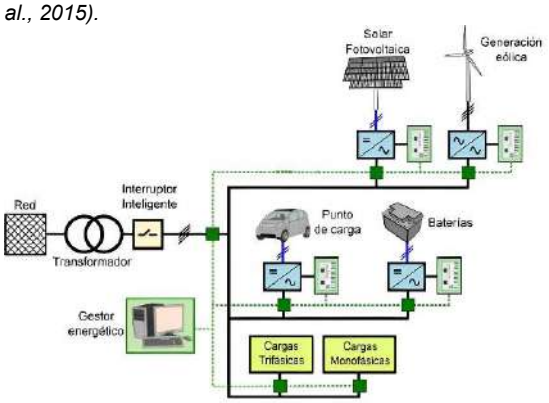
I. INTRODUCCIÓN

Integrar recursos de generación distribuida (GD) en los sistemas eléctricos de la actualidad representa un reto de adaptación de diferentes tecnologías. La red eléctrica existente experimenta cambios en la operación y planeación al conectar generación de pequeña escala cercana a los puntos de consumo; sin embargo, esta transformación es necesaria para cumplir con algunos objetivos en las próximas décadas, como lo son la descarbonización, distribuir la generación de energía eléctrica en múltiples puntos y la digitalización del sistema eléctrico (Hillberg, 2019).

Las microrredes se presentan como una alternativa para englobar la tecnología más innovadora con la red eléctrica ya existente. Una microrred es un sistema de generación y distribución de energía que funciona de forma autónoma o en coordinación con la red principal. El Departamento de Energía de EEUU describe una microrred como una agrupación de cargas interconectadas junto con recursos de generación distribuida, que operan como una sola unidad con respecto a la red de distribución. Este conjunto puede conectarse a una red eléctrica para operar en modo conectado o desconectarse para operar en modo isla (Parhizi et al., 2015). Estas redes están tomando relevancia debido a su capacidad para proporcionar energía eléctrica confiable y sostenible en áreas remotas, así como su capacidad para aumentar la resiliencia del sistema eléctrico en caso de interrupciones (Moreno et al., 2022). Una microrred típica consiste en múltiples fuentes de energía, incluidos generadores diésel, parques solares, parques eólicos y dispositivos de almacenamiento de energía. La Figura 1 ilustra un diagrama de los principales componentes que integran una microrred de corriente alterna. La incorporación de energía renovable al

sistema de distribución convierte a las microrredes en una opción viable para minimizar la necesidad de utilizar combustibles fósiles y mitigar las emisiones de carbono. Otra ventaja con la que cuentan estos sistemas es que disminuyen las pérdidas de distribución y transmisión, mejorando así la eficiencia de un sistema de distribución de energía eléctrica (Ahmad et al., 2023).

Figura 1
Diagrama esquemático de una microrred de corriente alterna (Prieto et al., 2015).



Smith et al. (2011c) realizaron el análisis de un circuito de distribución donde se integró una alta penetración de generación distribuida con generación fotovoltaica utilizando el software OpenDSS (Open Distribution System Simulator). Chirapongsananurak et al. (2012b) utilizaron generación eólica a nivel distribución con diferentes modelos de aerogeneradores para observar su desempeño en la regulación de tensión de la red, el trabajo fue realizado por medio del software OpenDSS.
Existen alternativas de software con licencia de acceso libre para simular sistemas eléctricos de potencia. Entre algunos ejemplos se encuentran GridLAB-D, OpenDSS, PandaPower, entre otros; alternativamente existe software comercial que ofrece licencias académicas gratuitas, como CYMDIST y PowerWorld, pero tienen límite en el número de buses. Todas estas herramientas cuentan con aplicaciones en la industria y en la investigación. No obstante, PowerWorld Simulator presenta limitaciones para simulaciones a nivel de distribución, por lo que es más utilizado para realizar estudios de transmisión. CYMDIST ofrece una interfaz gráfica detallada que permite realizar diversos estudios del sistema eléctrico, aunque las versiones de acceso libre son limitadas, restringiendo al usuario a algunos módulos gratuitos. Por otro lado, GridLAB-D y OpenDSS están más orientados a la investigación y cuentan con funciones para simular estudios de la red de distribución eléctrica sin límite en el tamaño del sistema eléctrico a simular. Estos programas tienen capacidades de simulación muy similares, sin embargo, la curva de aprendizaje de OpenDSS es menos pronunciada debido a los modelos detallados que maneja GridLAB-D. Además, OpenDSS cuenta con una comunidad activa y una extensa documentación, lo cual es indispensable dado que ambos programas cuentan con una interfaz gráfica poco amigable y es necesaria la utilización de scripts y código de programación.
En el presente trabajo se estudia una simulación del sistema de prueba IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) de 34 nodos. Este circuito se encuentra a nivel de distribución (baja/media tensión). En el sistema de prueba se integra generación fotovoltaica y eólica para formar una microrred con conexión a la red utilizando el software OpenDSS. El objetivo es observar el comportamiento de la tensión del sistema. También se analiza el flujo de la potencia y las pérdidas. La contribución del actual trabajo es principalmente el análisis del comportamiento del sistema de distribución con distintas fuentes de generación distribuida.

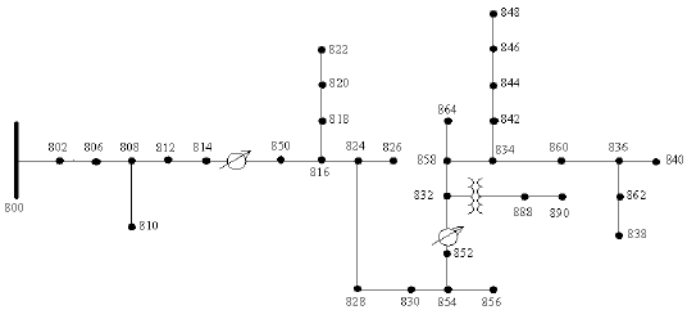
El presente artículo se organiza como se presenta a continuación: En la sección II se exponen las características generales del caso base y del software OpenDSS, así como la implementación de la simulación en el mismo. En la Sección III se exponen y se discuten los resultados obtenidos. Finalmente, en la sección IV se presentan las conclusiones.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

2.1 Sistema eléctrico base.

La red eléctrica base a simular en este trabajo es el sistema de 34 nodos definido por la IEEE. Este sistema forma parte de un grupo de circuitos de prueba establecidos originalmente en 1992 y aprobados por el Subcomité DSA (Distribution System Analysis) en la reunión de verano de 2000 de la PES (Power and Energy Society). Cada uno de estos sistemas representa modelos reducidos de un circuito de distribución real. El caso de 34 nodos utilizado en este trabajo, corresponde a un circuito real ubicado en Arizona, EEUU. El sistema opera con una tensión nominal de 24.9 kV y se caracteriza por contar con dos reguladores de voltaje en serie con las líneas. Su conexión con el sistema de subtransmisión se realiza a través del nodo 800, que es el nodo de referencia de este sistema. Además, dispone de un transformador para alimentar una carga con una tensión del devanado secundario de 4.16 kV. Las líneas son aéreas y las cargas que se alimentan son trifásicas y monofásicas, lo que da como resultado un circuito desbalanceado. El sistema también incluye la conexión de dos capacitores en derivación. La Figura 2 muestra el diagrama unifilar del circuito de prueba de 34 nodos

Figura 2
Circuito de prueba de 34 nodos IEEE (Resources – IEEE PES Test Feeder, s.f.)



Para información más detallada sobre el sistema, como datos de los transformadores, reguladores, líneas, cargas, capacitores, etc., se puede consultar la fuente citada en la Figura 2.

2.2 Sistema desbalanceado.

El desbalance constituye un problema de eficiencia energética en un sistema eléctrico. Existen diversos motivos por los cuales puede haber un desbalance entre las fases en los sistemas eléctricos. También hay una variedad de definiciones de desbalance, siendo la más común el cociente de la magnitud de la tensión de secuencia negativa entre la magnitud de la tensión de secuencia positiva. En (1) se muestra esta relación. Se recomienda que el desbalance sea menor al 5% en el nivel de distribución (IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, 2019).

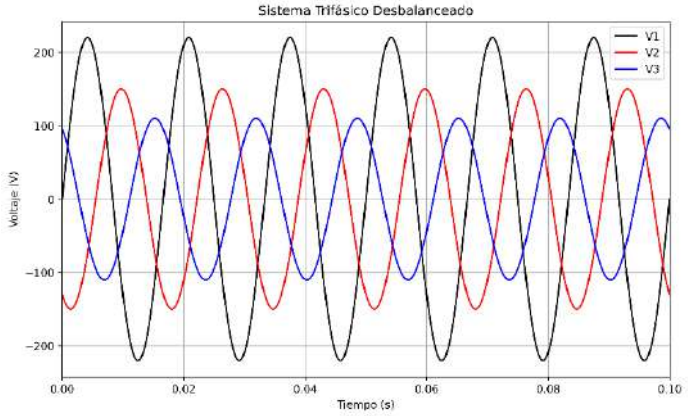
$$\%\ desbalance = \frac{|V_{neg}|}{|V_{pos}|} \times 100\% \quad (1)$$

Donde V_{neg} representa la magnitud del voltaje de la componente de secuencia negativa y V_{pos} la magnitud del voltaje de secuencia positiva.

Una de las causas principales de este fenómeno es la alimentación de cargas con diferente número de fases. En la práctica no siempre es necesario alimentar con tres fases. Para zonas residenciales basta con una o dos fases de alimentación. Las zonas industriales o aquellas donde se requiere mayor potencia se alimentan con tres fases. Sin embargo, incluso en estos centros de carga trifásicos, no siempre existe un sistema balanceado debido a las características de los diferentes equipos que se alimentan. Otro factor que influye en el desbalance de la red de distribución es la falta de transposiciones en las líneas. Cuando se alimentan zonas rurales, generalmente se realiza por medio de líneas aéreas largas sin transposiciones, lo cual puede crear un desbalance entre las fases. Además, la utilización de líneas subterráneas monofásicas puede generar un efecto capacitivo que crea un desbalance con respecto a las otras fases. En la Figura 3 se ilustran las tensiones de un sistema trifásico desbalanceado.

A diferencia del estudio de flujos de potencia monofásico, los flujos de potencia en un sistema trifásico permiten conocer el comportamiento de cada fase, permitiendo el cálculo del desbalance existente, así como el voltaje y el ángulo de fase en cada una de las líneas. Esto permite obtener resultados más precisos y con respecto a una red eléctrica real.

Figura 3
Ejemplo de sistema trifásico desbalanceado.



2.3 Software OpenDSS.

A. Características generales.

El software OpenDSS es una avanzada herramienta de simulación de sistemas eléctricos de potencia. Este programa permite simular la mayoría de los análisis en estado estable, necesarios para la planificación de los sistemas eléctricos. Además, OpenDSS soporta numerosos tipos de análisis innovadores que satisfacen las necesidades emergentes, como la integración de la red eléctrica inteligente. Entre los estudios que se pueden realizar en OpenDSS se encuentran estudios de planificación de sistemas eléctricos, estudios de conexión de generación distribuida, estudios de protecciones eléctricas, análisis de armónicos, entre muchos otros. Estas capacidades hacen de OpenDSS una herramienta ideal para la realización de esta investigación.

El programa cuenta con una gran variedad de dispositivos que se pueden utilizar en las simulaciones tales como transformadores, reguladores, relevadores, capacitores, fuentes de generación fotovoltaica y eólica, sistemas de almacenamiento, entre otros. También ofrece diferentes modos de simulación de flujos de potencia como lo son la solución instantánea, solución diaria, solución anual, o un periodo de tiempo seleccionado por el usuario.

B. Método de solución del software.

OpenDSS utiliza una formulación de admitancia nodal. La solución consiste principalmente en resolver (2).

$$I_{iny}(V) = Y_{sistema}V \quad (2)$$

En OpenDSS los elementos de conversión de potencia, como lo son las cargas y los generadores que tienen un comportamiento no lineal, son representados como un equivalente de Norton con una matriz de admitancia constante Y_{prim} y una inyección de corriente I_{iny} para compensar la parte no lineal. El modelo de estos elementos se ilustra en la Figura 4.

La matriz de admitancia del sistema se produce a partir de la matriz de admitancia primitiva Y_{prim} de cada elemento del sistema. El procedimiento de solución de OpenDSS se expone en la Figura 5.

Figura 4
Modelo de los elementos de conversión de potencia en OpenDSS (Nie et al., 2012).

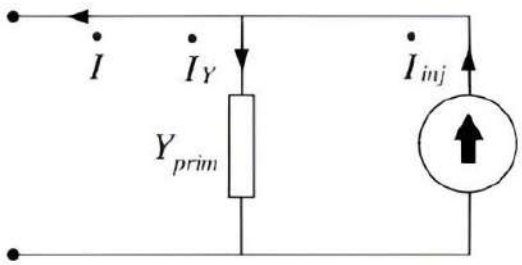
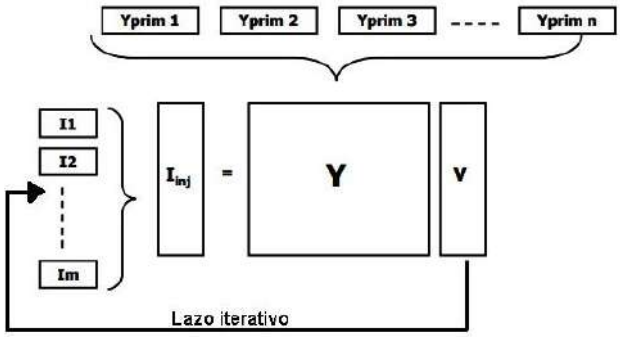


Figura 5
Esquema de solución del software OpenDSS.



A continuación se detalla el algoritmo de solución empleado por OpenDSS:

1) Se eliminan todos los elementos de conversión de potencia en la red para calcular el valor inicial de las tensiones en las barras. Estos valores de voltaje se utilizarán en la iteración con la matriz de admitancia de la red.

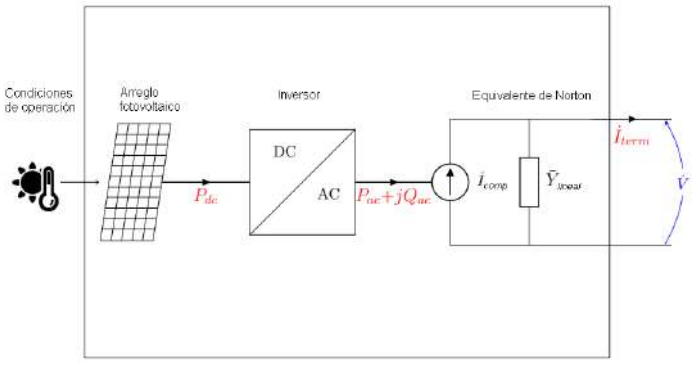
2) Se integran todos los elementos de conversión de potencia en la red y se calcula la inyección de corriente I_{iny} de cada uno de estos elementos utilizando su matriz de admitancia y los voltajes nodales.

3) Se utilizan las inyecciones de corriente de cada uno de los elementos de conversión de potencia para formar una matriz de corrientes de inyección. Las tensiones de cada nodo pueden calcularse con la matriz de corrientes y la matriz de admitancia del sistema por medio de operaciones matriciales. Se itera hasta que el error de las tensiones nodales cumpla con la tolerancia predefinida.

C. Modelo de generación fotovoltaica en OpenDSS.

El modelo de generación fotovoltaica en OpenDSS combina el arreglo fotovoltaico y el inversor. Se supone que el inversor puede seguir el punto máximo de potencia (MPP) del panel rápidamente, lo que resulta en una ventaja al momento de simular periodos de tiempo de un segundo en adelante. La Figura 6 muestra el modelo completo de la generación fotovoltaica dentro del programa.

Figura 6
Diagrama del modelo de generación fotovoltaica en OpenDSS (EPRI – OpenDSS Documentation, 2023).



En el modelo del circuito la generación fotovoltaica se comporta como un generador o una carga, produciendo o consumiendo potencia según una relación específica. La potencia activa (P) depende de la irradiancia, la temperatura (T) y el punto de máxima potencia que el arreglo puede alcanzar (PMPP) a una temperatura específica y una irradiancia de 1 kW/m^2. Por otro lado, el rendimiento del inversor está relacionado con la potencia y la tensión de operación. La potencia reactiva se especifica como una entrada diferente y se controla por separado, permitiendo especificar valores de kVAR fijos o un factor de potencia.

Para simulaciones que impliquen periodos de tiempo, como diarias o anuales, los valores base de irradiancia y temperatura se modifican por medio de arreglos (llamados perfiles de carga en el software) según el tipo de simulación. Esto permite al modelo variar la potencia de entrada para simulaciones periódicas.

Un arreglo de puntos se ingresa para describir cómo el punto máximo de potencia varia con la temperatura en relación con la temperatura elegida para el punto máximo de potencia a 1 kW/m^2.

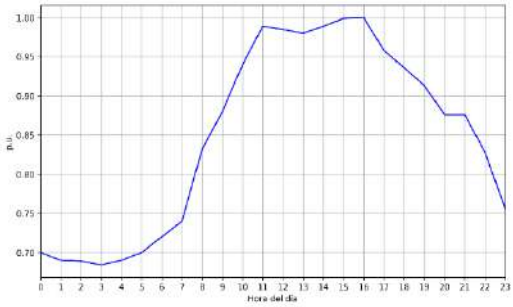
D. Modelo de generación eólica en OpenDSS.

La generación eólica en el software OpenDSS se modela como un nuevo generador, tratándose de manera similar a cualquier otro elemento de conversión de potencia. Para representar la intermitencia del viento, se utiliza un perfil de generación específico para el aerogenerador. Este perfil se define en el software mediante un objeto loadshape. Además, existen diversos modelos de aerogeneradores según la relación del generador con la tensión. Se pueden modelar a factor de potencia constante, como una admitancia constante, como potencia activa y tensión constantes (nodo regulador de tensión), entre otros.

2.4 Caso de estudio.

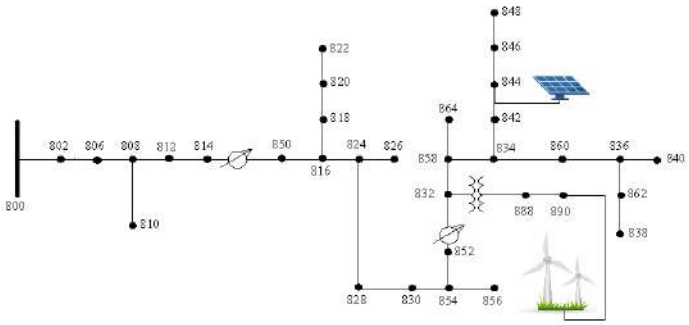
El caso base del sistema de 34 nodos de la IEEE fue el primer paso para las simulaciones. Este caso base es una simulación en un instante de tiempo, sin embargo, se adaptó el código para realizar una simulación diaria. Para adaptar esta simulación primeramente se seleccionó el día 24 de Junio de 2004, ya que este día se realizó la simulación instantánea por parte de la IEEE (Resources – IEEE PES Test Feeder, s.f.). Se aplicó un perfil de carga de un día a todas las cargas del sistema. El perfil de carga utilizado se muestra en la Figura 7, el cual está basado en una combinación del comportamiento típico de cargas residenciales e industriales a lo largo de un día.

Figura 7
Perfil de carga.



La carga nominal es la del caso base y se alcanza a las 16 horas, cuando alcanza el valor de 1 p.u. Una vez agregado el perfil a las cargas del sistema, se seleccionaron los nodos donde se integró la generación fotovoltaica y eólica. Se conectó generación fotovoltaica en el nodo 844 y generación eólica en el nodo 890. Estos nodos representan una carga significativa del sistema con 405 kW en el nodo 844 y 450 kW en el nodo 890. Ambos nodos son trifásicos, por lo que las fuentes de generación distribuida también son trifásicas. La Figura 8 muestra el sistema a simular.

Figura 8
Diagrama unifilar del caso de estudio.



Se propuso que la generación fotovoltaica tuviera un punto máximo de potencia de 200 kW, aproximadamente el 50% de la carga máxima del nodo. Las características proporcionadas a OpenDSS incluyen la irradiancia, la temperatura y la curva de eficiencia. Para los datos de entrada se consultaron los datos horarios de irradiancia y temperatura en la región de Arizona (Se tomó Phoenix como ejemplo) el día 24 de Junio de 2004 (Stackhouse, s. f.). La Figura 9 ilustra los valores de la irradiancia y la temperatura se muestra en la Figura 10. El software OpenDSS cuenta con una curva de eficiencia predefinida, donde la eficiencia es máxima a una temperatura del arreglo de 25°C y a una irradiancia de 1 kW/m^2. Basado en esta curva, los datos de irradiancia y la temperatura, se realiza una corrección de la eficiencia del arreglo fotovoltaico a lo largo de la simulación. La generación fotovoltaica se conectó a la tensión nominal del sistema que son 24.9 kV, con un factor de potencia igual a 1.

Figura 9
Irradiancia 24 de junio 2004 en la región de Arizona.

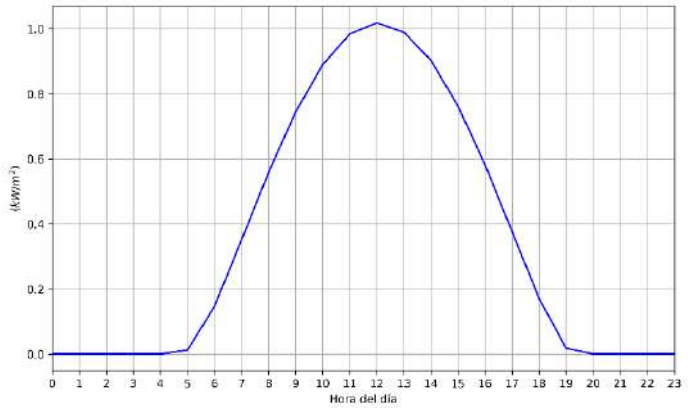
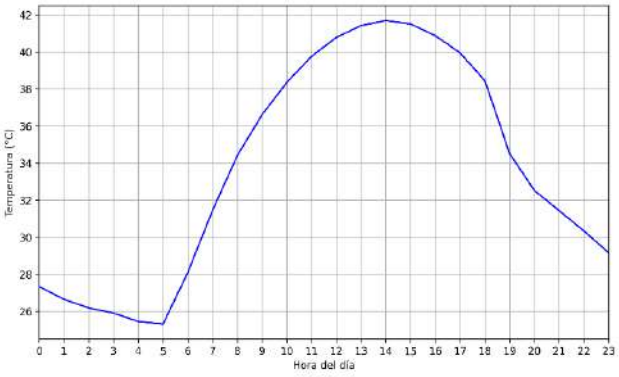


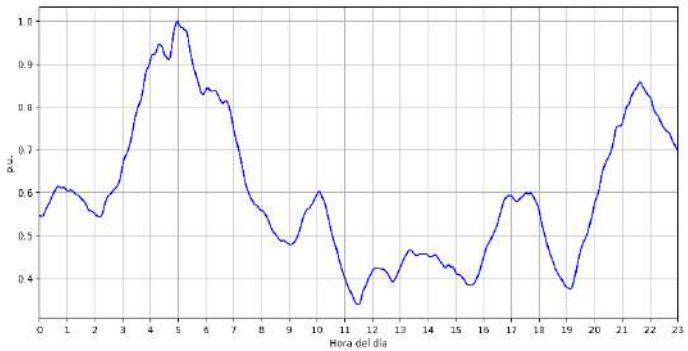
Figura 10
Temperatura 24 de junio 2004 en la región de Arizona.



La generación eólica del nodo 890 está configurada con un punto máximo de potencia de 225 kW, seleccionado con el mismo criterio que la generación fotovoltaica. OpenDSS recibe un arreglo de datos de entrada en p.u. que contiene el perfil de generación basado en la velocidad del viento. El software multiplica este arreglo por el punto máximo de potencia para calcular la potencia producida a lo largo del día. El perfil de generación de energía eólica utilizado en este trabajo fue consultado dentro de la documentación del software. Es un ejemplo teórico que generalmente se utiliza en las simulaciones de generación eólica dentro de OpenDSS y tiene 2501 datos para un día, lo que corresponde a una medición de la velocidad del viento cada 34.55 segundos. La Figura 11 presenta el perfil de la generación eólica. El generador se conectó a una tensión nominal de 4.16 kV y opera en modo de factor de potencia unitario, por lo cual solo se considera que inyecta potencia activa a la red. El modelo del generador eólico que se utilizó para las simulaciones es un modelo simplificado que se utiliza en el software para estudios de flujos de potencia con la capacidad de inyectar una potencia activa constante.

Las simulaciones en OpenDSS se llevaron a cabo utilizando la versión 9.8.0.1 del software. El programa se ejecutó en una computadora basada en el sistema operativo Windows, equipada con un procesador Intel Core i3 de séptima generación y 8 gigabytes de RAM.

Figura 11
Perfil de generación eólica basado en la velocidad del viento.



III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Tabla 1 expone los resultados del caso base presentado anteriormente en la Figura 2, simulado por medio del software OpenDSS. Estos resultados prácticamente coinciden con los publicados por la IEEE (Resources – IEEE PES Test Feeder, s.f.), lo que confirma que el modelo del sistema fue implementado correctamente.

Tabla 1
Resultados caso base simulación instantánea en OpenDSS.

Voltajes nodales	*A-N, θ (p.u., grados)*	*B-N, θ (p.u., grados)*	*C-N, θ (p.u., grados)*
800	1.0484, -0.4	1.0491, -120.3	1.0497, 119.7
802	1.0458, -0.4	1.0476, -120.4	1.0481, 119.6
806	1.0441, -0.5	1.0466, -120.6	1.0471, 119.6
808	1.0122, -1.1	1.0289, -121.3	1.0288, 119.0
810		1.0288, -121.3	
812	0.9752, -2.0	1.0095, -122.2	1.0071, 118.3
814	0.9457, -2.6	0.9942, -123.0	0.9898, 117.7
RG10	1.0167, -2.6	1.0253, -123.0	1.0208, 117.7
850	1.0167, -2.6	1.0253, -123.0	1.0208, 117.7
816	1.0163, -2.7	1.025, -123.0	1.0205, 117.7
818	1.0153, -2.7		
820	0.9915, -2.7		
822	0.9885, -2.7		
824	1.0073, -2.8	1.0157, -123.3	1.0122, 117.4
826		1.0155, -123.3	
828	1.0065, -2.8	1.015, -123.3	1.0115, 117.4
830	0.9887, -3.0	0.9982, -123.7	0.9946, 116.9
854	0.9883, -3.0	0.9978, -123.7	0.9942, 116.9
852	0.9577, -3.5	0.9683, -124.5	0.9649, 116.0
RG11	1.0355, -3.5	1.0349, -124.5	1.0373, 116.0
832	1.0355, -3.5	1.0349, -124.5	1.0373, 116.0
858	1.0332, -3.6	1.0326, -124.6	1.0351, 115.9
834	1.0305, -3.7	1.0299, -124.7	1.0326, 115.8
842	1.0305, -3.7	1.0298, -124.7	1.0326, 115.8
844	1.0303, -3.7	1.0295, -124.7	1.0323, 115.7
846	1.0332, -3.6		
848	1.0306, -3.7	1.0295, -124.8	1.0327, 115.7
860	1.0301, -3.6	1.0294, -124.7	1.0322, 115.8
836	1.0299, -3.6	1.0291, -124.7	1.0321, 115.8
840	1.0299, -3.6	1.029, -124.7	1.0321, 115.8
862	1.0299, -3.6	1.029, -124.7	1.0321, 115.8
838		1.0289, -124.7	
864	1.0332, -3.6		
888	1.0003, -5.0	0.9997, -126.0	1.0024, 114.5
890	0.9199, -5.6	0.9269, -127.0	0.9228, 113.7
856		0.9977, -123.7	

El máximo desbalance en el sistema fue de 1.21% en el nodo 814, este porcentaje se encuentra por debajo 5% recomendado. La Figura 12 muestra la potencia activa que fluye por la red en una escala de kW, mientras que en la Figura 13 se muestran las pérdidas en una escala de W. Estas gráficas son de utilidad para la comparación con la microrred. A mayor espesor de las líneas, mayor es la potencia y las pérdidas, respectivamente. El eje x y el eje y, son coordenadas en kilómetros que forman el circuito de la Figura 2. Los diferentes triángulos de color rojo identifican los transformadores y reguladores del sistema.

Figura 12
Potencia activa del sistema caso base.

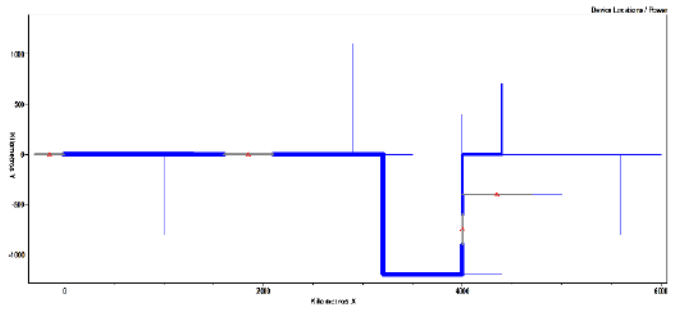
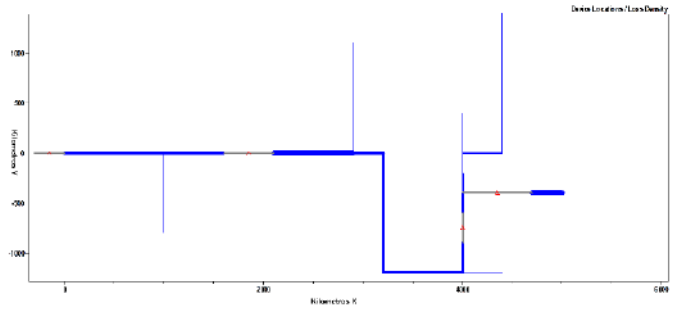


Figura 13
Pérdidas del sistema caso base.



La Figura 14 muestra la tensión del nodo 844 y la Figura 15 muestra la tensión del nodo 890, una vez implementado el perfil de carga en todas las cargas del sistema y realizando una simulación de 24 horas. Obsérvese que aún no se han agregado las fuentes de energía renovable en dichos nodos y el voltaje no se encuentra regulado debido a que los taps de los reguladores son los mismos que en la simulación del caso base. Nótese que, a las 16 horas, cuando la carga es de 1 p.u. (revisar la Figura 7), los resultados en ambas gráficas siguen la misma tendencia que los resultados en la Tabla 1.

Figura 14
Tensión en el nodo 844 con el perfil de carga integrado.

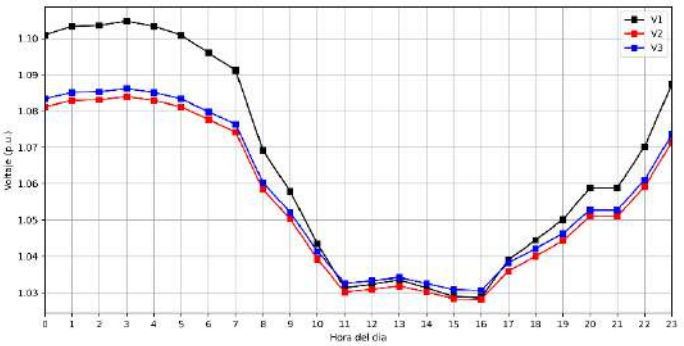
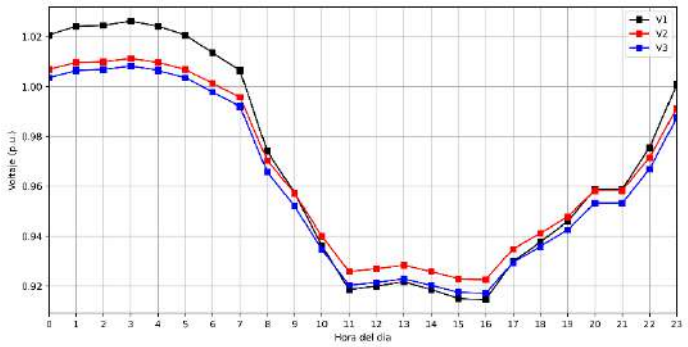


Figura 15
Tensión en el nodo 890 con el perfil de carga integrado.



En ambas gráficas se observa que, al no tener la tensión regulada, ésta se va modificando con respecto al perfil de la carga. La Figuras 16 y 17 muestran las tensiones de los nodos 844 y 890, respectivamente, después de integrar las fuentes de energía renovable y aun sin regulación de tensión.

Figura 16
Tensión en el nodo 844 con fuentes renovables.

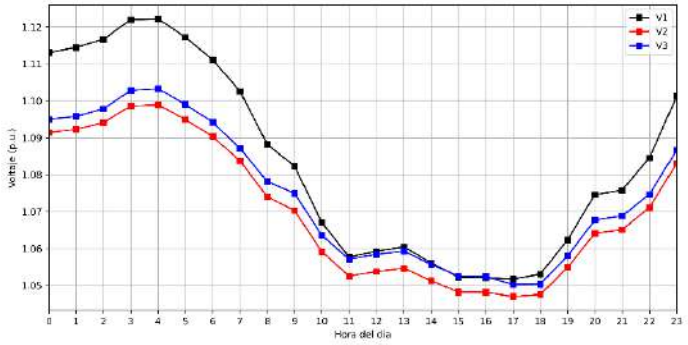
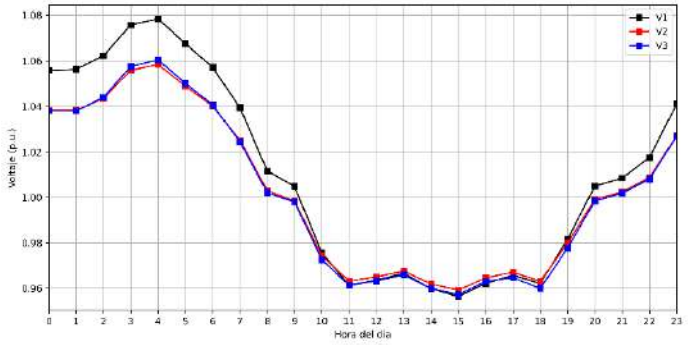


Figura 17
Tensión en el nodo 890 con fuentes renovables interconectadas.



Como se observa, las tensiones en ambos nodos están fuera del rango recomendado, que va de 0.917 p.u. a 1.05 p.u. en sistemas de distribución que incluyen fuentes de generación distribuida en operación normal (IEEE Standard for Interconnection and Interoperability of Distributed Energy Resources with Associated Electric Power Systems Interfaces, 2018). En comparación con las Figuras 14 y 15 se observa que hay un aumento en la tensión a lo largo del día debido a la generación conectada. Sin embargo, es necesario mantener la tensión dentro de rangos adecuados.

Las Figuras 18 y 19 se muestran las tensiones debidamente reguladas de los nodos 844 y 890 con fuentes de generación distribuida. Esto se logró mediante la variación de los taps de los dos reguladores con los que cuenta el sistema.

Figura 18
Tensión regulada en el nodo 844 con fuentes renovables interconectadas.

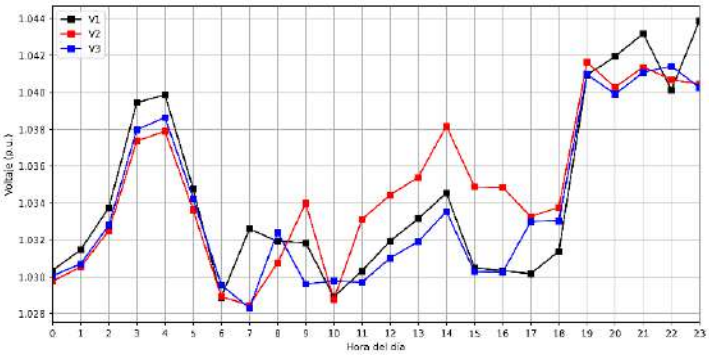
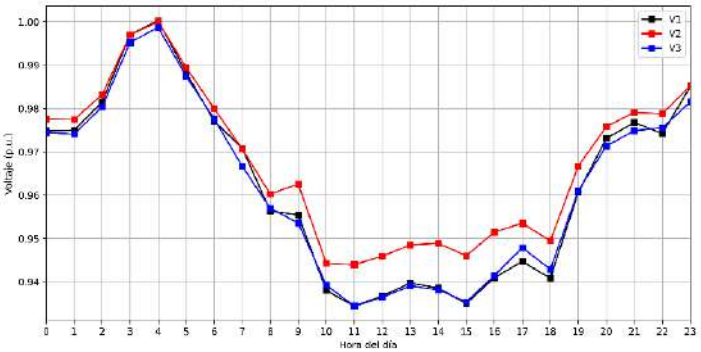


Figura 19
Tensión regulada en el nodo 890 con fuentes renovables interconectadas



En ambos nodos se observa que los valores de tensión a las 15 horas muestran un desbalance más alto. En ese momento de la simulación, hay una carga del 99%, una penetración de la generación fotovoltaica del 76% y 41% de generación eólica. El desbalance en estas condiciones para el nodo 814, el nodo que presentó mayor desbalance, fue de 1.12%, una reducción del 0.09% con respecto del caso base. Este porcentaje sigue dentro del rango máximo permitido del 5% de desbalance. La reducción puede deberse a la penetración de los recursos de generación distribuida en el sistema. Sin embargo, sería necesario un estudio completo acerca del desbalance en el sistema para mayor certeza. Los nodos 844 y 890 presentaron un desbalance de 0.56% y 0.89%, respectivamente.

A las mismas 15 horas se obtuvo la potencia activa (escala en kW) que circula en el sistema, como se muestra en la Figura 20. La Figura 21 ilustra las pérdidas en una escala de W.

Figura 20
Potencia activa del sistema con fuentes renovables (15hrs).

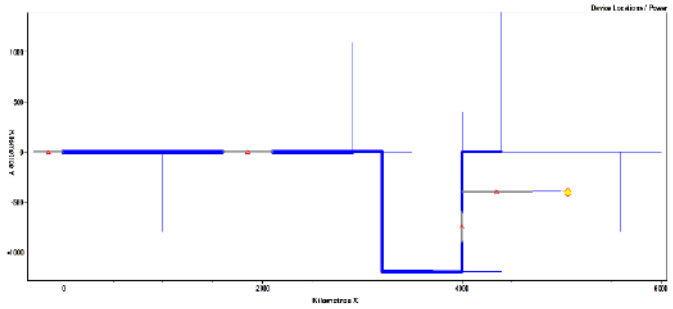
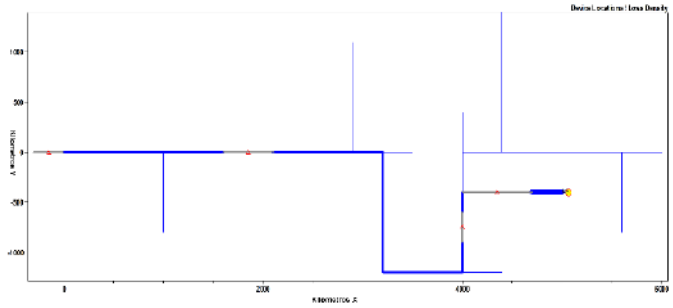


Figura 21
Pérdidas del sistema con fuentes renovables (15hrs).



En ambos casos se observa una disminución si se comparan con las Figuras 12 y 13. Esto se debe a que la potencia activa la proporcionan los recursos de energía fotovoltaica y eólica, lo que resulta en un menor flujo de potencia a través de los alimentadores. Las pérdidas disminuyen en consecuencia de la reducción de la potencia.

IV. CONCLUSIONES

Este artículo presentó la adición de fuentes de generación distribuida al circuito de 34 nodos de la IEEE. Como caso base se tomaron los resultados publicados por la IEEE para ampliar este caso a una simulación de un día. La simulación realizada en OpenDSS demostró el incremento del voltaje en el sistema al conectar generación distribuida y resaltó la importancia de los recursos de control de tensión en los circuitos con penetración de generación fotovoltaica y eólica. En los nodos 844 y 890, se obtuvieron voltajes dentro del rango recomendado por la IEEE a lo largo del día al conectar generación distribuida. Es decir, los resultados de voltaje obtenidos son valores entre 0.917 p.u. y 1.05 p.u. en ambos nodos.

Si bien este es un caso de estudio que contiene datos tanto teóricos como reales, el software OpenDSS resalta como una herramienta poderosa para simulaciones de sistemas eléctricos de potencia. Con datos de circuitos reales, se pueden realizar estudios para la operación y planificación del sistema de distribución, incluyendo las nuevas tecnologías que se integran progresivamente.

Este proyecto se enfoca en una microrred en modo de operación con conexión a la red de distribución. Sin embargo, para estudios futuros, puede considerarse la alternativa de una microrred desconectada de la red principal, funcionando en modo isla. También se pueden explorar trabajos en sistemas de distribución con poca capacidad de regulación de tensión, donde la regulación se realice a través de las mismas fuentes de generación distribuida conectadas al sistema eléctrico.

V. AGRADECIMIENTOS

C. Luna-Aguilera expresa su gratitud al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías por el respaldo financiero recibido a través del “Programa de Becas Nacionales para Estudios de Posgrado” identificado con el número de solicitud 2022-000018-02NACF-08777.

Los autores desean expresar su agradecimiento al TecNM y al Instituto Tecnológico de La Laguna por el apoyo económico proporcionado para la realización de esta investigación.

VI. REFERENCIAS

Ahmad, S., Shafiullah, M., Ahmed, C. B., & Alowaifeer, M. (2023). A Review of Microgrid Energy Management and Control Strategies. *IEEE Access*, *11*, 21729-21757. https://doi.org/10.1109/access.2023.3248511

Chirapongsananurak, P., Santoso, S., Dugan, R. C., & Smith, J. (2012b, July 1). *Voltage regulation in distribution circuits with wind power*. 2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting, San Diego, California, United States of America. https://doi.org/10.1109/pesgm.2012.6345590

EPRI – OpenDSS Documentation. (2023). https://opendss.epri.com/PVSystem.html

Hillberg, E. (2019). *Flexibility needs in the future power system* [Archivo PDF]. https://www.iea-isgan.org/wp-content/uploads/2019/03/ISGAN_DiscussionPaper_Flexibility_Needs_In_Future_Power_Systems_2019.pdf

IEEE Standards Association. (2018). *IEEE Standard for Interconnection and Interoperability of Distributed Energy Resources with Associated Electric Power Systems Interfaces.* DOI: 10.1109/IEEESTD.2018.8332112

IEEE Standards Association. (2019). *IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*. DOI: 10.1109/IEEESTD.2019.8796486

Moreno, R., Trakas, D. N., Jamieson, M., Panteli, M., Mancarella, P., Strbac, G., Marnay, C., & Hatziargyriou, N. (2022). Microgrids against wildfires: Distributed energy resources enhance system resilience. *IEEE Power & Energy Magazine*, *20*(1), 78-89. https://doi.org/10.1109/mpe.2021.3122772

Nie, S., Fu, X. P., Li, P., Gao, F., Ding, C.D., Yu, H., & Wang, C. S. (2012). *Analysis of the impact of DG on distribution network reconfiguration using OpenDSS*. IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies, Tianjin, China. DOI: 10.1109/ISGT-Asia.2012.6303390

Parhizi, S., Lotfi, H., Khodaei, A., & Bahramirad, S. (2015). State of the Art in Research on Microgrids: A Review. *IEEE Access*, *3*, 890-925. https://doi.org/10.1109/access.2015.2443119

Prieto, E., Vidal, A., Clariana, G., Vinyals, G., Villafáfila, R., & Gomis, O. (2015). Desarrollo de una Microrred de laboratorio. Smartgridsinfo. https://www.smartgridsinfo.es/comunicaciones/ii-congreso-sg-desarrollo-de-una-microrred-de-laboratorio

Resources – IEEE PES Test Feeder. (s.f.). https://cmte.ieee.org/pes-testfeeders/resources/

Smith, J. W., Dugan, R., & Sunderman, W. (2011c, July 1). *Distribution modeling and analysis of high penetration PV*. 2011 IEEE Power and Energy Society General Meeting, Detroit, Michigan, United States of America. https://doi.org/10.1109/pes.2011.6039765

Stackhouse, P. (s. f.). *NASA POWER | Data Access Viewer*. https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/

VII. AUTORES

Cristian Luna Aguilera

https://orcid.org/0009-0002-3589-8095

Eli Johnatan Muñoz Luna

https://orcid.org/0009-0001-5990-7139

Concepción Hernández Flores

https://orcid.org/0000-0002-4757-5309

Héctor García Viveros

https://orcid.org/0000-0001-5193-1276

Marco Antonio Arjona López

https://orcid.org/0000-0003-1826-4066

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

Evaluación de Perturbaciones Eléctricas en una Zona del Sistema de Potencia con Baja Robustez y una Central Fotovoltaica

Rodriguez-Amaya, A. J.[1]✉; Sellschopp-Sánchez, F. S.[1], Loera-Palomo, R.[2]; Álvarez-Macias, C.[1]; Lozano-Cuéllar, L[3].

Datos de Adscripción:

[1] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de la Laguna. División de Estudios de Posgrado e investigación, Blv. Revolución y Av. Instituto Tecnológico de la Lagunas s/n, Col. Centro, 27000, Torreón, Coahuila, México.

[2] CONACYT- Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de la Laguna. División de Estudios de Posgrado e investigación, Blv. Revolución y Av. Instituto Tecnológico de la Lagunas s/n, Col. Centro, 27000, Torreón, Coahuila, México.

[3] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de la Laguna, Depto. Eléctrica-Electrónica-Energías Renovables, Blv. Revolución y Av. Instituto Tecnológico de la Lagunas s/n, Col. Centro, 27000, Torreón, Coahuila, México.

✉ m.ajrodrigueza@correo.itlalaguna.edu.mx

Resumen **- Este artículo presenta un estudio sobre la integración de una central fotovoltaica en el sistema eléctrico de potencia IEEE de 14 nodos, enfocándose en su interconexión en una zona de baja robustez debido a la falta de centros de generación. Para la interconexión, se selecciona el bus 13 como el nodo más crítico por los bajos niveles de cortocircuito que se presentan en esa zona. Además, se propone sustituir el generador convencional del bus 2 por una central fotovoltaica con potencia equiparable, manteniendo un control típico de generación a factor de potencia unitario. Para evaluar el comportamiento del sistema, se aplican perturbaciones súbitas en centros de carga cercanos a los generadores, analizando la estabilidad de pequeña señal en diferentes nodos de la red eléctrica. Este estudio se realiza mediante simulaciones utilizando el software PSSE (Power System Simulator for Engineering), modelando las líneas de transmisión y fuentes de generación de acuerdo a lo establecido con el modelo de estado estacionario de la IEEE de 14 nodos. La central fotovoltaica se construye utilizando los modelos estandarizados incorporados en el simulador, y los cambios de carga programados se diseñan para comprometer el perfil de tensión dentro de los límites mínimos permisibles establecidos por los estándares IEEE. Este estudio permite entender el impacto de la integración de centrales fotovoltaicas en zonas con baja robustez y evaluar la viabilidad de reemplazar generadores convencionales, contribuyendo a la mejora de la estabilidad del sistema eléctrico y la integración de energías renovables sin comprometer al SEP.**

Palabras Clave **– Central fotovoltaica, Perturbaciones eléctricas, PSSE, Sistema eléctrico de potencia.**

Abstract **- This paper presents a study on the integration of a photovoltaic power plant in the 14-node IEEE power system, focusing on its interconnection in a low robustness zone due to the lack of generation centers. For the interconnection, bus 13 is selected as the most critical node due to the low short-circuit levels present in that area. In addition, it is proposed to replace the conventional generator on bus 2 with a photovoltaic plant with comparable power, maintaining a typical generation control at unity power factor. To evaluate the behavior of the system, sudden disturbances are applied in load centers close to the generators, analyzing the small signal stability in different nodes of the electrical network. This study is performed through simulations using PSSE (Power System Simulator for Engineering) software, modeling the transmission lines and generation sources as established with the IEEE 14-node steady state model. The PV power plant is constructed using the standardized models built into the simulator, and the scheduled load changes are designed to compromise the voltage profile within the minimum allowable limits established by IEEE standards. This study allows understanding the impact of integrating photovoltaic power plants in areas with low robustness and evaluating the feasibility of replacing conventional generators, contributing to the improvement of power system stability and the integration of renewable energies without compromising the PES.**

Keywords **– Electrical disturbances, Photovoltaic power plant, Power system, PSSE.**

I. INTRODUCCIÓN

Debido a las grandes preocupaciones medioambientales relacionadas con la contaminación y la emisión de gases de efecto invernadero, se ha acelerado la búsqueda de fuentes de energía limpias, seguras, económicas y de bajas emisiones (Alquthami, Ravindra, Steurer, Baldwin 2010). El objetivo es disminuir o reemplazar la generación de energía mediante centrales térmicas por generación con fuentes renovables como la solar fotovoltaica, promoviendo así la conservación y la reducción del uso de combustibles fósiles (Saadat 2010)

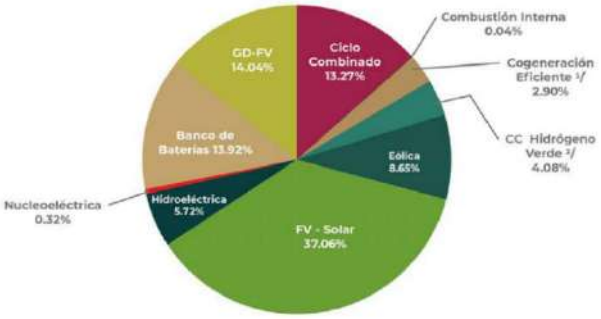
La energía solar fotovoltaica proviene de fuente renovable, por lo tanto, es inagotable y no contaminante, lo cual supone una gran ventaja medioambiental (Fraile 2018). La incorporación de la energía solar fotovoltaica al sistema eléctrico de potencia (SEP) constituye nuevos retos en la operación de los sistemas de potencia (Cárdenas, Echeverría, Cepeda 2014), además de impactar en la estabilidad, confiabilidad y el funcionamiento de la red. La estabilidad de tensión es uno de los parámetros más importantes y en las centrales fotovoltaicas puede plantear problemas técnicos significativos, con repercusiones en la estabilidad del sistema debido a la variabilidad de la generación fotovoltaica (Subramaniam, Safwan, Rahman, Ariffin 2017).

Bajo este contexto, es necesario considerar las características y el comportamiento dinámico de las energías renovables en la confiabilidad de los sistemas de potencia, donde específicamente se tiene generación convencional y renovable (Cárdenas, Echeverría, Cepeda 2014) (Ameur, Loudiyi, Aggour 2017).

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

Con el paso de los años, la incorporación de la energía solar fotovoltaica al SEP se ha vuelto un tema de gran interés. Este interés toma aún más relevancia ante la proyección de una mayor penetración de centrales fotovoltaicas conectadas al sistema de potencia. En México, se tiene previsto que para 2037, el 37.06% de la generación de energía total del país sea a través de la energía solar fotovoltaica, lo que corresponde a una capacidad instalada adicional de 44,347 MW (SENER 2023), Figura 1.

Figura 1
Adición de capacidad por tecnología 2027 – 2037(SENER 2023).



Basado en este contexto de crecimiento es necesario establecer metodologías de incorporación de las fuentes renovables al sistema eléctrico considerando aspectos de problemáticas de operación comunes en las redes eléctricas. Con esto es posible establecer evaluaciones del impacto que tiene una red eléctrica en sus indicadores de operación cuando ocurren perturbaciones y el porcentaje de penetración de las nuevas fuentes renovables se empieza a incrementar.

Por tanto, en este artículo se presenta un estudio de incorporación de una central fotovoltaica al sistema eléctrico de 14 nodos de la IEEE, considerando perturbaciones de pequeña señal como los cambios súbitos de carga. Para ello se utilizó el simulador PSSe de Siemens para modelar la red eléctrica y los elementos de generación convencional, sus controles y las cargas. Así mismo, se utilizó un modelo de fuente de generación fotovoltaica con sus controladores con el objetivo de incorporarlo a la red eléctrica y evaluar el comportamiento dinámico en la estabilización del sistema eléctrico de potencia ante las perturbaciones propuestas

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

El sistema de 14 nodos de la IEEE, Figura 2, se utiliza como caso base para llevar a cabo el estudio, considerando la generación convencional y las cargas establecidas en la literatura de ese modelo. A partir de esto se proponen los cambios súbitos de carga para evaluar cómo las perturbaciones impactan la estabilidad transitoria del SEP. Posteriormente se incorpora la generación fotovoltaica, iniciando con su integración en un nodo de baja robustez o lejano de los centros de generación y después se analiza la sustitución de una central de generación convencional por la fotovoltaica.

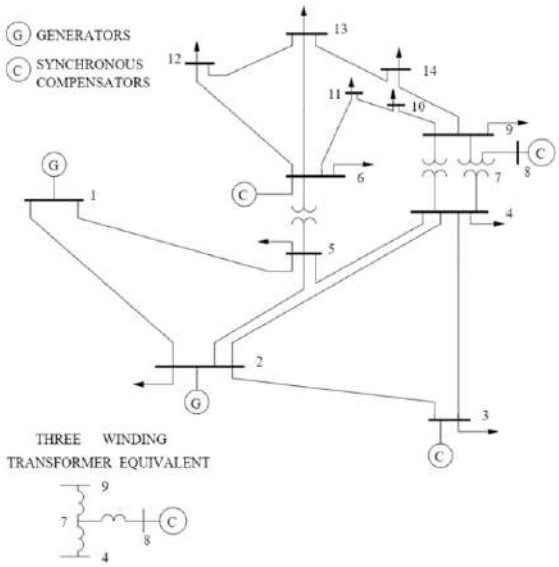
2.1 Modelado de la red en PSSE.

Un modelo en PSS/E es una representación digital simplificada pero muy detallada de un sistema eléctrico de potencia, que incluye todos sus componentes y las interacciones entre ellos. Esto permite realizar simulaciones en diversas condiciones y escenarios para conocer el comportamiento del sistema en su conjunto (Gaurav y Sharik 2017).
Para el modelado del sistema son indispensables algunos componentes como los nodos, que representan los puntos de conexión en la red y se clasifican de la siguiente manera:

- Bus Slack (Nodo de referencia)
- Bus PV (Nodo con generación de potencia activa y voltaje controlado)
- Bus QV (Nodo con potencia activa y reactiva especificada)

Los generadores convencionales se modelan con parámetros como capacidad de potencia activa (MW), potencia reactiva (MVAR), límites operativos y su respectivo control de voltaje. Por su parte, las cargas representan elementos que demandan corriente y se modelan en términos de potencia activa y reactiva. Las líneas de transmisión se encuentran conectadas a los nodos y permiten el flujo de energía a través de ellas, y se modelan con parámetros como la impedancia serie (resistencia y reactancia) y admitancia que se encuentra en derivación. Finalmente, los transformadores son conectados a nodos de diferentes niveles de tensión y son modelados con relaciones de transformación, impedancia serie, parámetros de control de derivación y ajuste de control de voltaje llamado tap (Longatt 2006).

Figura 2
Sistema IEEE 14 Nodos, Data Sheet IEEE 14 NODOS (IEEE 14 Bus System 1993).



Para el estudio propuesto se toma como referencia la red IEEE de 14 buses, Tabla 1, que contiene cinco generadores convencionales, de los cuales uno de ellos es un nodo Slack (Bus de referencia) y los otros cuatro son buses PV (Generador controlado en voltaje), 17 líneas de transmisión con parámetros de impedancias y susceptancias, 11 cargas distribuidas en el sistema con diversas demandas que en total suman 259 MW de potencia activa y 81.3 MVAR de potencia reactiva, Tabla 2, además de los parámetros de transformadores, Tabla 3.

Tabla 1
Potencias y tensión nodal en estado estable. (IEEE 14 Bus System 1993).

Nodo	V (pu)	Δ (Deg)	Pgen	Qgen	Pload	Qload
1	1.060	0	230	−16.9	0	0
2	1.045	0	40	42.4	21.7	12.7
3	1.010	0	0	23.4	94.2	19
4	1	0	0	0	47.8	−3.9
5	1	0	0	0	7.6	1.6
6	1.070	0	0	12.2	11.2	7.5
7	1	0	0	0	0	0
8	1.090	0	0	17.4	0	0
9	1	0	0	0	29.5	16.6
10	1	0	0	0	9	5.8
11	1	0	0	0	3.5	1.8
12	1	0	0	0	6.1	1.6
13	1	0	0	0	13.5	5.8
14	1	0	0	0	14.9	5

Tabla 2
Parámetros de Líneas de Transmisión (IEEE 14 Bus System 1993).

línea	Del bus	Al bus	Impedancia de línea (Pu)		Susceptancia (Pu)	Tap Ratio
			R	X	B	
1	1	2	0.01938	0.05917	0.052800	1
2	1	5	0.05403	0.22304	0.049200	1
3	2	3	0.04699	0.19797	0.043800	1
4	2	4	0.05811	0.17632	0.034000	1
5	2	5	0.05695	0.17388	0.034600	1
6	3	4	0.06701	0.17103	0.012800	1
7	4	5	0.01335	0.04211	0	1
8	4	7	0	0.20912	0	0.978
9	4	9	0	0.55618	0	0.969
10	5	6	0	0.25202	0	0.932
11	6	11	0.09498	0.1989	0	1
12	6	12	0.12291	0.25581	0	1
13	6	13	0.06615	0.13027	0	1
14	7	8	0	0.17615	0	1
15	7	9	0	0.11001	0	1
16	9	10	0.03181	0.08450	0	1
17	9	14	0.12711	0.27038	0	1
18	10	11	0.08205	0.19207	0	1
19	12	13	0.22092	0.19988	0	1
20	13	14	0.17093	0.34802	0	1

Tabla 3
Datos de Transformadores (IEEE 14 Bus System 1993).

Del bus	Al bus	X (pu)	Tap
5	6	0.252020	0.93200
4	9	0.556180	0.96900
4	7	0.209120	0.97800
7	8	0.176150	1
7	9	0.10010	1

2.2 Estabilidad Transitoria

La estabilidad del sistema eléctrico se refiere a la capacidad del sistema eléctrico de regresar a su estado estable tras una perturbación y situarse en otro punto de funcionamiento sin que los generadores pierdan el sincronismo o se produzcan desviaciones en la tensión y la frecuencia en el sistema.
La estabilidad transitoria implica perturbaciones bastante relevantes, severas y repentinas como la pérdida de generación y cambios súbitos en la carga, en este sentido, los generadores del sistema deben volver a un estado de operación síncrono sin perder sincronismo. Evaluando la estabilidad en el periodo inmediato posterior del sistema al ser sometido a una perturbación, que típicamente se sitúa en un lapso de algunos segundos y depende de la capacidad del sistema para regresar a un estado de operación equilibrado, estas perturbaciones, se analizan mediante simulaciones dinámicas y estudios de estabilidad para lograr modelar el comportamiento del sistema bajo diversas condiciones de falla.

La formulación matemática de la estabilidad transitoria es a través de ecuaciones diferenciales (Generador, Excitador y gobernador) y ecuaciones algebraicas (Sistemas de transmisión y distribución al que se encuentran conectados los generadores) que se resuelven en el dominio del tiempo y son representadas por (1) y (2):

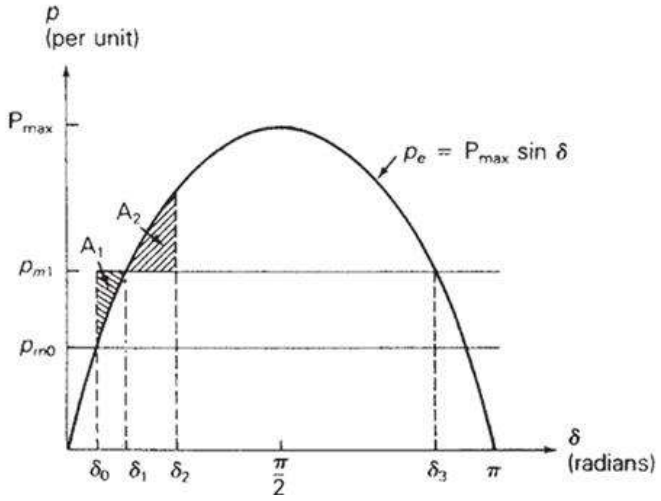
$$X = \dot{F}(X, Y) \quad (1)$$

$$O = G\ (X, Y) \quad (2)$$

2.3 Método de criterio de áreas iguales

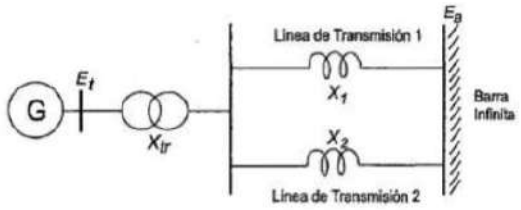
El criterio de áreas iguales es un método gráfico que se utiliza para el análisis de la estabilidad transitoria de los sistemas de potencia, Figura 3. Este criterio es aplicado primordialmente en la evaluación de la estabilidad transitoria de un sistema después de ser sometido a una perturbación como la variación de carga.

Figura 3
$P_e\ y\ P_m\ vs\ Ángulo\ (\delta)\ (Duncan, Overbye, Sarma\ 2017)$



Para este criterio se considera un generador síncrono conectado a bus infinito a través de una reactancia, Figura 4, para verificar la respuesta que presenta el ángulo del rotor del generador. Si las gráficas muestran que el ángulo entre dos máquinas tiende a crecer sin tener algún límite, el sistema será inestable, por otro lado, si después de liberar la falla, el ángulo entre los dos generadores alcanza un valor máximo y finalmente decrece, el sistema es estable, (Stevenson 1994).

Figura 4
Generador síncrono conectado a una barra infinita (Duncan, Overbye, Sarma 2017)



Las ecuaciones para derivar el criterio de áreas iguales para un generador conectado a un bus infinito son las siguientes:

$$\frac{2H}{w_{syn}}\frac{d^2\delta}{dt^2} = P_m - P_e \tag{3}$$

Multiplicado por $\frac{d\delta}{dt}$ y usando (4):

$$\frac{d}{dt}\left[\frac{d\delta}{dt}\right]^2 = 2\left(\frac{d\delta}{dt}\right)\left(\frac{d^2\delta}{dt^2}\right) \tag{4}$$

La ec. (3) se convierte en (5):

$$\frac{2H}{w_{syn}}\left(\frac{d^2\delta}{dt^2}\right)\left(\frac{d\delta}{dt}\right) = \frac{H}{w_{syn}}\frac{d}{dt}\left[\frac{d\delta}{dt}\right]^2 = (P_m - P_e)\frac{d\delta}{dt} \tag{5}$$

Multiplicando (5) por dt e integrando por δ_o a δ, tenemos (6)

$$\frac{H}{w_{syn}}\int_{\delta o}^{\delta} d\left[\frac{d\delta}{dt}\right]^2 = \int_{\delta o}^{\delta}(P_m - P_e) \tag{6}$$

La integración anterior comienza en δ_o cuando $\frac{d\delta}{dt} = 0$, y continua de forma arbitraria δ. Cuando δ alcanza sus valores máximos, denotando δ_o, $\frac{d\delta}{dt}$ =0.

Por lo tanto, el lado izquierdo de (6) es igual a 0 por $\delta = \delta_2$

$$\int_{\delta_o}^{\delta_2}(P_m - P_e)d\delta = 0 \tag{7}$$

Separando esta integral en áreas positivas (Aceleración) y negativas (Desaceleración) se obtiene el criterio de áreas iguales (8):

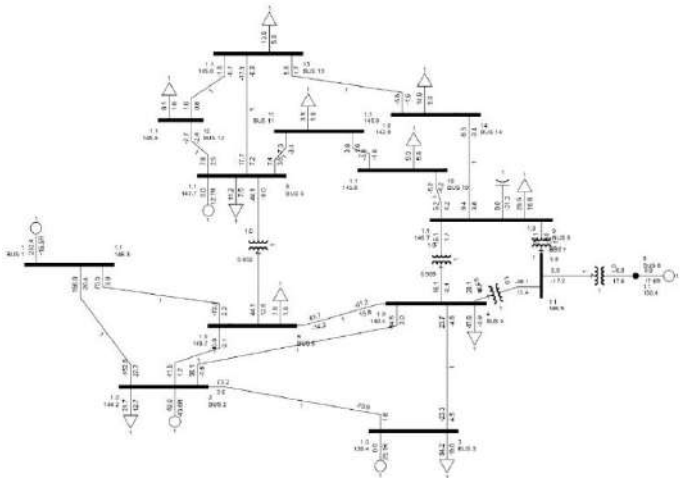
$$\int_{\delta_o}^{\delta_1}(P_m - P_e)d\delta = \int_{\delta_1}^{\delta_2}(P_e - P_m)d\delta \tag{8}$$

2.4 Variación de carga

Las variaciones súbitas de carga en los sistemas de potencia son fenómenos que afectan en cierta medida la operación y estabilidad del sistema, principalmente en enlaces o nodos que presentan susceptibilidad a las perturbaciones. Ante una modificación súbita de carga en el sistema, se espera una variación en la tensión por el cambio súbito de la corriente, lo que deriva en una alteración en las cargas mecánicas de las turbinas de los generadores provocando bamboleos mecánicos que se traducen en oscilaciones de potencia eléctrica. Estos cambios súbitos de carga demandan energía de manera repentina, por lo que, los sistemas de control del generador no pueden reaccionar con tal rapidez debido a los accionamientos propios del generador, es por ello que las masas rotativas de los generadores se convierten en elementos que proporcionan la energía almacenada a través de la misma inercia de la masa rotativa, dando soporte inicial a parte del transitorio presentado por dicho cambio súbito, (Sanz 2023)

Al incorporar las nuevas fuentes renovables al esquema de centrales de generación que aportan energía al SEP, se provoca un desplazamiento de las centrales de generación convencional, y en consecuencia se va perdiendo parte de la energía cinética que contiene el sistema; la pérdida de la inercia conlleva que los fenómenos transitorios presenten modificaciones en los comportamientos, los cuales son parte del estudio que se presenta en este artículo.

Figura 5
Sistema IEEE 14 Nodos en PSS/E, elaboración propia, utilizando PSSE Xplore 35.5.



Para estudiar el comportamiento dinámico del SEP es necesario considerar los modelos dinámicos para la generación convencional con máquinas síncronas como el excitador y gobernador, incluidos en el paquete de PSS/E (GENTPJ1, IEEET1, TGOV1). En cuanto a la central fotovoltaica que se propone incorporar, es construida con modelos cargados de la librería de modelos del mismo simulador (PVGU1, PVEU1, PANELU1 e IRRADU1) y los cambios de carga programados para comprometer los límites mínimos de tensión permisibles dados estándares IEEE.

2.5 Modelo de generación convencional

La construcción del modelo de generación convencional tiene como componente principal al generador síncrono, junto con el sistema de excitación para controlar el voltaje terminal y el regulador de velocidad para controlar la entrada de energía mecánica al generador llamado gobernador.

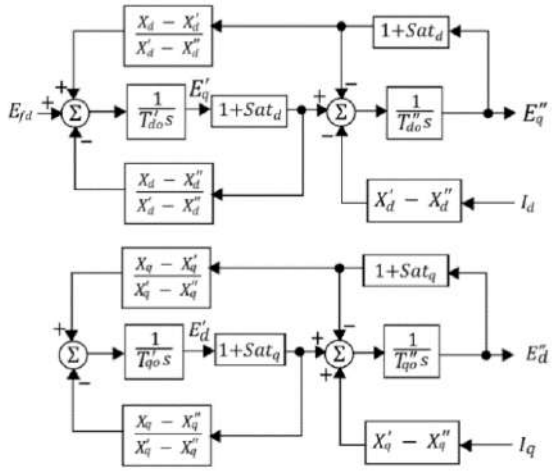
A. *Modelo del Generador síncrono (GENTPJ).*

El modelo GENTPJ1 es un modelo de generador síncrono desarrollado por WECC (Western Electricity Coordinating Council), es una versión diseñada para capturar con mayor

precisión las características dinámicas de los generadores en situaciones transitorias, considerando las características electromecánicas del mismo; La Figura 6 y Tabla 4 muestran el diagrama de bloques y los parámetros del generador, respectivamente.

Figura 6

Modelo del Generador – Generación convencional GENTPJ. (PSSE Model Library 35.5).



El modelo es utilizado para simular la respuesta del generador ante perturbaciones como variaciones de carga en la red. (Adam y james 2015)

Tabla 4

Datos para modelo GENTPJ1 (PSSE Model Library 35.5).

Parámetro	*Valor*	*Parámetro*	*Valor*
$T'do$	4.8	$X'q$	0.47
$T''do$	0.0350	$X''d$	0.23
$T'qo$	1.5	$X''q$	0.23
H	3.2	XI	0.15
D	0	$S(1.0)$	0.1
Xd	1.8	$S(1.2)$	0.4
Xq	1.75	Kis	0.1
$X'd$	0.3		

B. Modelo del excitador (IEEET1).

El modelo IEEET1 simula el sistema de excitación del generador, este controla el voltaje terminal del generador ajustando la corriente de campo, Figura 7. El control previamente mencionado es esencial para lograr mantener la estabilidad del voltaje en terminales del generador y su respuesta dinámica ante perturbaciones en el sistema eléctrico, (Eduardo 2005). Los parámetros de este modelo se muestran en la Tabla 5.

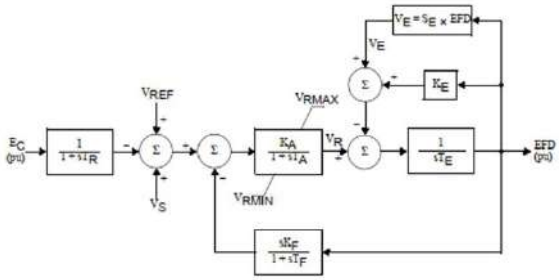
Tabla 5

Datos para modelo IEEET1 (PSSE Model Library 35.5).

Parámetro	*Valor*	*Parámetro*	*Valor*
TR	0.06	KF	0.1
KA	20	TF	0.67
TA	0.01	$Switch$	0
$VRMAX$	5	$E1$	3
$VRMIN$	-6	$SE(E1)$	0.09
KE	1	$E2$	4
TE	0.67	$SE(E2)$	0.3680

Figura 7

Modelo del excitador – Generación convencional IEEET1 (PSSE Model Library 35.5).



El modelo TGOV1 representa un regulador de velocidad típico para simular el comportamiento dinámico de los generadores ante perturbaciones como variación de carga, auxilia en el control de la velocidad y por consecuencia a la frecuencia del generador síncrono, Figura 8. Los parámetros del gobernador se muestran en la Tabla 6.

Figura 8

Modelo del gobernador – Generación convencional TGOV1 (PSSE Model Library 35.5).

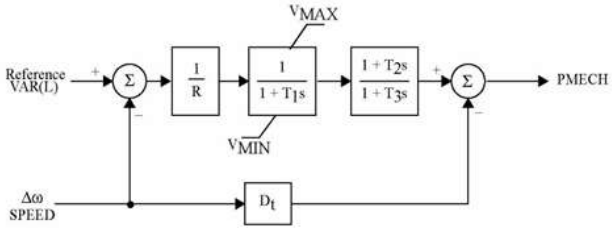


Tabla 6

Datos para modelo TGOV1 (PSSE Model Library 35.5).

Parámetro	*Valor*	*Parámetro*	*Valor*
R	0.05	$T2$	3.2
$T1$	0.05	D	1
$X\ MAX$	1.05	$T3$	2.1
$V\ MIN$	0.3	Dt	0

2.6 Modelos de generación fotovoltaica

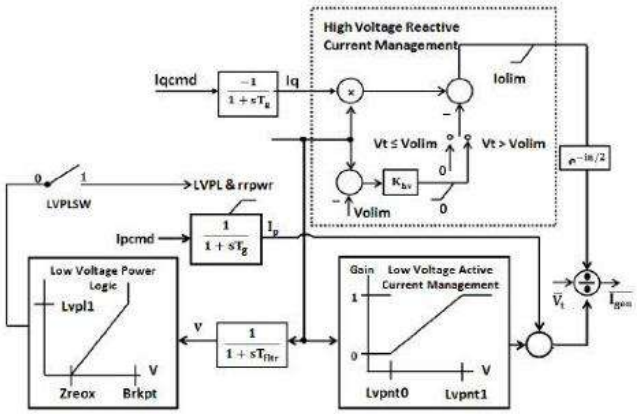
La construcción de los modelos fotovoltaicos juega un papel fundamental para la simulación y el análisis del comportamiento de plantas solares fotovoltaicas. Éstas la constituyen principalmente el generador fotovoltaico, junto con el control eléctrico del convertidor, las características del comportamiento del módulo solar y la respuesta a las condiciones ambientales como el perfil de irradiación recibida. (Sanz 2023)

A. Modelo del generador fotovoltaico (PVGU1).

El modelo PVGU1 (Photovoltaic Generator Unit Model) representa el comportamiento dinámico del generador fotovoltaico, incluyendo al inversor para la transformación de energía, Figura 9. Este modelo permite la inyección de potencia activa y reactiva a la red eléctrica, mediante esquemas de control específicos, como el control a factor de potencia unitario, control de reactivos, entre otros, (Ago 2020). Los parámetros de este modelo se muestran en la Tabla 7.

Figura 9

Modelo del generador – Generación FV PVGU1 (Ago 2020).



Tabal 7

Datos para el modelo PVGU1 (Ago 2020).

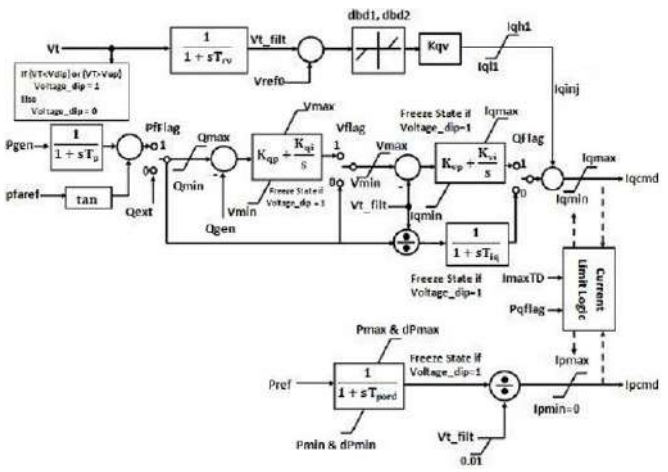
Parámetro	*Valor*
$TIQCmd$	0.02
$TIpCmd$	0.02
$VLVPL1$	0.40
$VLVPL2$	0.90
$GLVPL$	1.11
$HVRC$	1.20
$CURHVRCR$	2
RIp_LVPL	2
T_LVPL	0.02

B. Modelo eléctrico (PVEU1)

El modelo PVEU1 (Photovoltaic Electrical Control Unit Model) representa la unidad de control eléctrico del sistema fotovoltaico, Figura 10. El modelo gestiona el control del inversor en términos de la regulación de tensión y la respuesta de la frecuencia, (Ago 2020). Los parámetros de este modelo se muestran en la Tabla 8.

Figura 10

Modelo eléctrico – Generación Fotovoltaica PVEU1 (Ago 2020).



Tabal 8

Datos para el modelo PVEU1 (Ago 2020).

Parámetro	*Valor*	*Parámetro*	*Valor*
Tfv	0.15	$dPMN$	-0.5
Kpv	18	T_POWER	0.5
Kiv	5	KQi	0.1
Kpp	0.05	$VMINCL$	0.90
Kip	0.1	$VMAXCL$	1.10
Kf	0	KVi	120
Tf	0.08	Tv	0.05
QMX	0.47	Tp	0.05
QMN	-0.47	$ImaxTD$	1.70
$IPMAX$	1.10	$Iphl$	1.11
TRV	0	$Iqhl$	1.11
$dPMX$	0.5	$PMAX\ of\ PV\ plant$	42

C. Modelo del panel (PANELU1).

El modelo PANELU1 (Photovoltaic Panel Model) representa el comportamiento de los módulos solares, ligando aspectos como la eficiencia del módulo y su respuesta ante las condiciones de temperatura e irradiancia, Tabla 9, (GRIDSOL 2019).

Tabla 9

Datos para modelo PANELU1 (Ago 2020).

Parámetro	*Valor*
$P200, PDCmax\ at\ 200\ W/m^2$	0.16
$P400, PDCmax\ at\ 400\ W/m^2$	0.38
$P600, PDCmax\ at\ 600\ W/m^2$	0.59
$P800, PDCmax\ at\ 800\ W/m^2$	0.85
$P1000, PDCmax\ at\ 1000\ W/m^2$	1

D. Modelo para la irradiación solar (IRRADU1).

El modelo IRRADU1 simula la variación de la irradiancia solar recibida por los módulos solares, este modelo es fundamental para la evaluación del impacto de las fluctuaciones de irradiancia en la generación fotovoltaica; sus parámetros se muestran en la Tabla 10. (GRIDSOL 2019)

Tabla 10

Datos para modelo IRRADU1 (Ago 2020).

Parámetro	*Valor*	*Parámetro*	*Valor*
$T1$	5	$T6$	30
$I1$	1000	$I6$	600
$T2$	10	$T7$	35
$I2$	900	$I7$	700
$T3$	15	$T8$	0
$I3$	850	$I8$	0
$T4$	20	$T9$	0
$I4$	800	$I9$	0
$T5$	25	$T10$	0
$I5$	700	$I10$	0

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este trabajo se proponen tres casos de estudio, tomando como base el sistema IEEE de 14 nodos con generación convencional, partiendo del SEP en estado estacionario determinado en la literatura. Para analizar los efectos transitorios de las perturbaciones, se proponen 3 cambios súbitos de carga con duración de 30 ciclos. Los eventos propuestos son la

modificación de la carga en el bus 4, teniendo pérdida de carga, llegando al 35% y 70% y en el otro evento se presenta incremento súbito de carga llegando al 135%.
Los 3 casos de estudio que se proponen se evalúan con los 3 eventos de carga, los cuales son:

- Caso Base: Generación convencional.
- Caso FV13: Generación convencional integrando generación fotovoltaica en bus 13.
- Caso FV2: Sustitución de generación convencional en bus 2 con generación fotovoltaica.

La central de generación fotovoltaica propuesta presenta una potencia de generación de 40 MW y factor de potencia unitario, equiparable a la central de generación convencional instalada en bus 2.
El objetivo de estudiar estos casos es analizar y comparar el comportamiento dinámico de los buses del sistema, seleccionando solo dos de ellos debido al impacto que se obtuvo al simular el caso base; se tratan del bus 1 (Slack) y el bus 4, donde se aplican directamente variaciones de carga del 35%, 70% y un aumento del 135%, para comprometer el perfil de tensión en relación con los límites mínimos permisibles según los estándares IEEE.

2.7 Evaluación de perfiles de tensión

Para cada evento de carga se realiza la evaluación de los 3 casos de estudio, con esto se propone analizar los perfiles de la tensión en los buses de interés. Se revisa que los perfiles de tensión se encuentren dentro de los rangos permisibles y ante el cambio súbito de carga que tiene una duración de 30 ciclos, viene el restablecimiento del sistema. Debido a esto se presentan oscilaciones transitorias en la tensión las cuales también se evalúan sus variaciones porcentuales y la duración de las oscilaciones. En las Figuras 11, 12 y 13, se muestran los perfiles de tensión de los tres distintos casos ante una pérdida de carga del 35%, 70% y un aumento del 135% respectivamente en el bus 4.

Figura 11
Perfil de tensión ante variación de carga del 35%, elaboración propia en MATLAB R2020a.

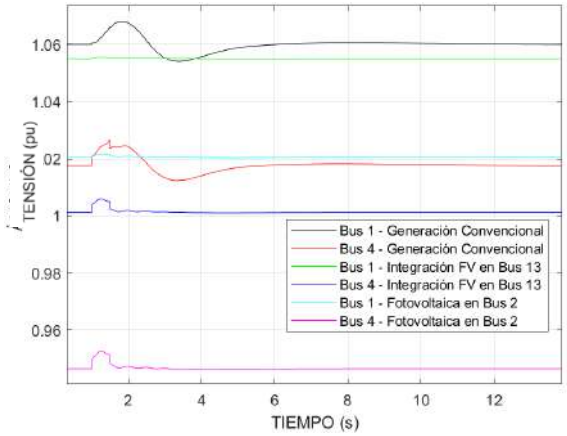


Figura 12
Perfil de tensión ante variación de carga del 70%, elaboración propia en MATLAB R2020a.

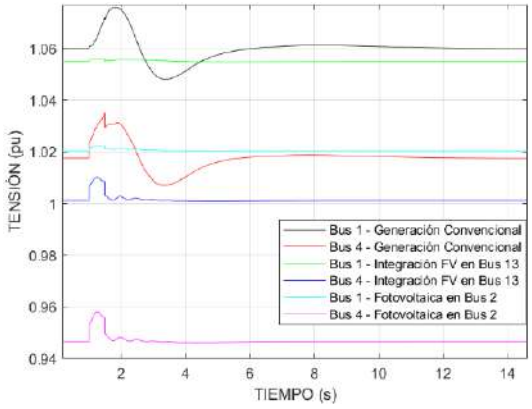
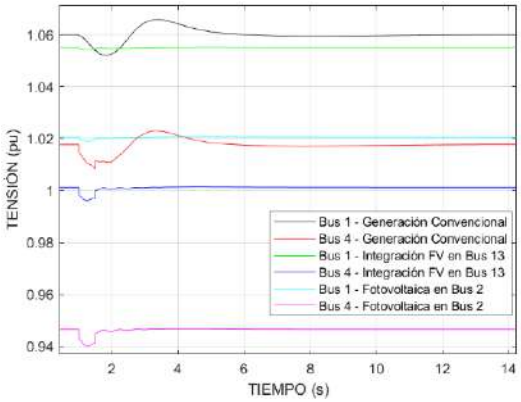


Figura 13
Perfil de tensión ante variación de carga del 135%, elaboración propia en MATLAB R2020a.



2.8 Desviación de tensión porcentual

Con la finalidad de evaluar el impacto de las perturbaciones se revisan las desviaciones porcentuales de las tensiones; las Figuras 14, 15 y 16 muestran los resultados de estas desviaciones.

Figura 14
Desviación de Tensión ante variación de carga al 35% en bus 4, elaboración propia en MATLAB R2020a.

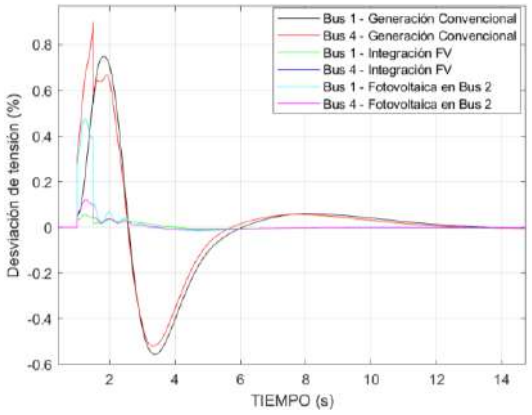


Figura 15
Desviación de Tensión ante variación carga al 70% en bus 4, elaboración propia en MATLAB R2020a.

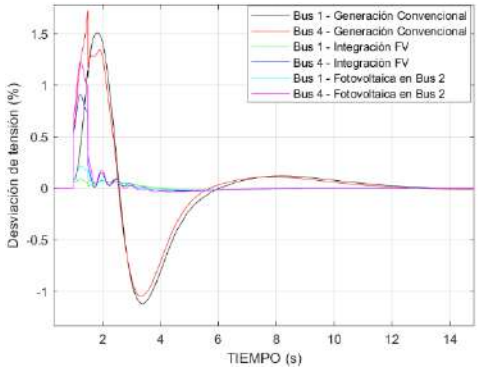
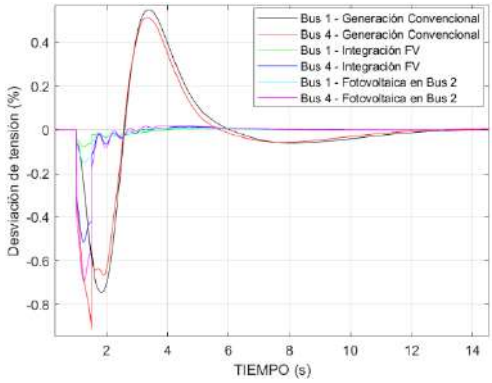


Figura 16
Desviación de Tensión ante variación de carga al 135% en bus 4, elaboración propia en MATLAB R2020a.



2.9 Evaluación de ángulos de carga en generadores

Se realiza la evaluación de los ángulos de carga de generadores, así como los ángulos de tensiones nodales proporcionan una medida del impacto de las perturbaciones en el sistema eléctrico después de una perturbación.

A. *Ángulos de carga en generadores con generación convencional.*

En las Figuras 17, y 18 se muestran los perfiles de ángulos de carga de la generación convencional ante variación de carga del 70% y 135%.

Figura 17
Perfil de ángulo de carga ante variación de carga al 35% con generación convencional, elaboración propia en MATLAB R2020a.

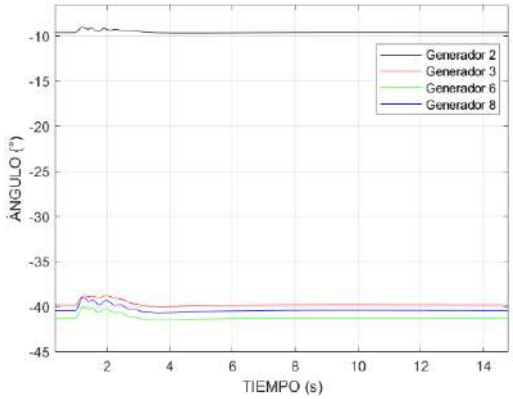
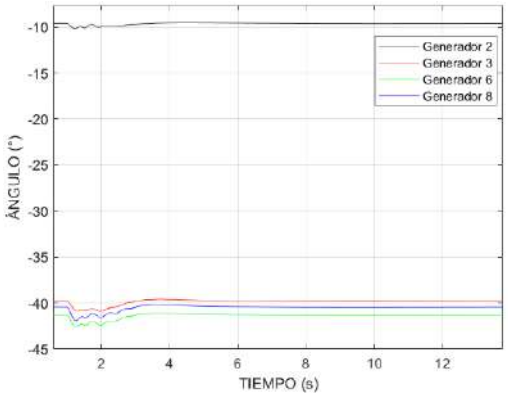


Figura 18
Perfil de ángulo de carga ante variación de carga al 135% en bus 4 con generación convencional, elaboración propia en MATLAB R2020a.



De manera visualmente más clara, en la Figura 19 y 20 se muestran las desviaciones de ángulos de carga del caso 1, generación convencional.

Figura 19
Desviación de ángulo de carga ante variación de carga al 35% en bus 4 con generación convencional, elaboración propia en MATLAB R2020a.

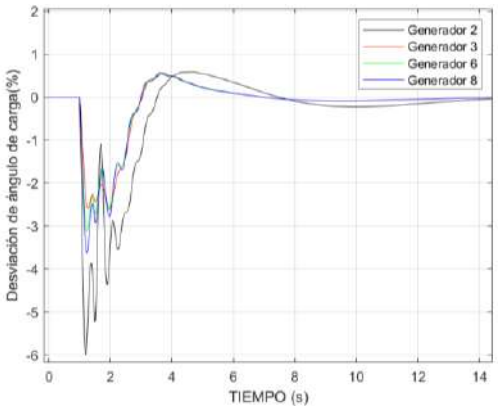
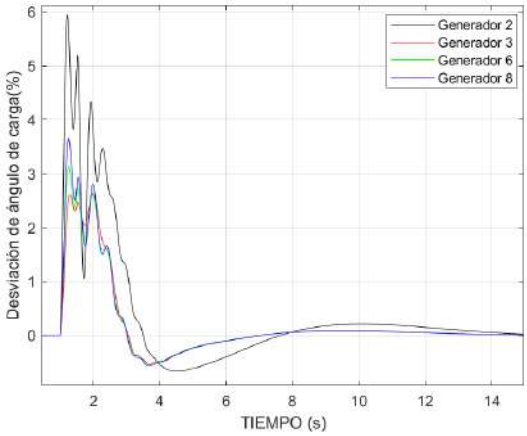


Figura 20
Desviación de ángulo de carga ante variación de carga al 135% en bus 4 con generación convencional, elaboración propia en MATLAB R2020a.



B. *Ángulos de carga en generadores con integración FV en bus 13.*

En las Figuras 21 y 22 se muestran los perfiles de ángulo de carga del caso 2, integración FV en bus 13.

Figura 21

Perfil de ángulo de carga ante variación de carga al 70% en bus 4 con integración FV en bus 13, elaboración propia en MATLAB R2020a.

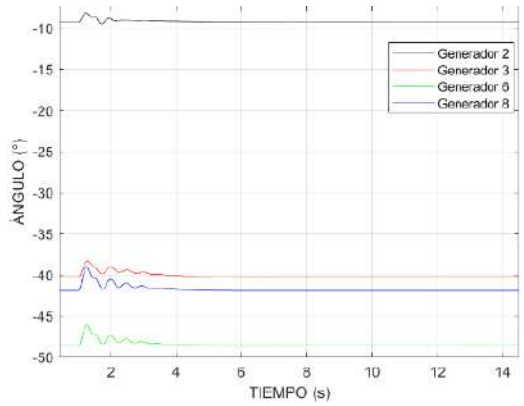
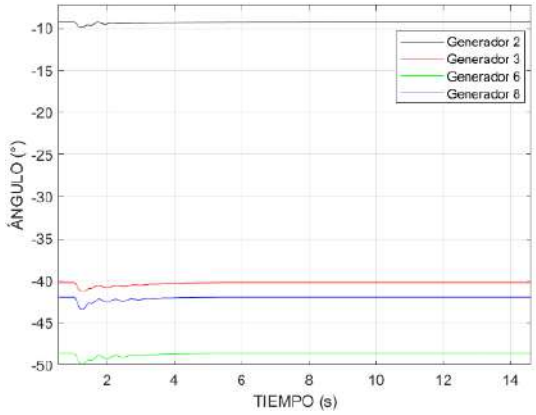


Figura 22

Perfil de ángulo de carga ante variación de carga al 135% en bus 4 con integración FV en bus 13, elaboración propia en MATLAB R2020a.



En la Figura 23 y 24 se muestran la desviación de ángulos de carga del caso 2, integración FV en bus 13.

Figura 23

Desviación de ángulo de carga ante variación de carga al 70% en bus 4 con integración FV en bus 13, elaboración propia en MATLAB R2020a.

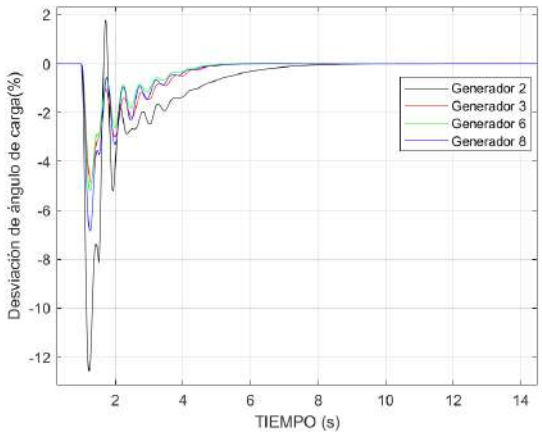
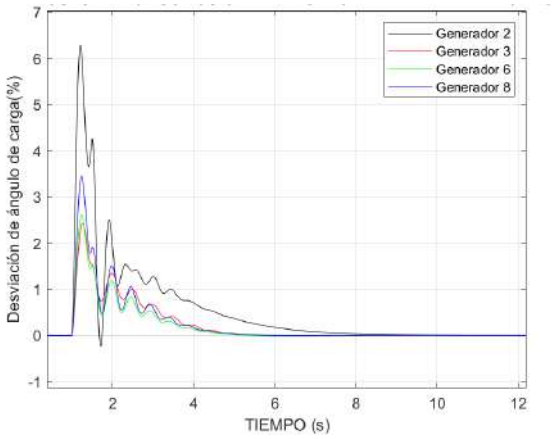


Figura 24

Desviación de ángulo de carga ante variación de carga al 135% en bus 4 con integración FV en bus 13, elaboración propia en MATLAB R2020a.

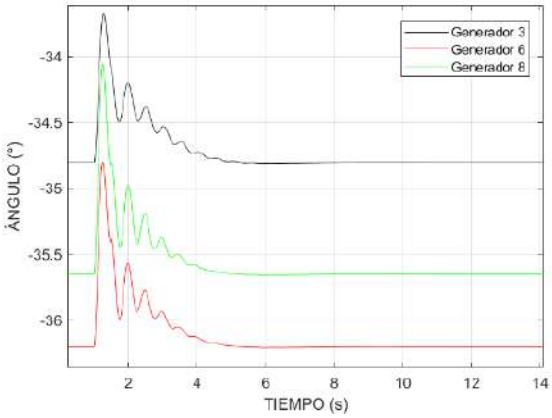


C. Ángulo de carga en generadores desplazando generación convencional por generación FV en bus 2.

En las Figura 25 se muestra el perfil de ángulo de carga del caso 3, despalazando generacion convencional.

Figura 25

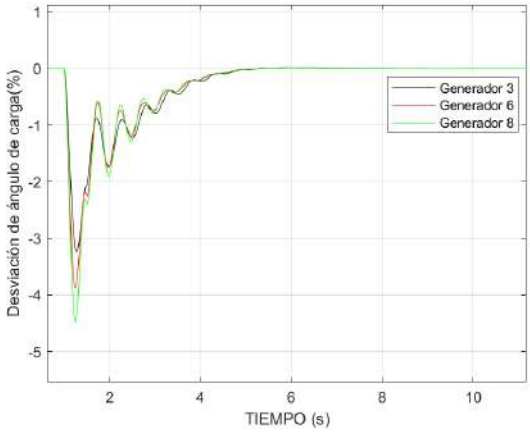
Perfil de ángulo de carga ante variación de carga al 35% en bus 4 al desplazar convencional por FV, elaboración propia en MATLAB R2020a.



En la Figura 26 se muestran la desviación ángulos de carga del caso 3, desplazando generación convencional por FV en bus 2.

Figura 26

Desviación de ángulo de carga ante variación de carga al 35% en bus 4 al desplazar convencional por FV, elaboración propia en MATLAB R2020a.



IV. CONCLUSIONES

El análisis realizado en la red eléctrica de 14 nodos de la IEEE, proponiendo los 3 casos de estudio con los 3 eventos de cambios de carga permite visualizar lo siguiente: La generación convencional presenta los mejores perfiles de tensión en los dos nodos estudiados y al aplicar los cambios de carga, se presentan oscilaciones transitorias suaves pero algo pronunciadas, en cambio, al sustituir la generación convencional por la fotovoltaica, caso FV2, se tiene un bajo perfil de tensión y la mitigación de la perturbación es algo abrupta, pudiendo esto representar un problema de recuperación súbita de tensión, en donde equipo de alta sensibilidad pudiera reconocerlo como problema de calidad de energía. Sin embargo, las perturbaciones propuestas con los cambios de carga pueden representar cambios marginales que no comprometen la estabilidad del sistema eléctrico.

La integración de centrales fotovoltaicas trae con ella muchos desafíos en el sistema eléctrico, es crucial implementar estrategias de mitigación y regulación para asegurar que la red opere de manera estable, manteniendo la confiabilidad del SEP.

V. AGRADECIMIENTOS

Rodriguez-Amaya, A.J agradece al Tecnológico Nacional de México (TecNM) campus Laguna (ITL); así como al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT), por proporcionar los recursos económicos, literarios y de infraestructura para realizar la publicación del presente trabajo, a través de la División de estudios de Posgrado de esta institución educativa.

Especialmente, se agradece a la familia y docentes por el apoyo brindado en este trabajo.

VI. REFERENCIAS

Duncan J, Overbye T, Sarma M. *Power System Analysis and Design. 6.a ed).*

Sauer, W y Pai, M.A. (1997). *Power System Dynamics and Stability.*

Saadat, H. (2010). *Power System Analysis* (3.a ed.).

John, G y Stevenson, W. (1994). *Power System Analysis.*

Ameur A, Loudiyi K, Aggour M. (2017) *Steady State and Dynamic Analysis of Renewable Energy Integration into the Grid Using PSS/E Software.* ELSEVIER.

Alquthami T, Ravindra H, Faruque M.O, Steurer M, Baldwin T. (2010). *Study of photovoltaic integration impact on system stability using custom model of PV arrays integrated with PSS/E,* http://doi.org/.1109/NAPS.2010.5619589.

Adam, B y James, D. (2015). *Impact of Synchronous Generator Model GENTPJ on System Dynamics.* University of Illinois at Urbana-Champaing.

Ago, E. (2020). Impact of inertia parameter of different Hydro Generator models in power stability of Photovoltaic Power Stability of Photovoltaic *Power Plants ResearchGate.* https://doi.org/10.6084/m9.figshare.12275615

Cardenas V, Echeverria D, Cepeda J. (2015). *Análisis de confiabilidad de la generación considerando el Ingreso de Energías Renovables no convencionales en los Sistemas de Potencia*. Revista Técnica "Energía". N| 11, Pp. 101-107.

Essam Z, Aziz A, Ishaq J, Abdulaziz M. (2016). Voltage Stability Improvement In Transmission Networks Embedded with Photovoltaic Systems. Saudi Electricity Company.

Longatt, F y Palencia, E. (2006). Desarrollo de un Programa de Cálculo de Flujos de Potencia en Sistemas de Distribución. Congreso iberoamericano de estudiantes de ingeniería eléctrica (III CIBELEC 2008)

Mena, S y Cañizares, C. (2003). Modeling and simulation of IEEE 14 Bus System With Facts Controllers.

Subramaniam T, Muhamad S, Rahman A, Ariffin A. (November 2017). An Investigation on the Power System Stability of Photovoltaic Grid Integrated System. Faculty of Engineering and Built Enviroment.

Gaurav, B. y Shaik, A. (2017). Analysis of Large Scale PV Penetration Impact on IEEE 39 – Bus Power System. Dept. of Electrical Enineering.

Fraile Gutiérrez, C (2018). La energía eléctrica FV y el sistema eléctrico de potencia. [Tesis de Ingeniería, Universidad Valladolid]. https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/28966/TFG-P-746.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Fuentes Soto, C.E. (2005). Propuesta de Cambio de un Sistema de Excitación Dinámico en un Generador Síncrono, por un Sistema de Excitación Estático de una Planta de Generación Eléctrica. [Tesis de Ingeniería, Universidad San Carlos de Guatemala].

Sanz, D.D. (2023). Modelización y simulación de plantas de generación renovable con almacenamiento. [Tesis de maestría, Universitario en integración de las energías renovables en el sistema eléctrico]

Tanelema, E. (2019). Simulación de flujos en sistemas eléctricos de potencia usando métodos completos, desacoplados y linealizados. [Tesis de ingeniería, Universidad politécnica Salesiana].

GRIDSOL. Smart Renewable Hubs for Flexible Generation – Solar Grid Stability [Archivo PDF] www.gridsolproject.eu/wp-content/uploads/2020/04/D9.7_Dissemination-Final-Report.pdf

Programa de Desarrollo del Sistema Electrico Nacional 2023 – 2037. [Archivo PDF] https://www.gob.mx/sener/articulos/programa-de-desarrollo-del-sistema-electrico-nacional-2023-2037

IEEE 14 Bus System. (1992). Illinois Center For A Smarter Electric Grid (ICSEG). Recuperado 8 de julio de 2024, de https://icseg.iti.illinois.edu/ieee-14-bus-system/

WECC. Solar Photovoltaic Power Plant Modeling and Validation Guideline. [Archivo PDF] https://www.wecc.org/Reliability/Solar%20PV%20Plant%20Modeling%20and%20Validation%20Guidline.pdf

MATLAB. (2020). Versión R2020a. Natick, Massachusetts: The MathWorks Inc.

Siemens Power Technologies PSS/E Xplore, versión 35.5

Siemens Power Technologies PSS/E Xplore 35.5, MODEL LIBRARY.

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

VII. AUTORES

Alan Jair Rodríguez Amaya

https://orcid.org/0009-0003-7036-0351

Francisco Sergio Sellschopp Sánchez

https://orcid.org/0000-0003-3516-3523

Rodrigo Loera Palomo

https://orcid.org/0000-0003-4586-3523

Carlos Álvarez Macías

https://orcid.org/0000-0002-2263-0316

Leticia Lozano Cuellar

https://orcid.org/0009-0003-6471-9655

Determinación de los Flujos de Potencia en una Red Eléctrica Utilizando el Método de Desacoplado Rápido en Python

Muñoz-Luna, E.J.[1] ✉; Luna-Aguilera, C.[1]; Hernández-Flores, C. [1]; Arjona-López, M. A. [1]

Datos de Adscripción:
[1] Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de La Laguna, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Blvd. Revolución y Av. Instituto Tecnológico de La Laguna, C.P. 27000, Torreón, Coahuila, México.
✉ johnamn97@gmail.com

Resumen - **El método de desacoplado rápido se emplea en los sistemas eléctricos de potencia como una técnica numérica para aumentar la velocidad y eficiencia en el cálculo de flujos de potencia en la red. Este artículo presenta el análisis y la implementación del método de desacoplado rápido mediante una herramienta computacional desarrollada en Python. Se describe el modelo matemático utilizado para simular, calcular y evaluar el comportamiento de sistemas de buses establecidos por la IEEE. Se analiza la convergencia del método considerando los efectos de acoplamiento entre las variables del sistema, como la tensión y la potencia. Además, se detalla la metodología de desarrollo del código utilizando módulos y librerías como NumPy, SciPy y Pandas. Los resultados obtenidos se comparan con el software OpenDSS, mostrando la precisión y eficiencia del algoritmo implementado en Python. Finalmente, se destacan las ventajas del uso de Python en términos de flexibilidad, adaptabilidad y eficiencia en la simulación y análisis de sistemas eléctricos de potencia.**

Palabras Clave: **Algoritmo de flujos de potencia, Método de Desacoplado Rápido, Python, Simulador de redes eléctricas, Sistemas Eléctricos de Potencia.**

Abstract **- The fast decoupled method is used in power systems as a numerical technique to increase the speed and efficiency of power flow calculations in the network. This article presents the analysis and implementation of the fast decoupled method using a computational tool developed in Python. The mathematical model used to simulate, calculate, and evaluate the behavior of bus systems established by the IEEE is described. The convergence of the method is analyzed considering the coupling effects between system variables, such as voltage and power. Additionally, the methodology for developing the code using modules and libraries such as NumPy, SciPy, and Pandas is detailed. The results obtained are compared with the OpenDSS software, demonstrating the accuracy and efficiency of the method implemented in Python. Finally, the advantages of using Python in terms of flexibility, adaptability, and efficiency in the simulation and analysis of power systems are highlighted.**

Keywords: Algorithm for Power Flows, Decoupled Load Flow Method, Electric Network Simulator, Electric Power Systems, Python.

I. INTRODUCCIÓN

El análisis de los flujos de potencia es uno de los análisis más importantes en el estudio de sistemas de potencia, ya que ofrece las condiciones iniciales necesarias para la evaluación de la estabilidad, el análisis de fallas, la calidad de energía y el análisis de contingencias (Karimi et al., 2019). El objetivo del análisis es calcular magnitudes y ángulos de voltajes para una carga, generación y condiciones de red dadas (Volkov, 2020). Para realizar lo anterior se han implementado métodos diferentes, dentro de los cuales, algunos de los más implementados son: Newton Raphson, Gauss Seidel y Desacoplado Rápido. Este último es un método mejorado basado en la simplificación del método de Newton-Raphson, implementado por Stott y Alsac en 1974. Al igual que el método de Newton-Raphson, ofrece simplificaciones en los cálculos, converge de forma rápida y sus resultados son confiables (Afolabi et al., 2015). Sin embargo, el método de Desacoplado Rápido tiene un problema al momento de converger, el cual se presenta en redes con elementos R/X y G/B altos. (Yanez & Rolando, 2019)

Por otro lado, con el paso del tiempo las herramientas computacionales han pasado a ser un aspecto importante para solucionar todo tipo de problemas, dentro de los cuales se encuentran los problemas de flujos de potencia. En la actualidad, “Python”, es uno de los lenguajes más empleados y ha ganado popularidad. Este lenguaje se ha vuelto ideal para solucionar problemas complejos, gracias a sus bibliotecas, sintaxis intuitiva y por ser una herramienta de uso libre (Jaclolov, 2023). Actualmente es posible encontrar herramientas computacionales para sistemas de potencia creadas con este lenguaje. Un ejemplo de lo anterior es PyPSA, un software utilizado para análisis de flujos de carga en sistemas eléctricos. PyPSA destaca por ser una herramienta líder para simulación y optimización de sistemas de energía (Sharma & Dhillon, 2021). PyPSA ofrece varias ventajas, como su flexibilidad para adaptar modelos, un amplio número de herramientas de análisis, respuesta dinámica y simplicidad (Phongtrakul et al., 2018). LTB ANDES es una herramienta que fue desarrollada intentado cubrir el análisis tradicional de sistemas de potencia y la necesidad de estudios de ciberseguridad (Cui & Li, 2018), da soporte al cálculo de flujos de potencia, simulación de estabilidad transitoria y análisis de estabilidad de pequeña señal para sistemas de transmisión (Cui et al., 2021). PandaPower es una herramienta diseñada para automatizar el análisis y optimizar sistemas de potencia balanceados (Thurner et al., 2018), es sencillo de entender y manipular, lo que lo hace adecuado para investigación y educación, además posee funciones para resolver flujos de potencia, estimación de estados y cálculos de corto circuito, entre otros (Huang et al., 2020).

En este artículo se describe una herramienta computacional desarrollada en Python para la solución de flujos de potencia mediante el método de desacoplado rápido. Los módulos desarrollados utilizan librerías ya existentes como NumPy, Scipy y Pandas. La herramienta desarrollada utiliza el paradigma de programación orientada a objetos, por lo cual, además de las librerías anteriormente mencionadas, se realizaron módulos para tareas específicas. La creación de módulos ayudará a cumplir con el correcto funcionamiento del algoritmo. La contribución que se busca por medio de este trabajo es la implementación de una herramienta computacional programada en Python, la cual utiliza el método de Desacoplado Rápido para solucionar flujos de potencia, mejorando la accesibilidad y eficiencia de estas metodologías en el ámbito de la ingeniería eléctrica. Al estar desarrollado mediante la programación orientada a objetos, este trabajo facilita la expansión y adaptación futura del código, permitiendo su aplicación a una variedad más amplia de problemas complejos en sistemas de potencia. Se busca no solo mejorar la optimización de recursos computacionales, sino también fomentar la reproducibilidad y colaboración en futuras investigaciones, tanto académicas como aplicadas.

La forma en que se realizó este artículo, se presenta a continuación: en la sección II, se detallan los módulos que componen el código del Desacoplado Rápido, junto con la estructura aplicada y las ecuaciones empleadas en cada uno de ellos, la extracción de datos de los sistemas de la IEEE de 14, 30 y 57 Buses, la formación de la matriz Y-Bus y el método de Desacoplado Rápido. En sección III, se muestran los resultados de convergencia, tiempo de cómputo, voltajes y ángulos realizados por el algoritmo. Así mismo, para validar los resultados, se hace una comparativa con el software OPENDSS. Para finalizar, en la sección IV se encuentran las conclusiones a las que se llegaron en este artículo.

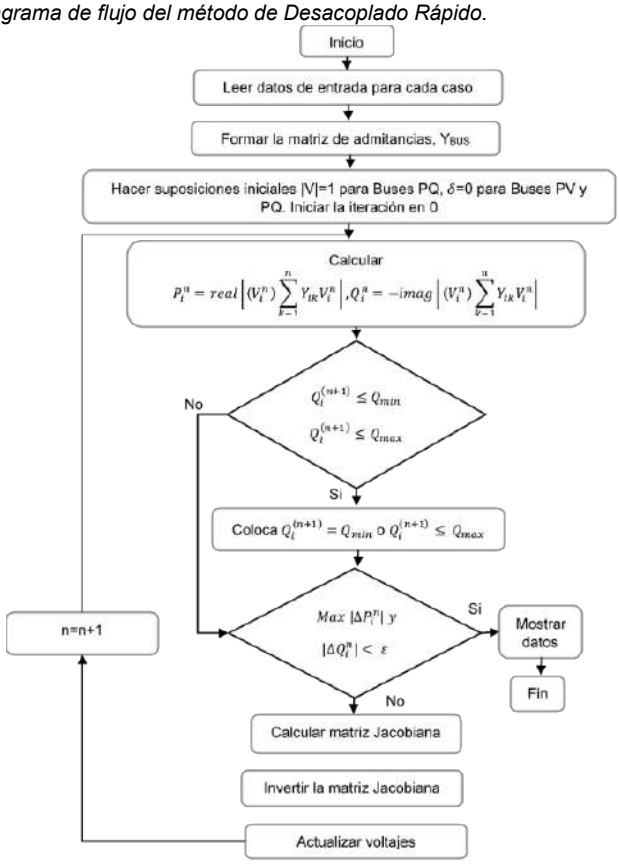
II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

La herramienta computacional que utiliza el método de Desacoplado Rápido se programó en Python. La Figura 1 muestra el proceso seguido para su implementación. Este método se seleccionó debido a su capacidad para ofrecer una solución rápida y eficiente en el análisis de flujos de potencia en sistemas eléctricos complejos. Para optimizar la implementación y facilitar futuras modificaciones, el código se dividió en 6 módulos. Esta modularización permite un manejo más limpio y organizado del código, facilitando su mantenimiento y mejora continua.

Cada módulo fue diseñado con una tarea específica, asegurando así una separación clara de las funciones y promoviendo la reutilización de código. Los módulos desarrollados incluyen funciones para la lectura y almacenamiento de datos, la definición de los elementos que conforman los buses y las líneas, el cálculo de la matriz de admitancias, y la implementación del algoritmo de Desacoplado Rápido.

La estructura modular no solo mejora la legibilidad del código, sino que también permite una fácil integración de nuevas características y la realización de ajustes específicos sin afectar el funcionamiento general del método.

Figura 1
Diagrama de flujo del método de Desacoplado Rápido.



Los módulos desarrollados son los siguientes:

- excelpy.py
- Line.py
- Bus.py
- Y_matrix.py
- FDPF.py
- main.py

Los cuáles serán explicados a detalle a lo largo de esta sección.

2.1 Formulación del algoritmo de Desacoplado Rápido

Los algoritmos para solución de flujos de potencia se han desarrollado para proporcionar soluciones en tiempos del orden de segundos o menos. Estos algoritmos están basados en la simplificación de la matriz Jacobiana, al omitir J_2 y J_3, la ecuación (1) se reduce a (Saadat, 2010):

$$\begin{bmatrix}\Delta P\\ \Delta Q\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}J_1 & 0\\ 0 & J_4\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\Delta\delta\\ \Delta|V|\end{bmatrix} \quad (1)$$

donde *P, Q, J, δ,* y *V* representan potencia activa, potencia reactiva, Jacobiano, ángulo y voltaje, respectivamente. Las ecuaciones (2) y (3) muestran cómo la ecuación matricial es separada en dos ecuaciones desacopladas, lo cual se traduce en un menor tiempo de solución.

$$\Delta P = J_1\Delta\delta = \left[\frac{\partial P}{\partial\delta}\right]\Delta\delta \quad (2)$$

$$\Delta Q = J_4 \Delta|V| = \left[\frac{\partial Q}{\partial |V|}\right] \Delta|V| \quad (3)$$

Además, se puede hacer una simplificación, para eliminar la necesidad de recalcular J_1 y J_4. Este procedimiento resulta en ecuaciones de potencia desacopladas por Stoot y Alsac. Los elementos diagonales de J_1, se puede describir como la ecuación (4) (Saadat, 2010).

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j=1}^{n} |V_i||V_j||V_{ij}|sen(\theta_i - \delta_i + \delta_j) - |V_i|^2 |Y_{ii}| sen\theta_{ii} \quad (4)$$

Reemplazando el primer término de la ecuación anterior con $-Q_i$, resulta en la ecuación (5) (Saadat, 2010):

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = -Q_i - |V_i|^2 |Y_{ii}| sen\theta_{ii} = -Q_i - |V_i|^2 B_{ii} \quad (5)$$

donde $B_{ii} = |Y_{ii}| sen\theta_{ii}$ es la parte imaginaria de la diagonal de la matriz Y-Bus, la suma de las susceptancias de todos los elementos que inciden en el bus i. En los sistemas típicos de potencia, la susceptancia propia $B_{ii} \gg Q_i$, de tal forma que se puede omitir Q_i.Se obtiene una mayor simplificación al suponer que $|V_i|^2 \approx |V_i|$, lo cual da la ecuación (5) (Saadat, 2010).

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = -|V_i| B_{ii} \quad (6)$$

En condiciones normales de operación $\delta_j - \delta_i$ es relativamente pequeño. Así que, suponiendo que $\theta_i - \delta_i + \delta_j \approx \theta_{ii}$, por lo que los elementos fuera de la diagonal de J_1 toman la forma de la ecuación (7) y asumiendo que $|V_j| \approx 1$ se convierten en la ecuación (8) (Saadat, 2010).

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = -|V_i||V_j| B_{ij} \quad (7)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = -|V_i| B_{ij} \quad (8)$$

De forma similar, los elementos en la diagonal de J_4 pueden aproximarse a partir de la ecuación (9).

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V|_i} = -|V_i|^2 |Y_{ii}| sen\theta_{ii} \sum_{j=1}^{n} |V_i||V_j||V_{ij}|sen(\theta_i - \delta_i + \delta_j) \quad (9)$$

dando como resultado la ecuación (10).

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V|_i} = -|V_i| B_{ij} \quad (10)$$

Con esto, las ecuaciones (2) y (3) toman la forma de las ecuaciones (11) y (12):

$$\frac{\Delta P}{|V_i|} = B' \Delta\delta \quad (11)$$

$$\frac{\Delta Q}{|V_i|} = B'' \Delta|V| \quad (12)$$

donde B' y B'' son la parte imaginaria de la matriz Y-Bus. Como los elementos de la matriz son constantes, deben descomponerse de forma triangular e invertirse una sola vez al comienzo de la iteración. Además B' es del orden de (n-1). Para los Buses PV donde $|V_i|$ y P_i están especificados y Q_i no, se elimina la fila y la columna correspondientes a la Y-Bus. Para B'' el orden es de (n-1-m) siendo m es el número de buses PV. Por lo tanto, en el algoritmo de desacoplado rápido, los cambios sucesivos de voltajes y ángulos se realizan por medio de las ecuaciones (13) y (14) (Saadat, 2010).

$$\Delta\delta = -[B']^{-1} \frac{\Delta P}{|V_i|} \quad (13)$$

$$\Delta|V| = -[B'']^{-1} \frac{\Delta Q}{|V_i|} \quad (14)$$

El algoritmo de este método requiere un mayor número iteraciones que los métodos como el de Newton-Raphson, pero su gran ventaja es el menor tiempo requerido en cada iteración, lo que permite una solución más rápida.

2.2 Módulo excelpy.py

La función principal de este módulo es extraer y almacenar los datos de los archivos de Excel donde se tienen guardados los datos de los buses y líneas. Inicialmente se utilizó un formato texto estándar proporcionado por UW Electrical Engineering. Sin embargo, al usar este tipo de estructura y archivos, hay problemas al editar alguno de los valores ya establecidos. Lo anterior se debe a que, en este tipo de formato, solo se puede extraer datos separados por espacios específicos. Eso quiere decir que al mover un espacio la estructura cambia y dificulta la modificación de la información. Así mismo, representa un problema a futuro, ya que generar nuevos archivos con condiciones específicas, sería un problema. Otra ventaja de manejar datos de esta forma es que se puede separar en hojas de cálculo diferentes la información aportada sobre los buses y las líneas, teniendo un mayor control de la información.

Al tener los datos en archivos bien establecidos, se generó la función "`obtener_datos()`" dentro del módulo. Está función utiliza la librería "`os`" y su función "`listdir`" con la finalidad de poder hacer la lectura de un tipo de archivo por su extensión, dentro de una dirección específica. De esta forma se pueden tener todos los archivos enlistados para poder elegir alguno de los sistemas predeterminados, así como se presenta en la Figura 4.

Figura 4
Lista de archivos con extensión .xlsx.

```
In [1]: runfile('C:/Users/Johnatan/Desktop/SIMULADOR/FDPF/
main.py', wdir='C:/Users/Johnatan/Desktop/SIMULADOR/FDPF')
1.14-Bus.xlsx
2.30-Bus.xlsx
3.57-Bus.xlsx
4.Datos Y Bus.xls
5.Prueba.xlsx

Selección:
```

El último paso que realiza este módulo es eliminar las columnas que no son requeridas para los siguientes procesos, almacenando todo en una matriz.

2.3 Módulos Bus.py y Line.py

La función principal del módulo Bus.py es definir y gestionar los datos para estructurar los buses. Lo anterior permite representar características eléctricas de cada bus como su tipo (por ejemplo, PV, PQ o Slack), magnitudes y ángulos de voltaje, generación y carga, tanto de potencia activa como reactiva, incluyendo los límites de potencia. Este módulo proporciona una estructura clara y accesible para representar los datos de las ecuaciones y para solucionar los flujos de potencia. También permite la inicialización, actualización y recuperación de los atributos de cada bus.

Para encapsular las características de cada bus del sistema se definió una clase con los siguientes atributos: número de identificador del bus, tipo de bus, magnitud del voltaje (V), el ángulo de fase (°), potencia activa (P_g) y reactiva (Q_g) generadas, potencia activa (P_l) y reactiva (Q_l) consumida, límite inferior (Q_{min}) y superior (Q_{max}) de la potencia reactiva.

Por otro lado, la función principal del módulo Line.py es definir y gestionar los datos para estructurar las líneas en el algoritmo. También se utilizó una clase para representar las líneas que conectan los buses, la cual contiene la siguiente información: identificador del bus de origen, identificador del bus de destino, resistencia (R), reactancia (X), susceptancia (B) y relación de transformación de la línea (a).

2.4 Módulo Ymatrix.py

Este módulo tiene como propósito realizar cálculos y gestionar la matriz de admitancias (Y-Bus). La matriz de admitancias es esencial para la solución de flujos de potencia y otros estudios afines. Este módulo inicializa con dos parámetros: **"**`buses`**"** y **"**`lines`**"** los cuales son datos enlazados de los módulos anteriormente mencionados.

El método principal construye la matriz de admitancias, la cual inicia como una matriz de ceros de un tamaño dependiente del número de buses en el sistema. Esta matriz es una matriz compleja porque tanto las admitancias como las suceptancias tienen componentes reales e imaginarios. La inicialización se hace con una matriz de ceros para asegurar que cualquier bus que no esté conectado a otro tenga una admitancia cero. Esto ayuda a evitar un paso más en el proceso, centrándonos solo en los buses interconectados.

Para cada línea se calcula "Y" con la ecuación (15):

$$Y = \frac{1}{r+jx} \qquad (15)$$

donde r es la resistencia y x es la reactancia.

Posteriormente se calcula la susceptancia de la línea utilizando el parámetro "b" de la línea. La susceptancia total es dividida entre dos, porque se distribuye entre los extremos de la línea, lo cual se expresa con la ecuación (16).

$$B = \frac{b}{2} \qquad (16)$$

A continuación, la matriz Y-bus se actualiza en las posiciones diagonales correspondientes a los buses de origen y destino. Incluyendo la admitancia de la línea y la susceptancia, ecuación (17).

$$Y_{bus}[i,i] = Y + jB \qquad (17)$$

Finalmente, los elementos de la Y-bus también se actualizan, los cuales corresponden a la conexión del bus de origen y el bus destino. Estos elementos se actualizan restando la admitancia "Y", tal como se muestra en la ecuación (18)

$$Y_{bus}[i,j] -= Y \qquad (18)$$

Como resultado, se crea una matriz de admitancias que tiene la característica de ser dispersa.

De forma sencilla, este módulo se podría resumir en:

1. Inicializar la matriz Y-bus
2. Calcular los valores de la admitancia y susceptancia para cada línea.
3. Actualizar los elementos dentro y fuera de la diagonal de la matriz Y-bus con las admitancias y susceptancias calculadas.

Todo este proceso es importante, ya que esta matriz es un componente clave para los cálculos y simulaciones relacionadas a los sistemas eléctricos de potencia.

2.5 Módulo FDPF.py

Este módulo implementa el método numérico de desacoplado rápido, para resolver flujos de potencia. Este método permite una convergencia rápida y eficiente en el análisis y solución de flujos de potencia en sistemas eléctricos. A continuación, se detalla la estructura utilizada.

El módulo utiliza la clase **"**`FastDecoupledPowerFlow`**"**. Esta clase utiliza la librería **"**`Numpy`**"** para operaciones numéricas y matriciales, así como los módulos **"**`Bus`**"** y **"**`Line`**"**, creados para representar buses y líneas, así como las librerías **"**`Time`**"** para medir los tiempos de ejecución y **"**`Pyplot`**"**, para visualizar datos de forma ordenada.

La clase se inicializa con los parámetros **"**`buses`**"**, **"**`lines`**"** y **"**Y**"** (la Y-bus o matriz de admitancias). También se utiliza un método para ayudar a inicializar los voltajes y ángulos de los buses, de acuerdo con la información en la Tabla 1

Tabla 1
Condiciones para los tipos de buses.

Tipo de bus	*Inicialización del Voltaje*	*Inicialización del ángulo*
Slack	Bus.voltage_mag	Bus.voltage_ang
PV	Bus.voltage_mag	0
PQ	1	0

Para el Bus Slack, la magnitud del voltaje se inicializa con el valor especificado en el atributo **"**`voltaje_mag`**"** del objeto **"**`bus`**"**. Mientras que el ángulo de voltaje se inicializa con el valor específico en el atributo **"**`voltaje_ang`**"** del objeto **"**`bus`**"**

Para el Bus PV, la magnitud de voltaje se inicializa de la misma forma que en el Slack, mientras que el ángulo de voltaje se inicializa en 0 radianes, ya que no está especificado en los buses PV para la inicialización. Para el Bus PQ, la magnitud de voltaje se inicializa con un valor por defecto de1 p.u., mientras que el ángulo de voltaje se inicia en 0 radianes. Esta inicialización es vital para los cálculos, ya que establece valores iniciales desde los cuales se harán las iteraciones para la convergencia del sistema.

La esencia del módulo FDPF es realizar los cálculos iterativos para resolver problemas de flujo de potencia. Los parámetros utilizados son: la parte real de la Y-bus, la parte imaginaria de la Y-bus, potencia base en MVA, vector que contiene los tipos de buses, los índices de los buses tipo Slack, los índices de los buses tipo PQ y los índices de los buses tipo PV.

Las submatrices B_1 y B_2 se derivan de la parte imaginaria de la Y-bus, conocida como B. Su finalidad es resolver ecuaciones desacopladas para el incremento de las magnitudes de voltaje y los incrementos de ángulos.

Donde B1 es una submatriz de B que excluye las filas y columnas correspondientes a los buses Slack y B2 es una submatriz de B que excluye filas y columnas correspondientes a los buses PV.
La submatriz B1 es usada para resolver los sistemas de ecuaciones lineales desacopladas para los incrementos de ángulo ($\Delta\theta$). La eliminación de las columnas y filas que corresponden a los buses Slack ayudan a simplificar el sistema de ecuaciones, debido a que estos buses tienen ángulos de voltajes fijos.

La submatriz B2 es utilizada para resolver los sistemas de ecuaciones lineales desacopladas para los incrementos de magnitud de voltaje (ΔV). La eliminación de las columnas y las filas correspondientes a los buses PV, permite simplificar el sistema de ecuaciones, porque los buses PC tienen magnitudes de voltajes fijas.

La importancia en la construcción de estas submatrices asegura que el algoritmo pueda converger rápidamente y ayuda a proporcionar resultados precisos para este tipo de análisis.

Los voltajes y potencias se definen los parámetros P_g, potencias activas generadas, Q_g, potencias reactivas generadas, P_l, potencias activas consumidas, Q_l, potencias reactivas consumidas, P_{sp}, potencias activas especifica ($P_g - P_l$) y Q_{sp}, potencias reactivas generadas ($Q_g - Q_l$)

El proceso de iteración para la convergencia es esencial para garantizar que los resultados sean estables y precisos. Para este caso, las magnitudes de voltaje y sus ángulos se ajustan iterativamente, hasta que las diferencias entre las potencias calculadas y las especificas sean menores al límite predefinido. En la iteración se considera la tolerancia inicial para la convergencia, el contador de iteraciones y el factor de relajación para controlar la magnitud de cambios en cada iteración.

Para este caso el ciclo utilizado para realizar las iteraciones se repite hasta que la tolerancia sea menor que un valor umbral predeterminado (1e-5).

En cada iteración, ambas potencias (P y Q) son calculadas para cada bus, utilizando las ecuaciones (19)(20).

$$P_i = \sum_{j=1}^{n} V_i V_j \left(G_{ij} \cos\left(\theta_i - \theta_j\right) + B_{ij} \operatorname{sen}\left(\theta_i - \theta_j\right)\right) \qquad (19)$$

$$Q_i = \sum_{j=1}^{n} V_i V_j \left(G_{ij} \operatorname{sen}\left(\theta_i - \theta_j\right) - B_{ij} \operatorname{sen}\left(\theta_i - \theta_j\right)\right) \qquad (20)$$

donde V_i y V_j son las magnitudes de voltaje en los buses i y j, θ_i y θ_j son los ángulos de voltaje en los buses i y j, G_{ij} y B_{ij} son las partes real e imaginaria de la Y-bus.

Posteriormente, las diferencias entre las potencias calculadas y las específicas se utilizan para determinar el ajuste que se hará en las magnitudes de voltaje y los ángulos de fase, ecuaciones (21)(22).

$$\Delta P_i = P_{sp,i} - P_i \qquad (21)$$

$$\Delta Q_i = Q_{sp,i} - Q_i \qquad (22)$$

Estas diferencias se normalizan dividiendo entre las magnitudes de voltaje y los ángulos.

Los sistemas de ecuaciones lineales generados durante este proceso se resuelven para obtener los incrementos de magnitud de voltaje (ΔV) y los incrementos de ángulo($\Delta\theta$). Estos incrementos se aplican a las magnitudes de voltaje y los ángulos, a esto se le agrega un factor de relajación (α) para mejorar la estabilidad de la convergencia.

La verificación de la convergencia se realiza calculando la norma máxima de los vectores combinados de los incrementos de magnitud de voltaje (ΔV) y los incrementos de ángulo($\Delta\theta$). Todo este proceso se repite hasta que la norma sea mayor o igual que la tolerancia de error (1e-5).

La importancia de este método está en su eficiencia en el tiempo de cada iteración. Este método FDPF es más rápido y menos exigente en el cómputo que otros métodos, como el Newton-Raphson. Debido a su naturaleza desacoplada este método permite una convergencia rápida al separar la potencia reactiva en una ecuación y la potencia activa en otra.

A continuación, se presenta el pseudo código del módulo de desacoplado rápido:

```
ALGORITMO Desacoplado_Rápido
Entrada:
    buses: lista de objetos Bus
    lines: lista de objetos Line
    Y: matriz de admitancia nodal

Inicializar variables:
    nbus: número de buses
    V: vector de voltajes inicializado a 1 p.u.
    del_vec: vector de ángulos inicializado a 0 radianes

Inicializar voltajes:
    PARA cada bus EN buses HACER
       SI bus es slack ENTONCES
          Ajustar magnitud y ángulo del voltaje
       SI bus es PV ENTONCES
          Ajustar magnitud del voltaje

```

```
19. Preparar matrices B1 y B2:
20.    G: parte real de Y
21.    B: parte imaginaria de Y
22.    Eliminar filas y columnas de buses slack de B para B1
23.    Eliminar filas y columnas de buses PV de B para B2
24.
25. Iterar hasta convergencia:
26.    MIENTRAS Tol > 1e-5 HACER
27.       Calcular potencias P y Q para cada bus
28.       Calcular diferencias de potencia delp y delq
29.         Resolver sistemas lineales para obtener delta_theta y
delta_V
30.       Actualizar ángulos y magnitudes de voltaje
31.       Calcular y actualizar la norma de convergencia
32.       Guardar voltajes actuales y norma de convergencia
33.
34.    Calcular resultados finales:
35.       Convertir ángulos de radianes a grados
36.       Guardar resultados finales
37.
38. Funciones adicionales:
39.    plot_voltages: graficar voltajes por iteración para cada bus
40.    save_results_to_database: guardar resultados en base de datos
41.   plot_convergence: graficar norma de convergencia por iteración
42.
43. Salida:
44.    Voltajes y ángulos finales de cada bus
45.
46. FIN ALGORITMO
```

2.6 Módulo main.py

Este módulo es el punto principal para ejecutar el cálculo de flujo de potencia mediante el desacoplado rápido. Además, es el módulo que permite enlazar todos los módulos anteriores y permite que trabajen en conjunto. Es decir, integra varios componentes y coordina la ejecución completa del algoritmo. El código inicia importando las librerías necesarias y definiendo las variables iniciales.

Inicialmente se obtienen los datos de buses y líneas para después ser convertidos en arreglos. Posteriormente, los datos obtenidos se utilizan para crear las listas de objetos **"**`Bus`**"** y **"**`Line`**"**. Se crea el objeto **"**`YMatrix`**"** para almacenar los datos de la matriz de admitancia. Finalmente se crea el objeto **"**`FasDecoupledPowerFlow`**"**, el cual permite ejecutar el algoritmo de análisis.

La importancia de main.py está en que sirve para integrar los componentes necesarios, los cuales fueron desarrollados con el paradigma de programación orientada a objetos. Desde la importación de datos, hasta la impresión de los resultados, este módulo coordina cada acción del proceso, asegurando una ejecución fluida y eficiente. Esto permite que, en caso de existir un error, éste pueda ser corregido de la mejor forma posible, lo cual ayuda a darle un mejor mantenimiento al software desarrollado.

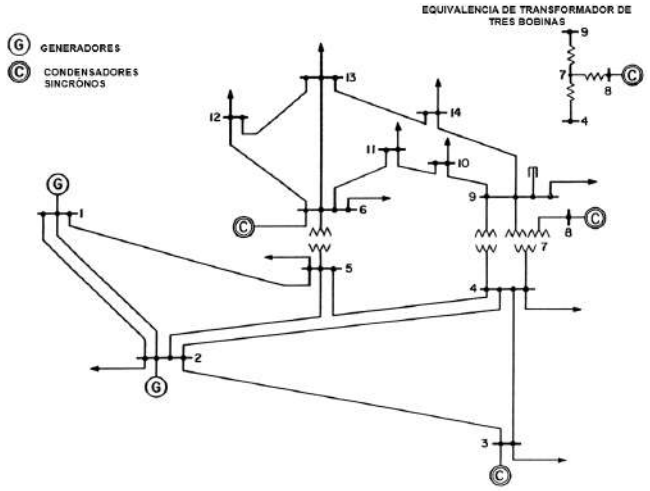
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El algoritmo de desacoplado rápido se llevó a cabo para los sistemas de 14 y 30 Buses de la IEEE. La implementación se realizó utilizando Spyder en su versión 5.4.3, el cual es un entorno para utilizar Python, para este caso, en su versión 3.11. Las validaciones de resultados se realizaron comparando los resultados obtenidos en el software OpenDSS en su versión 9.8.0.1. Ambos se ejecutaron en un ordenador portátil con Windows 10, equipado con un procesador Intel Core i7-8650U a 1.90 GHz y 16 GB de RAM.

La Figura 10 muestra el diagrama unifilar de la IEEE que se tomó en cuenta para el primer caso de estudio. Cada uno de los buses está etiquetado y conectado a través de líneas de transmisión. Algunas de estas líneas incluyen trasformadores con una relación de transformación específica. Para este caso, los tipos de buses están distribuidos de la siguiente forma: Bus Slack (Bus 1), Bus PV (Buses 2,3,6 y 8) y Bus PQ (Resto de Buses).

Figura 10

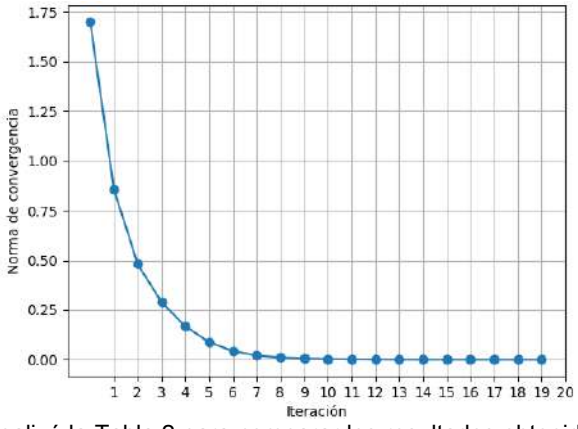
Diagrama unifilar del sistema de 14 Buses de la IEEE (IEEE 14 Bus Test System :Dr. Francisco M. Gonzalez-Longatt, s. f.).



La Figura 11 representa la cantidad de iteraciones para el sistema de 14 Buses, el cual converge después de 0.36 segundos y 19 iteraciones.

Figura 11

Iteraciones para el sistema de 14 Buses de la IEEE.



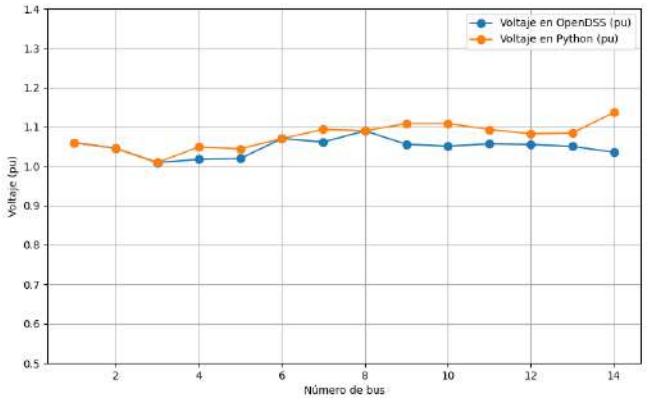
Se realizó la Tabla 2 para comparar los resultados obtenidos en el software libre OpenDSS y con la herramienta computacional mediante el método de Desacoplado Rápido realizada en Python. Lo anterior se realizó con el fin de verificar que los datos generados sean iguales o próximos a los resultados que se esperan. De la Tabla 2 se obtiene que el mayor porcentaje de error para los voltajes es de 9.73% en el Bus 14, mientras que el menor es de 0% para el Bus 1 y el Bus 6.

Tabla 2
Comparativa de Voltajes en OpenDSS y Python para el sistema de 14 Buses de la IEEE.

Bus	Voltaje en OpenDSS (pu)	Voltaje en Python (pu)	Error (%)
1	1.06	1.06	0
2	1.0455	1.045	0.047824
3	1.0093	1.01	0.069355
4	1.0176	1.048643	3.05057
5	1.0196	1.044434	2.435632
6	1.07	1.07	0
7	1.0614	1.093535	3.027567
8	1.0896	1.09	0.036711
9	1.0559	1.108103	4.943934
10	1.0509	1.108522	5.483081
11	1.0569	1.092965	3.412357
12	1.0552	1.082388	2.576621
13	1.0504	1.084224	3.220107
14	1.0355	1.136267	9.731202

Con los datos obtenidos, se realizó, también en Python, la gráfica "Comparación de Voltaje: Python vs OpenDSS", la cual se observa en la Figura 12.

Figura 12
Gráfica que ilustra los resultados de la Tabla 2.



Los errores observados en los voltajes se deben a la sensibilidad de ciertos buses a los cambios de los parámetros de la red. Esto en particular con los Buses PQ, que pueden mostrar mayores errores debido a su solución iterativa. Además, pueden variar significativamente, debido a la ubicación de los generadores y cargas. Las variaciones de potencia reactiva y la necesidad de mantener límites de voltaje pueden provocar que existan mayores diferencias.

La Tabla 3 se realizó de igual manera, para realizar la comparativa de los ángulos obtenidos. En este caso el mayor error fue de -5.82% para el Bus 3 y el menor error, omitiendo al Bus 1, fue de -0.96% para el Bus 2.

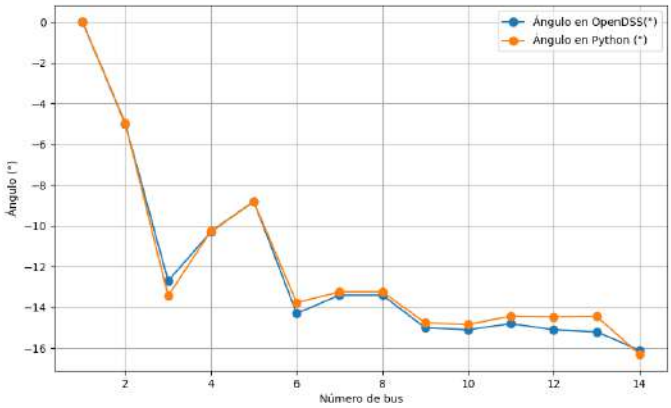
Tabla 3
Comparativa de Ángulos en OpenDSS y Python para el sistema de 14 Buses de la IEEE.

Bus	Ángulo en OpenDSS (°)	Ángulo en Python (°)	Error (%)
1	0	0	0
2	-5	-4.951777	-0.96446
3	-12.7	-13.439596	-5.823591
4	-10.3	-10.25405	-0.446117
5	-8.8	-8.826184	-0.297545
6	-14.3	-13.767115	-3.726469
7	-13.4	-13.238703	-1.203709
8	-13.4	-13.238703	-1.203709
9	-15	-14.757478	-1.616813
10	-15.1	-14.837872	-1.735947
11	-14.8	-14.431585	-2.489291
12	-15.1	-14.458875	-4.245861
13	-15.2	-14.438458	-5.010148
14	-16.1	-16.301714	-1.252882

Al igual que con la tabla anterior, con los datos obtenidos se realizó la gráfica "Comparación de ángulos: Python vs OpenDSS", la cual está representada en la Figura 13.

Se puede observar que, en este caso, la variación de los ángulos no es significativa, esto debido a que, en una red bien interconectada, los ángulos tienden a ajustarse de manera más uniforme a través de las iteraciones, resultando en menos errores. Además, la distribución de ángulos normalmente es más homogénea y menos susceptible a variaciones abruptas, en especial en sistemas con configuraciones de red bien balanceadas.

Figura 13
Gráfica que ilustra los resultados obtenidos en la Tabla 3.



El Bus Slack mantiene un voltaje fijo de 1.06 p.u. y un ángulo de fase 0°. Este actúa como referencia para todos los buses del sistema. Las variables de ambas potencias en este nodo se ajustan durante el proceso de cálculo del flujo de potencia para equilibrar el sistema.

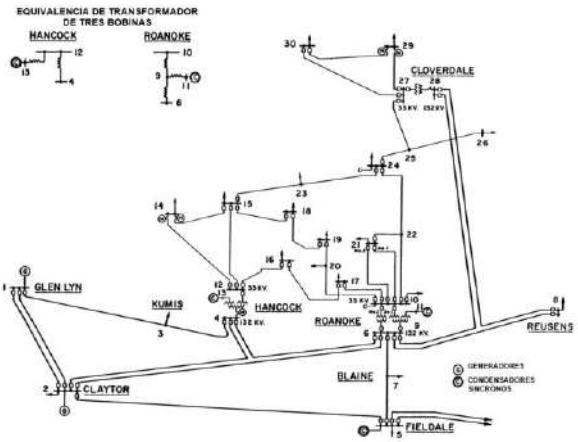
Los buses PV tienen un voltaje y potencia especificado, sin embargo, su ángulo varía. Los generadores conectados a estos buses ajustan el ángulo para mantener el voltaje deseado. Esta variación se da debido a la generación y carga de estos Buses, se ajustan para equilibrar las potencias activa y reactiva.

Los buses o nodos PQ tienen voltajes y ángulos variables. Las cargas que están conectadas a estos Buses pueden consumir tanto potencia activa como reactiva, sin embargo, el algoritmo se encarga de satisfacer las demandas de carga. Para estos buses, el voltaje es sensible a cambios, debido a la ausencia de control directo de generación que hay en ellos.

La implementación en Python puede introducir diferencias debido a la precisión numérica y las simplificaciones del método de desacoplado rápido.

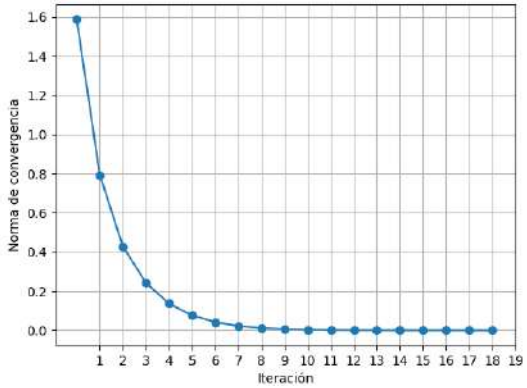
El diagrama unifilar de la IEEE (Figura 14) fue el sistema que se tomó en cuenta para el segundo caso de estudio. Cada uno de los buses está etiquetado y conectado a través de líneas de transmisión, algunas de ellas incluyen trasformadores con una relación de transformación específica. Consiste en 3 Buses, 6 generadores y múltiples líneas de transmisión. Para este caso, los tipos de buses están distribuidos de la siguiente forma: Bus Slack (Bus 1), Bus PV (Buses 2,5,8,11 y 13) y Bus PQ (Resto de Buses).

Figura 14
Diagrama unifilar del sistema de 30 Buses de la IEEE (IEEE 30 Bus Test System :Dr. Francisco M. Gonzalez-Longatt, s. f.).



La Figura 15, representa la cantidad de iteraciones para el sistema de 30 Buses, el cual converge después de 1.56 segundos y 18 iteraciones.

Figura 15
Iteraciones para el sistema de 30 Buses de la IEEE.



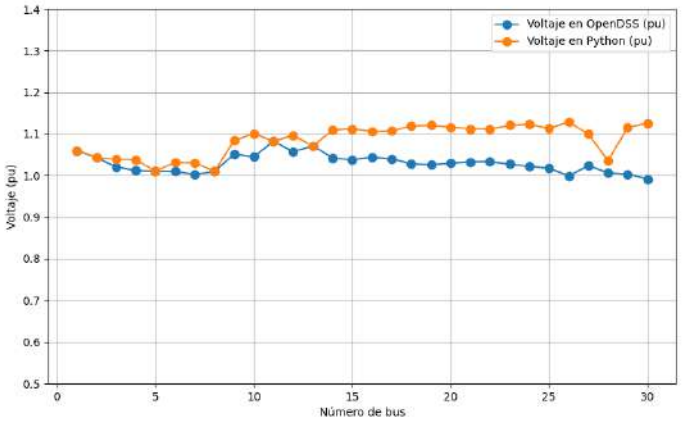
La Tabla 4 muestra la comparación de Voltajes para el sistema de 30 Buses de la IEEE. Al igual que en los casos anteriores, estos valores se obtuvieron con el software libre OpenDSS y con la herramienta computacional mediante el método de Desacoplado Rápido realizada en Python. En este caso el error mayor fue de 13.50% en el Bus 30 y el error menor, omitiendo el Bus 1, fue 0.0092% de en el Bus 13.

Tabla 4
Comparativa de Voltajes en OpenDSS y Python para el sistema de 30 Buses de la IEEE.

Bus	*Voltaje en OpenDSS (pu)*	*Voltaje en Python (pu)*	*Error (%)*
1	1.06	1.06	0
2	1.0432	1.043	0.019172
3	1.0207	1.0391258	1.805212
4	1.0117	1.0380071	2.600287
5	1.0103	1.01	0.029694
6	1.0102	1.0313628	2.094912
7	1.0025	1.0305831	2.801307
8	1.0098	1.01	0.019806
9	1.0571	1.0836302	3.114492
10	1.0423	1.1009586	5.344809
11	1.0377	1.082	0.009241
12	1.0444	1.0965949	3.736156
13	1.0399	1.071	0.009336
14	1.0282	1.1091303	6.41181
15	1.0257	1.1125349	7.211612
16	1.0297	1.1056185	5.861595
17	1.0451	1.1070527	6.457611
18	1.0327	1.1194345	8.873225
19	1.0333	1.1207092	9.262864
20	1.0272	1.1164504	8.424823
21	1.0216	1.1124718	7.724586
22	1.0173	1.112002	7.616568
23	0.99962	1.1204963	9.082584
24	1.0232	1.1234896	9.973532
25	1.0033	1.1133059	9.437324
26	0.99187	1.1289148	12.934395
27	1.0067	1.0991791	7.425635
28	1.0509	1.0357847	2.889113
29	1.0821	1.11599	11.231935
30	1.0711	1.1258019	13.502969

Con los conjuntos de datos obtenidos, se realizó la Figura 16, la cual es una gráfica que compara los resultados obtenidos con la herramienta de software desarrollada en Python vs OpenDSS. Los 30 Buses que conforman el sistema fueron analizados por ambos programas.

Figura 16
Grafica que ilustra los resultados de la Tabla 4.



Los voltajes en los Buses Slack y PV son controlados directamente con generadores, lo que resulta en valores más estables y cercanos a lo que muestra OpenDSS. En este caso el Bus 1 se mantiene fijo en 1.06 p.u. ya que es el Bus Slack y es la referencia. Mientras que los Buses 2,5,8,11 y 13, son los Buses PV y tienen un porcentaje de error de voltaje menor al 0.02%, esto debido a que como se mencionó anteriormente, el tener un generador conectado directamente, ayuda a una mayor precisión y estabilidad.

Los voltajes en los Buses PQ, tienen una mayor variación debido a las cargas conectadas a ellos y la ubicación que tienen en la red. Los Buses más alejados de los generadores o con cargas grandes, tienden a experimentar mayores caídas de tensión. Por ejemplo, en este análisis, los Buses 27 a 30 tienen los voltajes más bajos debido a la distancia entre los generadores principales y las cargas conectadas.

De igual forma se realizó la Tabla 5, para realizar la comparativa de los ángulos obtenidos. En este caso el mayor error fue de -20.32% para el Bus 28 y el menor error, omitiendo al Bus 1, fue de -0.0225% para el Bus 24.

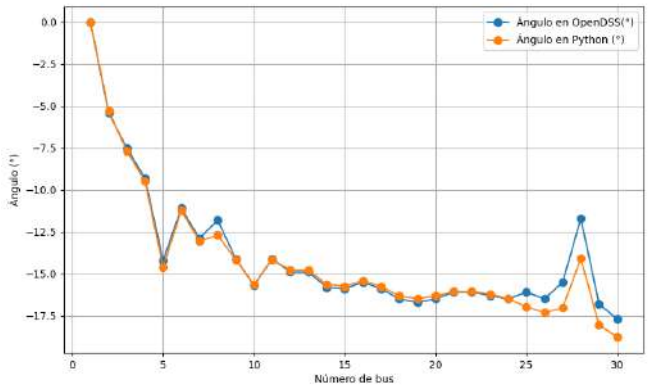
Tabla 5
Comparativa de Ángulos en OpenDSS y Python para el sistema de 30 Buses de la IEEE.

Bus	*Ángulo en OpenDSS (°)*	*Ángulo en Python (°)*	*Error (%)*
1	0	0	0
2	-5.4	-5.266026	-2.480991
3	-7.5	-7.671063	-2.28084
4	-9.3	-9.47666	-1.89957
5	-14.2	-14.604977	-2.851951
6	-11.1	-11.237376	-1.237622
7	-12.9	-13.06435	-1.274031
8	-11.8	-12.699445	-7.622415
9	-14.1	-14.161882	-0.438879
10	-15.7	-15.642843	-0.364057
11	-14.1	-14.161882	-0.438879
12	-14.9	-14.78599	-0.765168
13	-14.9	-14.78599	-0.765168
14	-15.8	-15.622883	-1.120994
15	-15.9	-15.754921	-0.912447
16	-15.5	-15.405	-0.612903
17	-15.9	-15.756139	-0.904786
18	-16.5	-16.316633	-1.111315
19	-16.7	-16.483658	-1.295461
20	-16.5	-16.328957	-1.036624
21	-16.1	-16.065117	-0.216665
22	-16.1	-16.062943	-0.230168
23	-16.3	-16.204514	-0.585804
24	-16.5	-16.503716	-0.022521
25	-16.1	-16.974754	-5.433255
26	-16.5	-17.314304	-4.935176
27	-15.5	-17.037642	-9.920271
28	-11.7	-14.078484	-20.328923
29	-16.8	-18.068233	-7.549006
30	-17.7	-18.768816	-6.0385

En el caso de los ángulos, el Bus Slack se mantiene fijo en 0°. Mientras que en los Buses PV, los ángulos se ajustan para equilibrar la potencia activa, lo cual resulta en valores relativamente consistentes y bajos. Para los Buses PQ los ángulos muestran variaciones debido a la distribución de la carga y las características de la red. En este caso el Bus 28 resultó con un error del -20.32%, este Bus está conectado a través de una línea al Bus 27, mientras que éste a los Buses 29 y 30. Estos Buses son los más alejados de los generadores y del Bus Slack. Una ubicación más alejada en la red significa que cualquier fluctuación en la generación o en la carga tendrá un impacto mayor en los parámetros de ese Bus, esto incluye los ángulos.

Al igual que con la tabla anterior, con los datos obtenidos se realizó la gráfica que compara los resultados de la herramienta de software desarrollada en Python vs OpenDSS, para el sistema de 30 Buses de la EEE, la cual está representada en la Figura 17.

Figura 17
Gráfica que ilustra los resultados obtenidos en la Tabla 5.



La variación en los ángulos también se puede sustentar con el método de Desacoplado Rápido, debido que la potencia activa y reactiva se resuelven de forma independiente. En consecuencia, cualquier variación en la potencia activa debido a algún cambio significativo en la generación o en la carga, puede resultar en variaciones en los ángulos de fase. De igual forma, una variación de la potencia reactiva afecta directamente al voltaje.

IV. CONCLUSIONES

Este trabajo presentó el desarrollo de una herramienta de computacional desarrollada en Python para la solución de flujos de potencia usando el método de desacoplado rápido, además de la comparativa con el software OpenDSS.
La comparación de los resultados muestra que la herramienta de software implementada en Python produce muy buenos resultados en términos de voltajes y ángulos en los Buses de cada uno de los dos sistemas.

La implementación de métodos numéricos en Python ofrece varias ventajas, como lo son la flexibilidad y adaptabilidad del código, la facilidad de modificación y la capacidad de integrar librerías que ayuden a la manipulación de datos y operaciones numéricas, como los son `NumPy`, `SciPy` y `Pandas`. Estas características no solamente facilitan la optimización de recursos computacionales, sino que también promueven la reproducibilidad y la colaboración en futuras investigaciones.
Además, otra ventaja de usar Python es el costo de mantenimiento, ya que al ser éste un software libre, es totalmente gratuito, por lo que cualquier persona puede utilizarlo.

Basado en el análisis efectuado, se concluye que Python es una herramienta computacional eficaz y que si bien, los resultados no fueron totalmente exactos en la comparación, al ser una herramienta computacional, existe la posibilidad de buscar métodos para optimizar los resultados, así como la convergencia, velocidad y memoria utilizada, entre otros, lo cual deja un amplio margen para mejorar.

V. AGRADECIMIENTOS

E.J. Muñoz-Luna agradece al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías por el respaldo financiero recibido a través del “Programa de Becas Nacionales para Estudios de Posgrado” con número de solicitud 2022-000018-02NACF-08769.
Los autores desean expresar su agradecimiento al TecNM y al Instituto Tecnológico de La Laguna por el apoyo económico proporcionado para la realización de esta investigación

VI. REFERENCIAS

Karimi, M., Shahriari, A., Aghamohammadi, Marzooghi, H., & Terzija, V. (2019). Application of Newton-based load flow methods for determining steady-state condition of well and ill-conditioned power systems: A review. *International Journal Of Electrical Power & Energy Systems,* 113, 298-309. https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2019.05.055

Afolabi, O. A., Ali, W. H., Cofie, P., Fuller, J., Obiomon, P., & Kolawole, E. S. (2015). *Analysis of the Load Flow Problem in Power System Planning Studies*. Energy And Power Engineering, 07(10), 509-523. https://doi.org/10.4236/epe.2015.710048

Volkov, K. (2020). Computational Models in Engineering. En IntechOpen eBooks. https://doi.org/10.5772/intechopen.77484

Yanez, T., & Rolando, E. (2019). *Simulación de flujos de potencia en sistemas eléctricos de potencia usando métodos completos, desacoplados y linealizados.* https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17625/1/UPS%20-%20ST004217.pdf

Jalolov, T. S. (2023). Solving Complex Problems in Python. American Journal of Language, *Literacy and Learning in STEM Education*, 1(9), 481–484. https://grnjournal.us/index.php/STEM/article/view/1584

Sharma, R., & Dhillon, J. (2021). PyPSA: Open Source Python Tool for Load Flow Study. Journal Of Physics. Conference Series, 1854(1), 012036. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1854/1/012036

Phongtrakul, T., Kongjeen, Y., & Bhumkittipich, K. (2018). Analysis of Power Load Flow for Power Distribution System based on PyPSA Toolbox. 2018 15th International Conference On Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications And Information Technology. https://doi.org/10.1109/ecticon.2018.8619954

Cui, H., & Li, F. (2018). ANDES: A Python-Based Cyber-Physical Power System Simulation Tool. 2018 North American Power Symposium (NAPS). https://doi.org/10.1109/naps.2018.8600596

Cui, H., Li, F., & Tomsovic, K. (2021). Hybrid Symbolic-Numeric Framework for Power System Modeling and Analysis. IEEE Transactions On Power Systems, 36(2), 1373-1384. https://doi.org/10.1109/tpwrs.2020.3017019

Thurner, L., Scheidler, A., Schäfer, F., Menke, J., Dollichon, J., Meier, F., Meinecke, S., & Braun, M. (2018). Pandapower—An Open-Source Python Tool for Convenient Modeling, Analysis, and Optimization of Electric Power Systems. IEEE Transactions On Power Systems, 33(6), 6510-6521. https://doi.org/10.1109/tpwrs.2018.2829021

Huang, M., Chen, R., & Zhong, H. (2020). Research on an Automatic Conversion Method of Power Flow Input Data from PSD-BPA to Pandapower. 2020 IEEE 4th Information Technology, Networking, Electronic And Automation Control Conference (ITNEC). https://doi.org/10.1109/itnec48623.2020.9084979

Power Systems Test Case Archive - UWEE. (s. f.). https://labs.ece.uw.edu/pstca/

IEEE 14 Bus Test System :Dr. Francisco M. Gonzalez-Longatt. (s. f.). https://fglongatt.org/OLD/Test_Case_IEEE_14.html

IEEE 30 Bus Test System :Dr. Francisco M. Gonzalez-Longatt. (s. f.). https://fglongatt.org/OLD/Test_Case_IEEE_30.html

Saadat, H. (2010). Power System Analysis. Psa Pub.

VII. AUTORES

Elí Johnatan Muñoz Luna

https://orcid.org/0009-0001-5990-7139

Cristian Luna Aguilera

https://orcid.org/0009-0002-3589-8095

Concepción Hernández Flores

https://orcid.org/0000-0002-4757-5309

Marco Antonio Arjona López

https://orcid.org/0000-0003-1826-4066

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

Diseño y Fabricación de un Prototipo para el Control de Acceso Vehicular Basado en Tecnología RFID

González-Ramírez, O.F.[1]; Lara-Cardoso, J.[1]✉; Hernández-Flores, C.[2]; Arjona-López, M. A.[2]; González-Vargas, L.A.[1]

Datos de Adscripción:

[1],Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Departamento de Posgrado Av. Tecnológico No. 1555 Sur, Periférico Gómez - Lerdo Km. 14.5, C.P. 35150, Lerdo, Durango, México.

[2] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de La Laguna, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Blvd. Revolución y Av. Instituto Tecnológico de La Laguna, C.P. 27000, Torreón, Coahuila, México.

✉ jorge_lara_c@yahoo.com

Resumen **- Este trabajo presenta el diseño y fabricación de un prototipo para controlar la entrada y salida de vehículos en un estacionamiento utilizando tecnología de identificación por radiofrecuencia RFID. Para esto, una tarjeta Arduino Mega 2560 decodifica el ID del tag o etiqueta asignada a cada vehículo, la cual es leída por el módulo RFID RC522. A su vez, esta información se envía mediante el protocolo de comunicación Zigbee a través del módulo Digi Xbee Pro S2C de manera inalámbrica a una tarjeta Raspberry Pi 3 donde se tiene almacenada la base de datos de los IDs con acceso permitido. Un reloj de tiempo real RTC DS3231 se ha integrado para calcular tanto la duración del vehículo en el estacionamiento como la tarifa a cobrar por el servicio. La barrera vehicular propuesta se basa en una pluma telescópica conformada por secciones de perfiles tubulares rectangulares PTR de diferentes diámetros e insertados unos dentro de otros. Su función retráctil es gracias a un conjunto de piñones con un eje común y radios incrementales y también a secciones de cadena soldadas a los perfiles. Un servomotor SureServo SVL-207B trifásico de 750W controlado con el drive SVA-2100 ejerce un torque angular traducido en el desplazamiento lineal retráctil de la pluma. El mecanismo propuesto se ha diseñado y simulado con la herramienta CAD/CAM/CAE de Siemens NX®. Los resultados obtenidos de las pruebas experimentales demuestran el correcto funcionamiento del sistema, logrando así una solución segura, confiable, eficiente y versátil para la gestión de acceso vehicular.**

Palabras Clave **- Acceso Vehicular, Pluma Retráctil, Protocolo Zigbee, Raspberry Pi, Tarjeta Arduino, Tecnología RFID.**

Abstract **- This work presents the design and fabrication of a prototype to control the entry and exit of vehicles in a parking lot using RFID radio frequency identification technology. For this, an Arduino Mega 2560 board decodes the tag ID assigned to each vehicle, which is read by the RFID RC522 module. In turn, this information is sent by means of the Zigbee communication protocol through the Digi Xbee Pro S2C module in a wireless way to a Raspberry Pi 3 board where the database of IDs with granted access is stored. An RTC DS3231 real-time clock has been integrated to calculate both the duration of the vehicle in the parking lot and the fee to be charged for the service. The proposed vehicular barrier is based on a telescopic boom made up of sections of PTR rectangular tubular profiles of different diameters and inserted ones inside another. Its retractable function is thanks to a set of sprockets with a common axis and incremental radii and also to chain sections welded to the profiles. A 750W three-phase SureServo SVL-207B servomotor controlled with the SVA-2100 drive exerts an angular torque translated into the retractable linear displacement of the boom. The proposed mechanism has been designed and simulated with the Siemens NX® CAD/CAM/CAE tool. The obtained results from the experimental tests demonstrate the correct functioning of the system, thus achieving a safe, reliable, efficient and versatile solution for the vehicular access management.**

Keywords **- Arduino Board, Raspberry Pi, Retractable Boom, RFID Technology, Vehicle Access, Zigbee Protocol.**

I. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años se ha ido haciendo cada vez más fuerte la tendencia de utilizar los procesos de automatización de una forma progresiva en todos los ámbitos donde ésta se involucra. Estas acciones han sido y seguirán siendo útiles, gracias al avance de este tipo de tecnologías.

La automatización en el área de procesos tiene como principales objetivos mejorar la calidad en algún proceso, mejorar la productividad, reducir tiempos y hacer que el proceso sea más flexible (Sanchis et al., 2010). Se puede definir un sistema automatizado como un sistema que tiene la facultad de accionar de forma autónoma, esto mediante la toma de decisiones que puede realizar gracias a los cambios producidos en el sistema, para así cumplir la necesidad de forma satisfactoria para la cual fueron diseñados.

El procedimiento de reconocimiento de vehículos con la asistencia de tecnología se denomina identificación automática. La tecnología de Identificación por Radio Frecuencia (RFID) es una de las variantes de estos sistemas de identificación y presenta características muy específicas de funcionamiento. Estas particularidades han llevado a considerar la posibilidad de utilizar la tecnología RFID como una alternativa al sistema de identificación actualmente en uso en establecimientos e instituciones que utilizan métodos antiguos para el registro de entradas y salidas de vehículos.

En la actualidad, tanto instituciones públicas como privadas de renombre a nivel mundial han implementado internamente medidas de control para regular el acceso de usuarios a sus diversos espacios. Esta estrategia busca mejorar la gestión y crear un entorno más seguro y eficiente. Actualmente, las organizaciones están incorporando diversas herramientas cada

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

vez más avanzadas en tecnología, las cuales automatizan procedimientos, reduciendo así los costos operativos y permitiendo un control más preciso. Los sistemas de control de acceso ofrecen una serie de ventajas, como son la gestión eficiente del acceso y la obtención de un registro detallado de las personas que ingresan a áreas específicas.

De acuerdo con Castillo y Angel (2019), la creación y prueba de prototipos permite una rápida iteración y validación de ideas, lo que reduce el riesgo y el costo de desarrollo, al identificar y solucionar problemas en su etapa temprana. Además, destacan que la innovación constante y la adaptación a nuevas tecnologías son esenciales para mantenerse competitivo en un mercado en evolución. El implementar prototipos avanzados no solo optimiza los procesos actuales, sino que también abre puertas a nuevas oportunidades y aplicaciones, mejorando la flexibilidad y la capacidad de respuesta de los sistemas automatizados.

Después de haber realizado una investigación detallada en artículos académicos y patentes, e.g. (Brinkman, 2024), (Izardel, 2007), (Lumsden et al., 2014), (Rihl, 2009), se evaluaron las ventajas y desventajas del prototipo propuesto basado en una pluma retráctil. Cabe mencionar que este diseño y su mecanismo de accionamiento es totalmente diferente a los presentados en los trabajos previos basados en estructuras de brazo rígido, por lo cual resulta ser muy atractivo.

Ventajas del diseño de pluma retráctil:

- Ofrece una solución novedosa y eficiente para el control de acceso vehicular, proporcionando un aspecto más moderno y tecnológico que el de las plumas tradicionales (Stoller,1990)
- Ocupa menos espacio cuando no está en uso, lo que es un beneficio en lugares con dimensiones limitadas y también mejora la estética del área donde se instala.
- Los componentes utilizados en su fabricación son económicos y fáciles de conseguir, reduciendo así los costos de producción y de reparación.
- Es más robusta y menos propensa a daños físicos en situaciones de uso intensivo y/o vandalismo.

Desventajas del diseño de pluma retráctil:

- Es más susceptible al desgaste, por lo que requiere un mantenimiento más frecuente que las plumas tradicionales.
- Al ser construida en metal experimenta corrosión debida a la humedad del ambiente y a las lluvias.

La contribución principal de este artículo es validar la propuesta de un sistema automatizado para el control de acceso vehicular utilizando tecnología RFID. El diseño de la estructura y su funcionamiento es diferente al de los modelos ya existentes, ya que se basa en un ingenioso mecanismo que permite ocultar la pluma al ser capaz de retraer en su totalidad todos sus elementos móviles.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

Al día de hoy, existen varios sistemas capaces de realizar la función de monitorear la entrada y salida de vehículos en estacionamientos. Sin embargo, tales sistemas tienen la desventaja de que son costosos y necesitan de cuidados muy específicos para realizar su funcionamiento, así como también de personas especializadas para realizar ajustes.

Al plantear este trabajo, desde un inicio se buscó como objetivo principal lograr un sistema que utilizará componentes económicos, fáciles de adquirir y sencillos de manejar. Para poder llevar a cabo esta tarea, primero se realizó un estudio referente a los sistemas de monitoreo que ya han sido previamente desarrollados, y posteriormente se analizaron varias propuestas para identificar sus principios de funcionamiento.

La Figura 1, muestra el diagrama a bloques del sistema propuesto basado en tecnología RFID, el cual es el resultado obtenido después del análisis mencionado anteriormente.

En primera instancia el funcionamiento del sistema mostrado en la Figura 1 comienza una vez que el usuario muestra al lector RFID la etiqueta con el chip de identificación proporcionado (tarjeta, llavero, etc.), lo que genera una excitación en la tarjeta de identificación para que posteriormente el identificador reciba un código ligado a la etiqueta a través de ondas de radiofrecuencia. El microcontrolador Arduino se encarga de registrar este código y también de capturar la hora de registro gracias al módulo RTC DS3231. Una vez que el dato es recibido, a continuación, es procesado por una tarjeta de adquisición de datos y de ahí enviado a través de sus puertos de comunicación mediante un componente que responde al protocolo de comunicación Zigbee hacia otro dispositivo que se encuentra en un lugar remoto. Este receptor tiene almacenada una base de datos con los códigos RFID válidos para posteriormente analizar el código de acceso recibido, y si éste cuenta con los permisos necesarios comunicárselo a la tarjeta de adquisición de datos para que acepte o niegue el acceso. Si la respuesta del sistema es afirmativa entonces presenta al usuario con ese identificador una aceptación. En ese momento el microcontrolador envía una señal para permitir el paso de voltaje de la fuente de voltaje hacia los indicadores del sistema y las entradas digitales del controlador del motor para finalmente retraer la pluma y permitir el acceso al vehículo.

2.1 Módulo de Adquisición de Datos

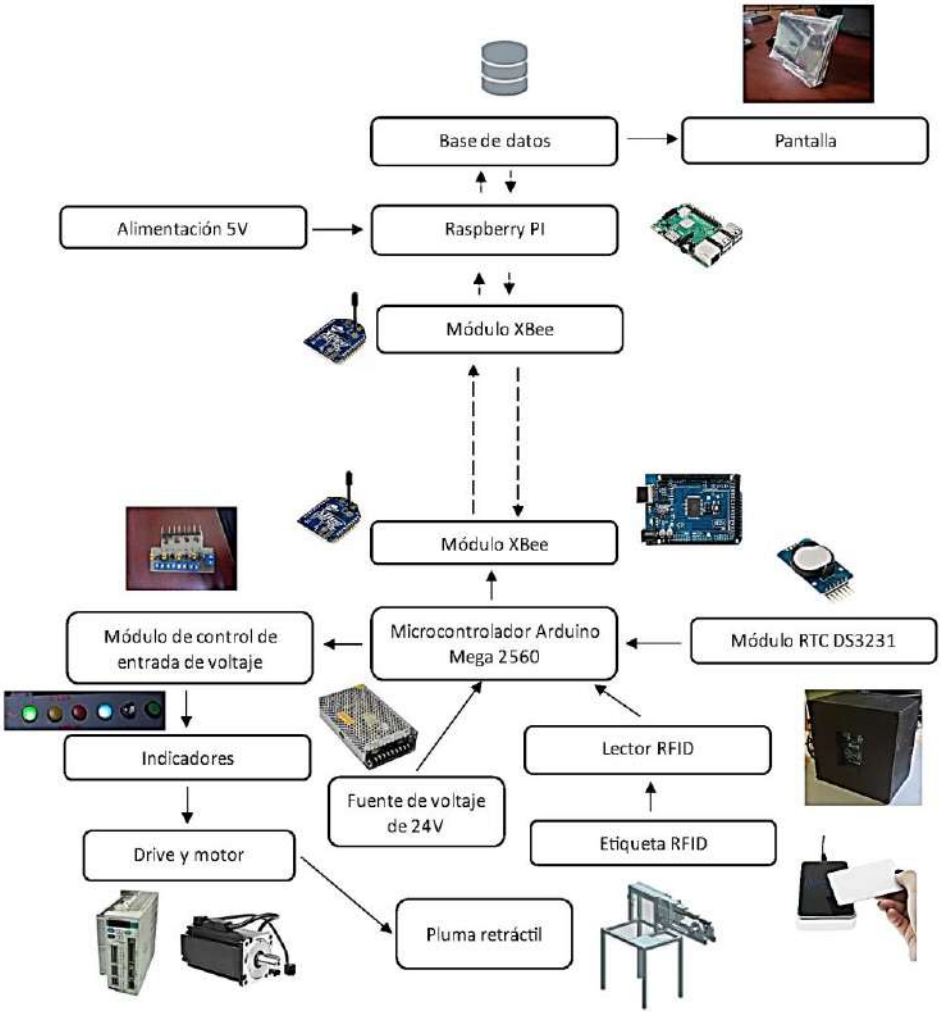
De acuerdo con Blanco et al., un módulo de adquisición de datos o DAQ (Data Acquisition) es un dispositivo diseñado con la finalidad de recopilar información proveniente de sensores y de señales analógicas o digitales en diversos entornos. Su función principal radica en la conversión de estas señales en datos digitales, los cuales pueden ser posteriormente procesados y analizados por sistemas informáticos.

De igual manera, Blanco et al., establecen que este tipo de dispositivos desempeña un papel esencial en aplicaciones que demandan monitoreo y adquisición de datos en tiempo real, como es el caso de sistemas de control industrial, laboratorios de investigación, pruebas de calidad, instrumentación científica, así como en el ámbito general de la automatización. Estos módulos de adquisición de datos actúan como una interfaz crucial entre el mundo analógico, donde se originan las señales físicas, y el mundo digital, donde los datos pueden ser almacenados y procesados con mayor facilidad.

Para la selección del módulo de adquisición de datos a utilizar, se tomaron en consideración algunas plataformas de código libre. Finalmente, se eligió la opción de Arduino® gracias a su flexibilidad y facilidad de uso, a su fácil adquisición y a su bajo

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

Figura 1
Arquitectura del sistema de propuesto basado en tecnología RFID.



costo, así como también a la gran cantidad de información existente de esta plataforma. Otra de las razones principales por las cuales se empleó la placa mostrada en la Figura 2 es su capacidad para acoplarle diversos componentes, ya que la plataforma cuenta con una gran cantidad de pines. Adicionalmente, también se le integró la placa Shield Xbee Pro mostrada en la Figura 3, la cual tiene una gran facilidad de acoplamiento tanto con el módulo microcontrolador como con el módulo de comunicación.

El módulo de adquisición de datos es el encargado de sensar y de registrar tanto los accesos como las salidas de los vehículos, por lo cual se integrará el módulo lector RC522 RFID mostrado en la Figura 4, el cual es un dispositivo que emplea la tecnología de identificación mediante ondas de radio para establecer una comunicación inalámbrica entre un lector y una etiqueta RFID (Selva, 2021).

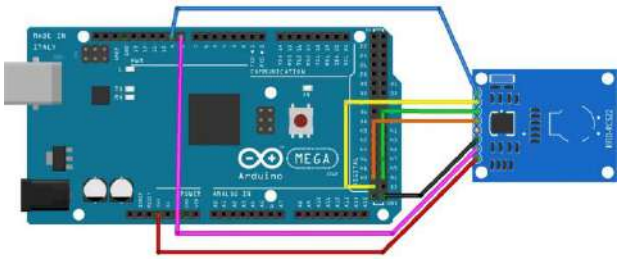
Este módulo funciona con una alimentación de 3.3 V, por lo que se conecta directamente con la tarjeta Arduino®. De igual manera, se integró al módulo recolector de datos, un reloj de tiempo real RTC DS3231 para poder monitorear la hora de entrada y de salida cada vez que el lector RFID detecte un tag válido.

Figura 2
Placa Arduino® Mega 2560 (Arduino, 2024).

Figura 3
Shield Xbee Pro para Arduino® (Digi, 2019).

Figura 4
RC522 RFID (Handson, 2022).

Figura 5
Conexión entre el Arduino® Mega 2560 y el módulo RC522 RFID (Selva, 2021).



La manera de conectar el módulo RFID al Arduino® varía dependiendo del modelo de la placa que se utilice.
En la Figura 5, se muestra la conexión entre la placa de Arduino® Mega 2560 y el módulo RC522 RFID.
La Tabla 1, resume la conexión entre los pines de estos dispositivos.

Tabla 1
Conexiones entre pines del Arduino® Mega 2560 con el módulo RC522 RFID (Selva, 2021).

Módulo RC522	Arduino® Mega 2560
SDA	D9
SCK	D52
MOSI	D51
MISO	D50
IRQ	N/A
GND	GND
RST	D8
3.3V	3.3V

Como el sistema propuesto se centra en un dispositivo capaz de controlar el acceso vehicular en centros públicos de estacionamiento con afluencia continua, y que está compuesto de dos diferentes dispositivos, se requiere que la comunicación entre ambos sea de forma inalámbrica. Así, para enviar y recibir la información, se conectó al módulo de adquisición de datos el dispositivo de comunicación Xbee mostrado en la Figura 6, el cual trabaja bajo el protocolo de comunicación de ZigBee.

Figura 6
Módulo de comunicación Xbee (Digi, 2019).

Zigbee es un protocolo de comunicación inalámbrica creado específicamente para aplicaciones que requieren bajos niveles de consumo de energía. Su desarrollo se centró en ofrecer una solución confiable y eficiente para facilitar la comunicación entre dispositivos en diversos entornos, como domótica, automatización industrial, atención médica, supervisión de sensores y otras aplicaciones afines (Gislason, 2008).
El módulo de comunicación XBee es un producto creado por la compañía Digi International. Estos módulos XBee incorporan el protocolo Zigbee y ofrecen una interfaz sencilla para facilitar la comunicación inalámbrica en redes Zigbee.
Para la programación del módulo de comunicación se utilizó el software XCTU proporcionado por Digi International. Los módulos de comunicación tienen dos modos de programación y se pueden definir como módulos coordinadores o módulos de adquisición de datos. Esto se hace mediante la modificación de los parámetros del módulo, tal y como se muestra en la Figura 7.

Figura 7
Programación del modo de los módulos de comunicación Xbee.

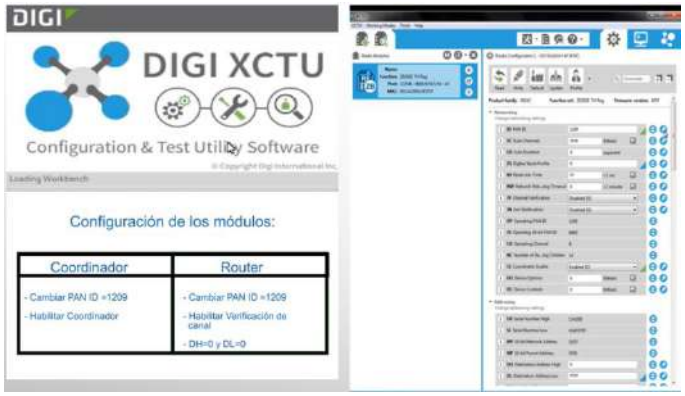


Figura 8

Módulo de adquisición de datos.

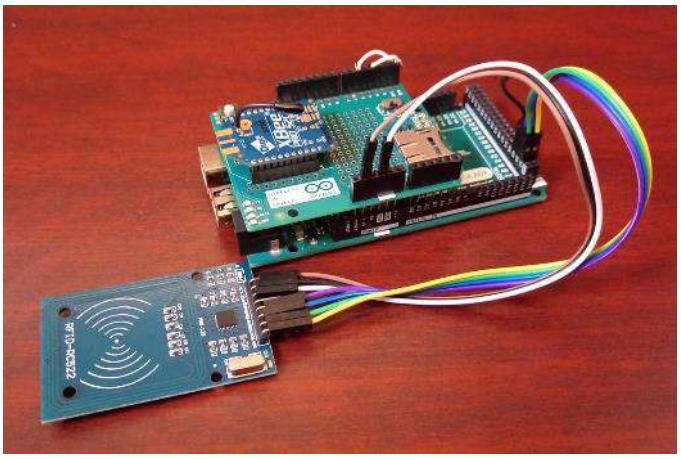
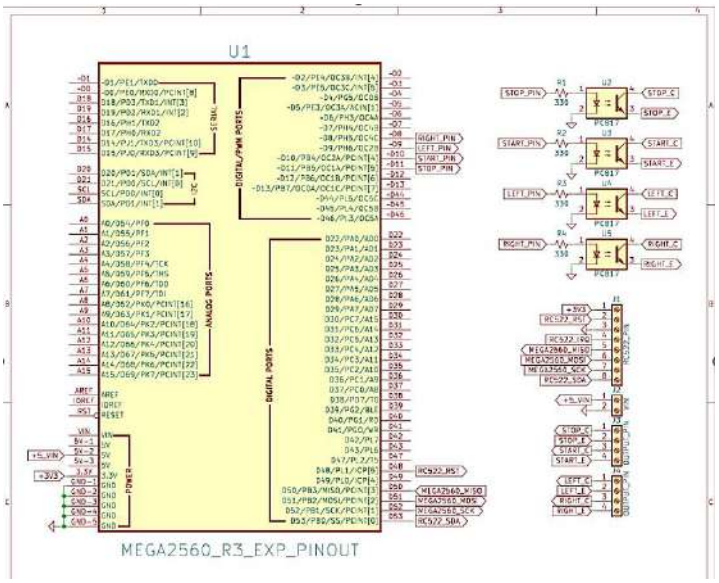


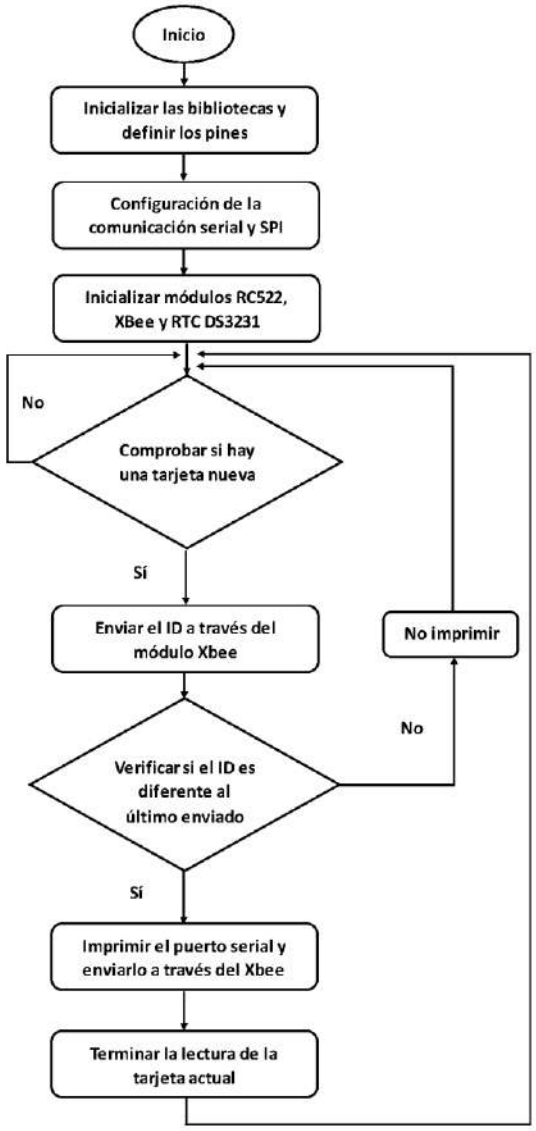
Figura 9
Diagrama de conexiones del módulo de adquisición de datos.



En el caso del módulo de adquisición de datos se programó como con el modo de adquisición. Una vez configurados los dispositivos de forma individual, el paso siguiente fue el montaje del módulo de adquisición de datos mostrado en la Figura 8, para después comenzar con el desarrollo del algoritmo necesario para el correcto funcionamiento del módulo. De igual manera, la Figura 9 muestra un esquema del diagrama de conexiones del módulo de adquisición.

Para el desarrollo del algoritmo lógico del funcionamiento del módulo de adquisición, se siguió el diagrama de flujo mostrado en la Figura 10. Este diagrama muestra el proceso y las acciones a realizar, además de algunas tomas de decisión necesarias para que el módulo funcione de la manera deseada

Figura 10
Diagrama de flujo para algoritmo del módulo de adquisición.



2.2 Módulo Controlador

Un módulo de control es un dispositivo electrónico diseñado para gestionar y regular el funcionamiento de sistemas o procesos. Su objetivo principal es tomar decisiones basadas en la información recopilada por medio de módulos de adquisición que cuentan con sensores y dispositivos asociados, para así mantener o modificar el estado de un sistema conforme sea necesario (Gallardo y Villazón, 2018).
Para el desarrollo del módulo de control se requirió utilizar un dispositivo que fuera capaz de evaluar y controlar eficientemente los procesos del sistema, por lo cual se eligió la tarjeta Raspberry Pi versión 3 mostrada en la Figura 11. Raspberry es mini ordenador de bajo costo y tamaño compacto con diversas utilidades, como por ejemplo navegar por internet, jugar juegos, programar y más (Kempler et al., 2012).

Figura 11
Raspberry Pi 3 (Kempler et al., 2012).

El motivo principal por el cual se optó utilizar una Raspberry fue por su facilidad de manejo, además de su adaptabilidad para ser integrada en diversas aplicaciones. En este trabajo, la Raspberry cumplió el objetivo de administrar toda la información que le fuera enviada por el módulo receptor con los datos RFID.
Al igual que en el caso del módulo de adquisición, también se empleó un dispositivo de comunicación Xbee, pero a diferencia del otro, éste fue configurado como módulo coordinador. Para poder conectar físicamente los puertos de la Raspberry con los pines del dispositivo de comunicación se utilizó el módulo de acoplamiento Raspberry Pi XBee Shield V2 mostrado en la Figura 12.

Este módulo es colocado de forma directa sobre la Raspberry Pi y proporciona una interfaz tanto física como eléctrica para conectar fácilmente y de manera segura módulos XBee, los cuales tienen un zócalo compatible. Además, este módulo de adaptación incluye circuitos de regulación de voltaje y la lógica necesaria para adaptar las señales entre la Raspberry Pi y el módulo XBee.
Asimismo, es necesario ver el contenido de la Raspberry al utilizarlo como si fuera un miniordenador, por lo que para visualizar toda la información de manera simultánea y seguir con el proceso de configuración de la tarjeta se le conectó el monitor mostrado en la Figura 13.

Figura 12
Raspberry Pi XBee Shield V2 (Raspberry, 2020).

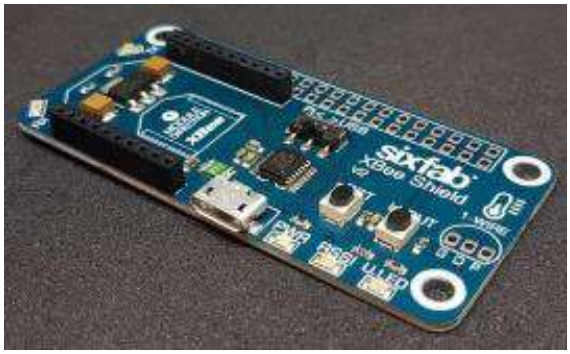
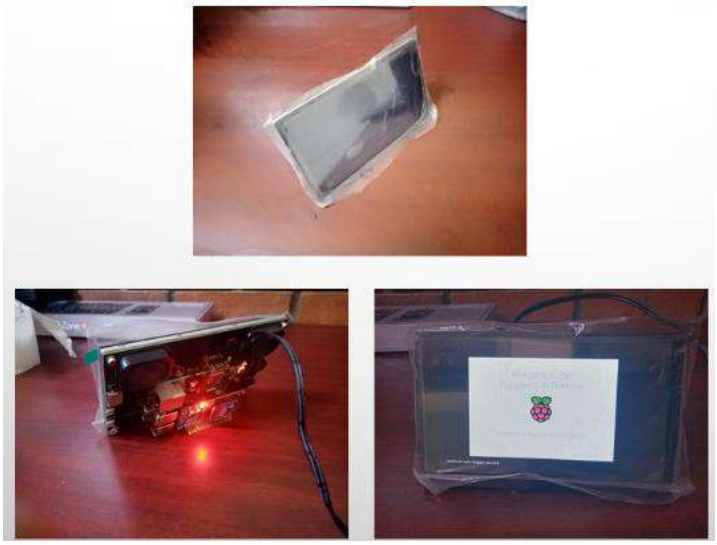


Figura 13
Monitor conectado a la Raspberry Pi 3.



Una vez que la Raspberry se conectó al monitor, se procedió a realizar los ajustes básicos mostrados en la Figura 14, como son las actualizaciones de la tarjeta y la instalación de los paquetes necesarios para iniciar con el desarrollo del sistema. Raspberry utiliza el sistema operativo Raspbian, el cual es de licencia libre y está basado en Debian.

Figura 14
Configuración del sistema y descarga de paqueterías.

Después que se configuró el módulo coordinador, se procedió a realizar un programa capaz de recibir la información del módulo de adquisición. Para poder desarrollar este programa, se utilizó uno de los editores que vienen por defecto dentro del sistema de la Raspberry y se utilizó el lenguaje de programación de Python. A continuación, se muestra el código fuente para la recepción de información a través del puerto de consola de la Raspberry.

```
1.  #!/usr/bin/env python3
2.  import os,time
3.  import serial
4.  import RPi.GPIO as GPIO
6.  pin = 23
7.        GPIO.setmode(GPIO.BCM)
8.        GPIO.setwarnings(False)
9.        GPIO.setup(pin,GPIO.OUT)
```

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

```
10.
11.       ser = serial.Serial('/dev/ttys0',
12.         baudrate = 9600,
13.         timeout =  1 )
15.      #counter = 0
16.      Time.sleep(3)
17.  try:
18.   while True:
19.    #time.sleep(1)
20.    #print ("sending data to Arduino…")
21.    #ser.write("Hola desde Raspberry pi\n ".encode('utf-8'))
22.              Time.sleep(0.01)
23.              while ser.in_waiting > 0:
24.                   x = ser.readline().decode('utf-8')
25.                   print (x)
26.  except KeyboardInterrupt:
27.      print("Cerrando comunicación…")
28.      time.sleep(1)
29.      ser.close
```

2.3 Diseño y Fabricación del Prototipo

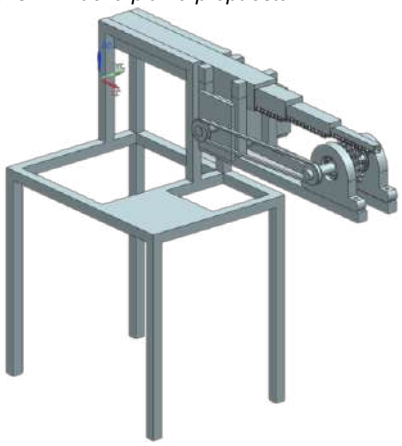
En este proyecto se optó por desarrollar una estructura que no solo cumpliera con las funciones de una pluma de estacionamiento, sino que también fuera algo diferente y de bajo costo. Por lo que después de desarrollar una exhaustiva investigación se decidió fabricar el prototipo presentado. En la investigación realizada se compararon las características y los costos de varios modelos existentes en el mercado. El resultado fue que estos sistemas son de un costo muy elevado debido a sus componentes y a sus mecanismos de accionamiento como lo son los pistones hidráulicos.

Para diseñar el prototipo de la estructura que controlará el acceso vehicular en los estacionamientos se utilizó el software de Siemens NX®. Para esto, se propuso una pluma retráctil, la cual es capaz de alargarse y retraerse gracias un mecanismo conformado por secciones móviles.

El prototipo desarrollado se compone primero de una base, la cual se anclará al suelo y se encargará de soportar a todo al prototipo y de mantener estabilidad de la estructura. Para lograr el movimiento lineal de los elementos móviles de la pluma se diseñó una trasmisión que convirtiera el movimiento circular de un motor acoplado mediante una cadena a un eje constituido por engranajes. Estos engranes se unen a los elementos móviles mediante porciones de cadenas soldadas lateralmente a las secciones móviles, logrando así que el motor provea la fuerza para alargar y retraer los elementos de la pluma.

En la Figura 15, se muestra el diseño del prototipo de la pluma desarrollado en NX. Gracias a esta herramienta CAD/CAM/CAE se determinaron cada uno de los elementos necesarios para el prototipo y también se realizaron varias animaciones del mecanismo. Una vez verificado su correcto funcionamiento en ambas direcciones, se procedió primero a construir la estructura físicamente utilizando perfiles PTR de varios calibres.

Figura 15
Diseño en Siemens NX® de la pluma propuesta.



En la Tabla 2, se enlistan los materiales utilizados para la fabricación del prototipo, donde cada uno de sus elementos tiene una función específica muy importante. Además, se muestra el costo de cada elemento para así poder estimar el costo total aproximado de la inversión realizada. El prototipo construido consta de 3 partes principales: 1) la base, 2) la trasmisión y, 3) el mecanismo móvil. Una vez que se terminaron de fabricar cada una de las partes, éstas se montaron y finalmente se verificó su funcionamiento de manera manual y a baja velocidad.

Tabla 2
Materiales utilizados en la fabricación del prototipo.

CANTIDAD	MATERIAL	COSTO (MXN)
1	1m de perfil rectangular de 2*4, calibre18	$150
1	1m de perfil rectangular de 1½ *3, calibre18	$125
1	1m de perfil rectangular de 1*2, calibre18	$110
1	1.5m de perfil rectangular de ½ *1, calibre18	$100
3 (tramos de 4m)	12m de perfil cuadrado de 1*1, calibre18	$450
2	Chumaceras de ½	$300
1	Barra circular de ½	$50
1	Piñón de bicicleta de cambios	$75
3 (tramos de 1m)	3m de cadena de bicicleta	$150
	TOTAL	$1,510

En la Figura 16, se muestra el prototipo inicial construido, en el cual se pueden identificar los elementos mencionados anteriormente.

2.4 Actuador

En la Figura 17, se muestra el actuador que fue integrado en el prototipo, el cual consiste de un Servomotor SureServo SVL-207B controlado mediante el drive SVA-2100. Se eligió este par de componentes no solo por su compatibilidad sino por las características que ofrecen en cuanto al control preciso de la

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

posición y la velocidad. También es importante mencionar que la capacidad del torque generado por este servomotor excede el necesario en la presente aplicación, por lo cual con el objetivo de reducir el costo del prototipo éste se puede reemplazar con otro de menor potencia.

Figura 16
Prototipo inicial de la pluma propuesta.

En la Figura 18, se muestra el prototipo de la pluma ya con el motor y el drive montados. Asimismo, se puede observar la cadena de acoplamiento entre el motor y el eje de engranes.

Figura 17
Drive y motor utilizados en el prototipo de la pluma.

Figura 18
Prototipo de la pluma con el drive y motor ya montados y acoplados.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Funcionamiento del Sistema

Antes de conectar el actuador y el prototipo físico con el sistema de control, se realizó una prueba preliminar para verificar que el sistema funcionara correctamente y que enviará una secuencia de señales cuando detectara un tag válido, y así poder indicarle al actuador cuando comenzar y cuando detenerse. Para realizar estas pruebas se montó el banco mostrado en la Figura 19, el cual está conformado por una fuente, el módulo de adquisición, el módulo de control y los indicadores luminosos para mostrar la secuencia lógica de funcionamiento.
El sistema probado cuenta con las tres secuencias mostradas en la Figura 20. La primera indica una señal de arranque y el giro del actuador en sentido horario, la segunda representa el paro del motor, y la tercera es el arranque y giro del actuador en sentido antihorario.

3.2 Pruebas con el Prototipo Completo

La última etapa en el desarrollo de la pluma consiste en unir todos los elementos que componen el sistema automatizado, para lo cual se integraron el prototipo físico, la transmisión, el controlador y el sistema de adquisición de datos. Posteriormente, se verificó su funcionamiento realizando una serie de pruebas. En la primera, la pluma mantiene todos sus elementos móviles completamente extendidos, para así simular el bloqueo al acceso vehicular, tal y como se muestra en la Figura 21. Una vez que el módulo lector detecta un tag, el sistema analiza su validez, y en

Figura 19
Banco de pruebas para evaluar el funcionamiento del sistema.

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

Figura 20
Secuencias de trabajo del actuador.

Figura 21
Pluma extendida para bloquear el acceso vehicular.

Figura 22
Pluma con las secciones móviles en proceso de retracción para desbloquear el paso.

Figura 23
Pluma con las secciones móviles completamente guardadas y controlador en espera que pase el vehículo.

En caso de que sea aprobado entonces permite el acceso y las partes móviles comienzan a retraerse hasta entrar casi por completo dentro de la guarda secciones. Este procedimiento de retracción, se muestra en la Figuras 22 y 23. Después, el controlador espera unos segundos, simulando así el tiempo que tarda un vehículo en pasar, y finalmente el controlador activa el actuador y la pluma extiende nuevamente sus secciones para volver a bloquear el paso y esperar la lectura de un nuevo tag.

IV. CONCLUSIONES

Este trabajo presentó el desarrollo de un sistema innovador, funcional y eficiente para la gestión de acceso vehicular a través de la implementación de tecnología RFID.

La integración en la pluma propuesta de la tarjeta Arduino, la Raspberry Pi, el módulo de reloj, los módulos de comunicación inalámbrica, el drive y el motor, junto con los elementos mecánicos de engranes, cadenas, y secciones de PTR mostraron una excelente sinergia donde todos sus componentes tuvieron un muy buen desempeño. Asimismo, el software desarrollado en lenguaje C y en Python funcionaron muy bien. Además, el diseño en NX® fue muy útil antes de pasar al proceso de fabricación.

La capacidad del sistema para registrar y monitorear en tiempo real los eventos de acceso vehicular proporciona una herramienta valiosa para el cobro de la tarifa por el servicio, así como para la administración y la seguridad en los estacionamientos.

Las simulaciones y pruebas realizadas validaron su buen desempeño y efectividad, demostrando que puede operar de manera consistente y confiable en condiciones reales.

El prototipo final construido tiene el potencial para ser una solución competitiva en el mercado.

V. AGRADECIMIENTOS

O. F. González-Ramírez agradece al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el apoyo económico otorgado en el marco del "Programa de Becas Nacionales para Estudios de Posgrado" con número de solicitud 2022-000018-02NACF-14546.
Los autores también agradecen al TecNM, al Instituto Tecnológico Superior de Lerdo (ITSL) y al Instituto Tecnológico de La Laguna por el apoyo económico recibido para el desarrollo del presente trabajo de investigación.
Igualmente, agradecemos al Mtro. Víctor Edi Manqueros Avilés, por el apoyo brindado en el desarrollo de las pruebas y la obtención de los resultados experimentales con el drive SVA-2100 y el servomotor SureServo SVL-207B.

VI. REFERENCIAS

Arduino. (2024). Guía de Modelos Arduino y sus Características: Arduino Mega 2560. *BricoGeek Lab*. Modelos de Arduino. https://lab.bricogeek.com/tutorial/guia-de-modelos-arduino-y-sus-caracteristicas/arduino-mega-2560

Blanco, F., Massaferro, P. y Torterolo, S. (2008). ADQ-VX. [Tesis de Ingeniería. Universidad de la República de Uruguay]. https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/2795/1/BMT08.pdf

Brinkman, J. y Perez, R. (2024). Vehicle Barrier Gate Arm Having Anti-Roll End Cap. (*United States Patent*). https://patentimages.storage.googleapis.com/10/e4/b8/46f7a5118fe9bd/US11873609.pdf

Castillo, M. G. y Angel, D. M. A. (2019). *Construcción de un Prototipo de Aplicación Local para el Control de Acceso de Personal Utilizando Tecnología RFID en la Universidad de Cundinamarca Facatativá* [Tesis de Ingeniería, Universidad de Cundinamarca]. https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/bitstream/handle/20.500.12558/2037/CONSTRUCCI%C3%93N%20DE%20UN%20PROTOTIPO%20DE%20APLICACI%C3%93N%20LOCAL%20PARA%20EL%20CONTROL%20DE%20ACCESO%20DE%20PERSONAL%20UTILIZANDO.pdf?sequence=1

Digi (2019). *Comparación de Módulos XBee Más Populares - XBee.cl*. Comunicación Inalámbrica Para Tus Proyectos. https://xbee.cl/comparativa/

Gallardo, E. E., y Villazón, A. (2018). Sistema de Monitoreo energético y Control Domótico Basado en Tecnología “Internet de las Cosas.” *Revista Investigación & Desarrollo*, 18(1), 103–116. https://doi.org/10.23881/idupbo.018.1-8i

Gislason, D. (2008). *Zigbee Wireless Networking,* 1st ed (Burlington: Newnes)

Handson (2022). *RC522 RFID Development Kit*. Handson Technology Data Specs [Archivo PDF]. http://www.handsontec.com/dataspecs/RC522.pdf

Izardel, L. (2007). Vehicle Barrier with Light. (*United States Patent Patent*). https://patentimages.storage.googleapis.com/32/7e/f2/ba55f727f7769a/US7258461B1.pdf

Kempler, C., Hall, H., y Finn, C.E. (2012). Raspberry. In: Badenes, M., Byrne, D. (eds) Fruit Breeding. *Handbook of Plant Breeding*, vol 8. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-0763-9_8

Lumsden, R., Sirju, J., y Fortney, B.C. (2014). Vehicle Barrier System with Illuminating Gate Arm and Method. (*United States Patent*). https://patentimages.storage.googleapis.com/4c/bb/ec/20a5d8e5c99ad9/US20140363229A1.pdf

Raspberry. (2020). Sixfab XBee Shield V2 at Raspberry Pi GPIO Pinout. https://pinout.xyz/pinout/sixfab_xbee_shield_v2

Rihl, M. (2009). Boom Barrier. (*United States Patent*). https://patentimages.storage.googleapis.com/69/91/3b/09d3fa1392913e/US20090244889A1.pdf

Sanchis Llopis, R., Ariño Latorre, C. V., y Romero Pérez, J. A. (2010). *Automatización industrial*. Publicacions de la Universitat Jaume I, Servei de Comunicació i Publicacions.

Selva, J. (2021). Interfacing RFID-RC522 with Arduino Mega a Simple Sketch. *Instructables*. https://www.instructables.com/Interfacing-RFID-RC522-With-Arduino-MEGA-a-Simple-/

Stoller, D. (1990). Parking Space Barrier. (*United States Patent*). https://patentimages.storage.googleapis.com/c3/84/f2/18ed9a79add4b5/US4941284.pdf

VII. AUTORES

Óscar Francisco González Ramírez
https://orcid.org/0000-0001-5226-4575

Jorge Lara Cardoso
https://orcid.org/0000-0002-2746-7044

Concepción Hernández Flores
https://orcid.org/0000-0002-4757-530

Marco Antonio Arjona López
https://orcid.org/0000-0003-1826-4066

Luis Amado González Vargas
https://orcid.org/0009-0008-9094-6188

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

Diseño y Programación de un Prototipo de Escáner en 2D para la Identificación de patrones y figuras Geométricas Básicas en Objetos a Través de Diversos Sensores y Microcontroladores

Machado-Díaz, E.[1] ✉; Vaquera-González, E.[1]; Román-Landeros, D.A.[1]

Datos de Adscripción:
[1]Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, División de Ingeniería en Sistemas Automotrices, Av. Tecnológico No. 1555 Sur Periférico Gómez - Lerdo Km. 14.5, Ciudad Lerdo, Estado de Durango C.P. 35150.

✉ eduardo.md@itslerdo.edu.mx

Resumen **- El escáner 2D permite automatizar el proceso de reconocimiento de patrones y figuras geométricas en objetos reales. Esto ahorra tiempo y reduce la posibilidad de errores humanos en comparación con métodos manuales de identificación. En entornos de ingeniería y manufactura, este tipo de escáner es invaluable para verificar la precisión de componentes, identificar defectos y asegurar la conformidad con especificaciones técnicas, lo que contribuye a mejorar la calidad de los productos. La propuesta del proyecto abarca el diseño y programación de un escaner en 2D que permita identificar patrones y objetos con figuras geométricas básicas para la futura detección de fallas en piezas o procesos industriales que requieran una medición de las dimensiones de los objetos que se producen en distintos ámbitos. En primer lugar, se presentan experimentaciones con diferentes tipos de sensores (láser, ultrasónicos e infrarrojos) así como con diferentes plataformas de desarrollo como lo son Arduino, Raspberry Pi y el microcontrolador ESP32 para realizar una comparación de funcionamiento e identificar la plataforma con mejores resultados. Posteriormente, se exponen pruebas de funcionamiento a través de una interfaz visual que permita observar el patrón escaneado o la figura del objeto con el que se está trabajando. Así mismo, se plantean los circuitos necesarios para cada uno de los sensores y actuadores aplicados en las diferentes etapas del desarrollo para brindar alternativas de solución en proyectos que requieran este tipo de dispositivos.**

Palabras Clave **- Escáner 2D, Figuras, Microcontroladores, Patrones, Prototipo, Sensores**

Abstract **- The 2D scanner with sensors allows for the automation of pattern recognition and geometric shape identification in real-world objects. This saves time and reduces the potential for human errors compared to manual identification methods. In engineering and manufacturing environments, this type of scanner is invaluable for verifying component accuracy, detecting defects, and ensuring compliance with technical specifications, thereby enhancing product quality. The project proposal encompasses the design and programming of a 2D scanner capable of identifying patterns and objects with basic geometric shapes for future fault detection in parts or industrial processes that require measurement of object dimensions across various domains. Firstly, experiments are conducted using different types of sensors (laser, ultrasonic, and infrared) as well as different microcontrollers such as Arduino, ESP32, and Raspberry Pi to compare functionality and identify the platform yielding the best results. Subsequently, functional tests are presented through a visual interface enabling observation of the scanned pattern or object figure being worked on. Furthermore, the necessary circuits for each sensor and actuator used in different development stages are proposed to provide solution alternatives for projects requiring such devices.**

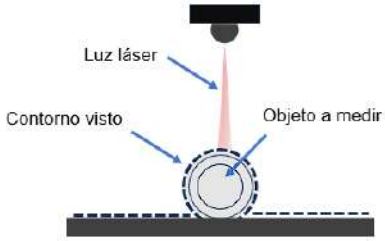
Keywords **- 2D scanner, Figures, Microcontollers, Patterns, Prototype, Sensors**

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Escaner de una dimensión o de patrón lineal.

Un escáner de patrones lineales es un dispositivo óptico-electrónico utilizado para capturar imágenes o información de objetos mediante la detección de patrones lineales.
Este tipo de escáner opera mediante la emisión de un rayo de luz, generalmente un láser, que se proyecta sobre el objeto a escanear. La luz reflejada es capturada por un sensor que convierte esta información en señales electrónicas, las cuales son posteriormente procesadas y convertidas en datos digitales (Rodríguez, 2013). La Figura 1, muestra una referencia visual del funcionamiento de este tipo de dispositivos.

Figura 1.
Principio de funcionamiento de un escáner en 1D. (Fuente: Revolveai)



Una evolución de los escáneres de una dimensión es el "Light Detection and Ranging" (LIDAR), que se traduce al español como Detección y Rango de Luz. Esta tecnología se basa en la utilización de pulsos de luz láser para medir distancias precisas y mapear objetos o superficies en tres dimensiones. Entre sus aplicaciones principales se encuentran (Gesteira, 2023):

- Cartografía y topografía: Se utiliza para crear mapas topográficos detallados y modelos digitales del terreno, esenciales para la planificación urbana, la gestión de recursos naturales y la arqueología.

- Automoción y vehículos autónomos: En la detección y evitación de obstáculos, facilitando la navegación segura y precisa.
- Ingeniería Civil y construcción: Utilizado para inspeccionar estructuras, medir distancias y volúmenes, y supervisar proyectos de construcción con alta precisión.

Esta tecnología puede ser utilizada en la detección de deformaciones en piezas mediante la generación de mapas tridimensionales detallados de las superficies de las piezas antes y después de la exposición a condiciones que puedan causar deformaciones. A continuación, se presentan algunos antecedentes de sistemas similares aplicados en diferentes rubros para la detección de patrones.

1.2 Reconstrucción a base de nube de puntos en ingeniería civil.

En el trabajo presentado por (Meza, 2023), se describe la ingeniería que permite generar un modelo tridimensional utilizando una nube de puntos obtenida mediante el escaneo de objetos con un sensor LiDAR de bajo costo. Este proceso se inicia con la recopilación de datos, es decir, la captura de imágenes. A continuación, se procede al procesamiento de todas las vistas parciales dentro de un sistema de referencia común. Después, se integran todas estas vistas parciales en una única malla.
Debido a la cantidad de parámetros implicados en las etapas anteriores, siempre se incluye una etapa final de procesamiento para eliminar errores o mejorar los resultados obtenidos. El procesamiento puede abarcar una variedad de operaciones. Finalmente, a partir de las mallas se pueden generar superficies, las cuales se refinan para crear modelos sólidos que pueden visualizarse en diversos sistemas.

1.3 Monitoreo 3D de construcciones con LIDAR.

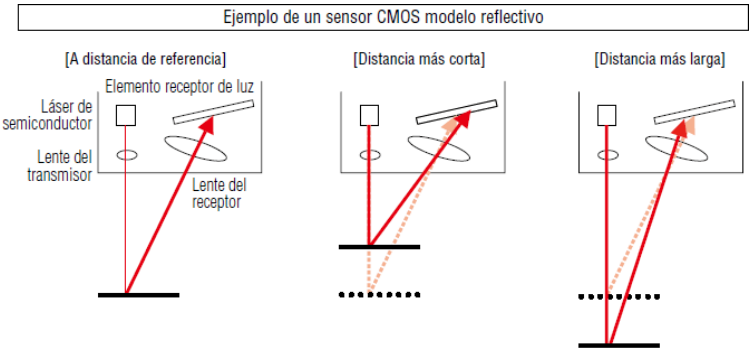
Así mismo, en la investigación de (Tipismana de la Cruz, 2023) se plantea un sistema LiDAR 3D de bajo costo el cual se logró utilizando un sensor LiDAR 1D, servomotores y una placa Arduino, junto con otros componentes.
El sistema se programa para tomar mediciones mientras el dispositivo se mueve horizontalmente de 0° a 180° en sentido horario y verticalmente de 0° a 90° de abajo hacia arriba. Además, se diseña un programa interactivo para la recolección de datos y un entorno gráfico que permite representar la nube de puntos en tres dimensiones.
Este dispositivo está destinado a monitorear las pendientes de los taludes y estimar el volumen de tierra removido en obras. Los resultados obtenidos demuestran la efectividad del sistema LiDAR 3D de bajo costo desarrollado.

1.4 Medición de patrones lineales utilizando sensor láser de triangulación.

Los sensores de desplazamiento láser emplean la técnica de triangulación láser para medir la altura de un píxel desde un plano base calibrado, que puede considerarse como el punto "cero" en un gráfico de línea.
En su operación, estos sensores proyectan una línea láser sobre un objeto, ya sea estático o en movimiento. La luz reflejada es detectada por un sensor digital situado a una distancia y ángulo predefinidos del generador de línea láser, que forma parte del sensor de desplazamiento láser.

El software de triangulación láser, que funciona dentro del sensor, reconstruye el mapa de la superficie o la nube de puntos basándose en las variaciones de la forma de la línea láser proyectada conforme se desplaza sobre el objeto. Posteriormente, los resultados obtenidos se transmiten al dispositivo de control correspondiente, a los sistemas de manejo de materiales o al software de seguimiento de producción, para que se tomen las acciones necesarias. La descripción gráfica del funcionamiento de los sensores de desplazamiento láser se muestra en la Figura 2.

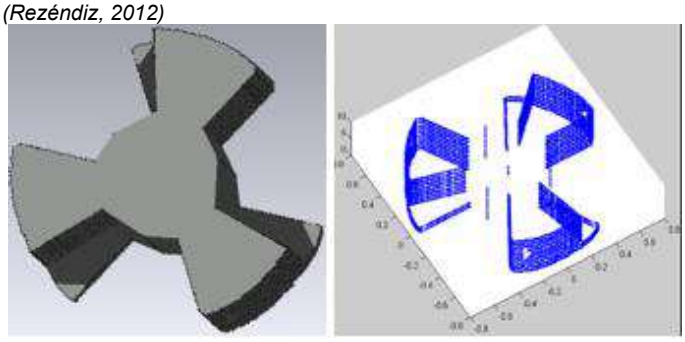
Figura 2.
Ejemplo de funcionamiento de un sensor de triangulación Láser (Fuente: Keyence)



1.4.1 Aplicación de sensores láser de desplazamiento para medir la duración de herramientas de corte.

La duración de la herramienta de corte es un factor que se tiene que tomar en cuenta en cuestión monetaria, por lo que cualquier mejora en la misma o en el material de fabricación que prolongue su vida útil es deseada. Esto se debe a que el desgaste de la herramienta durante el proceso de mecanizado altera las condiciones de la superficie de las piezas que se están manufacturando.
En estudio presentado por (Rezéndiz, 2012), se presenta una técnica para visualizar el desgaste de la herramienta, calculado directamente a partir de un sensor de desplazamiento láser. La Figura 3, muestra el ejemplo de aplicación de la investigación.

Figura 3.
Medición de desgaste de herramientas utilizando sensor láser (Rezéndiz, 2012)



Este sensor mide la distancia que hay entre el extremo de la herramienta y su perfil. Las mediciones fueron tomadas fuera de línea y tenían una precisión de solo 0.1 micras. Los resultados

experimentales se obtuvieron utilizando una herramienta de fresado vertical con tres inserciones y un diámetro de 2.54 cm.
Un sensor láser de desplazamiento LK-G10 de la marca KEYENCE con una distancia de referencia de 10 mm y un rango de medición de ±1 mm se incluye en el arreglo experimental de este estudio. Este sensor funciona con 24V DC y 300 mA de corriente. Además, se empleó un motor a pasos con un desplazamiento de 1.8o, controlado por un controlador PIC-Step que permite obtener pasos medios y una resolución de 0.9o entre pasos, lo que permite obtener 400 puntos por cada giro completo de la herramienta de corte.
El controlador PIC-Step se conectó a una interfaz SSA-485, una tarjeta que sirve como convertidor de USB/RS232 a RS485, lo que le permite comunicarse con varios módulos a través del puerto USB de la PC.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

2.1 Metodología del prototipo.

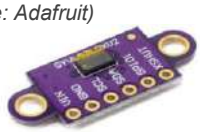
De acuerdo al estudio del arte realizado y de las propuestas investigadas, se pretende realizar un prototipo basado en un sensor de tiempo de vuelo Vl53l0x que realice la función de escáner en 2D. Es decir, realizar una base móvil sobre un eje que permita al sensor detectar variaciones en una distancia lineal. Así mismo, se ha analizado las características del dispositivo para que esté lo más cercano posible a las especificaciones brindadas para el desarrollo del proyecto.
Debido a que los sensores de triangulación láser tienen un costo elevado y de difícil adquisición se opta por la tecnología de tiempo de vuelo. Si bien el prototipo se plantea como una solución funcional, se pretende en primeras fases, disminuir los costos.
La primera etapa consiste en la investigación del estado del arte de proyectos similares al establecido, así como los elementos y sensores utilizados. Posteriormente, de acuerdo a las capacidades de adquisición de equipo y materiales, se definen los sensores y actuadores a aplicar.
Una vez que se tienen los materiales indicados se prosigue con los programas de prueba para la medición de distancia básica a través del módulo láser. Se plantea el uso de diversos microcontroladores para realizar una comparativa de funcionamiento.
A la par del desarrollo de los programas base para la medición de distancia, se tiene definida una etapa de diseño del actuador lineal que realizará el desplazamiento sobre el eje permitiendo al láser hacer las mediciones correspondientes. Esta etapa se llevará a cabo a través de software de Diseño Asistido por Computadora, particularmente el NX de Siemens ®.
Con las piezas del actuador diseñadas, se sigue con la fabricación que, principalmente, se tiene prevista mediante manufactura aditiva o impresión 3D.
Teniendo los apartados de instrumentación y mecánicos realizados, se comenzará con la combinación de ambos a través de la programación conjunta del sistema de medición y del movimiento lineal. Es importante, en esta parte del proyecto, tomar en cuenta los posibles errores que puedan generarse por las vibraciones mecánicas.
Por último, se presenta la elaboración de una interfaz visual sencilla que permita observar de forma gráfica las mediciones obtenidas al momento de realizar el “barrido” del sensor láser mediante el actuador lineal. Con las pruebas realizadas, se lleva a cabo la retroalimentación y mejora del prototipo para su posterior aplicación con sensores de mayor coste y, por ende, mejores resultados.

2.2 Materiales

2.2.1 Sensor VL53L1X

El sensor VL53L1X es un sensor de distancia láser de alta precisión diseñado para medir distancias de manera precisa y rápida en una variedad de aplicaciones. Utiliza tecnología de tiempo de vuelo (ToF) para calcular la distancia entre el sensor y el objeto objetivo. La Figura 4, muestra una imagen del sensor en cuestión.

Figura 4.
Sensor VL5310X (Fuente: Adafruit)



Es especialmente notable por su capacidad de medir distancias de hasta varios metros con una alta resolución y precisión, lo que lo hace ideal para aplicaciones que requieren detección y seguimiento de objetos en movimiento o que necesitan medidas precisas de distancias. Sus principales características se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1.
Especificaciones técnicas del sensor VL5310X

Característica	Descripción
Rango de medición	Hasta varios metros, dependiendo de la configuración
Resolución	Hasta 1 mm
Precisión	Alta precisión en la medición de distancias
Tecnología	Basado en tiempo de vuelo (ToF)
Velocidad de medición	Rápida y precisa
Interfaces de comunicación	I2C, SPI
Consumo de energía	Bajo consumo
Aplicaciones típicas	Detección de objetos, seguimiento, medición de distancias

2.2.2 Sensor VL6180X

El sensor VL6180X es un sensor de distancia y detección de proximidad de alta precisión que utiliza tecnología de tiempo de vuelo (ToF) para medir la distancia entre el sensor y el objeto objetivo. Este sensor es conocido por su capacidad para medir distancias de manera precisa y rápida en una amplia gama de aplicaciones. Además de la medición de distancia, el VL6180X también puede detectar la proximidad de objetos sin contacto físico, lo que lo hace útil en sistemas de detección y control. El sensor se muestra en la Figura 5.

Figura 5.
Sensor VL6180X (Fuente: Adafruit)

En la Tabla 2, se resume algunas de las características más destacadas del sensor VL6180X, resaltando su capacidad de

medición de distancia y detección de proximidad con alta precisión y velocidad, así como su versatilidad para diversas aplicaciones en sistemas de detección y control.

Tabla 2.
Características del sensor VL6180X

Característica	Descripción
Rango de medición	Hasta varios metros, dependiendo de la configuración
Resolución	Hasta 1 mm
Precisión	Alta precisión en la medición de distancias
Tecnología	Basado en tiempo de vuelo (ToF)
Detección de proximidad	Capacidad para detectar objetos sin contacto físico
Interfaces de comunicación	I2C, SPI
Consumo de energía	Bajo consumo
Aplicaciones típicas	Detección de proximidad, medición de distancias, control de presencia de objetos, sistemas de seguridad

2.2.3 Sensor SHARP 2Y0A21

El sensor de distancia Sharp 2Y0A21 es un dispositivo infrarrojo que mide distancias de 10 a 80 centímetros. El sensor y el objeto objetivo se distancian utilizando la reflexión de un haz de luz infrarroja. Es conocido por su capacidad para proporcionar mediciones confiables en aplicaciones de corto alcance y su facilidad de uso. Una referencia del sensor se da en la Figura 6.

Figura 6.
Sensor SHARP infrarrojo. (Fuente: Digikey)

Las principales características de este sensor se presentan en la Tabla 3, Este sensor es adecuado para aplicaciones donde se requiere una medición precisa en distancias cortas, como en sistemas robóticos, detección de proximidad en dispositivos de seguridad y automatización de procesos.

Tabla 3.
Características principales del sensor SHARP 2Y0A21

Característica	Descripción
Rango de medición	10 a 80 centímetros
Tecnología	Infrarrojo
Precisión	Moderada
Ángulo de detección	Amplio
Tiempo de respuesta	Rápido
Tensión de alimentación	5V
Consumo de corriente	Bajo
Salida analógica	Sí
Tamaño	Compacto
Aplicaciones típicas	Robótica, sistemas de detección de proximidad, dispositivos de seguridad, automatización.

2.2.4 Sensor ultrasónico HC-SR04

El sensor de ultrasonidos HC-SR04 es un dispositivo que utiliza ondas ultrasónicas para medir distancias. Con una precisión moderada, puede medir distancias de 2 cm a 400 cm. Este sensor se utiliza ampliamente en proyectos de electrónica y robótica porque es fácil de usar y económico. La Figura 7, muestra la imagen de referencia del sensor.

Figura 7.
Sensor ultrasónico HC-SR04 (Fuente: Adafruit)

Este sensor es ideal para aplicaciones donde se requiere una medición de distancia precisa en un rango medio, como en proyectos de robótica para evitar obstáculos, sistemas de control de presencia o automatización de procesos que requieren detección de objetos a corta y media distancia. La Tabla 4, presenta sus principales características.

Tabla 4.
Características del sensor HC-SR04

Característica	Descripción
Rango de medición	2 cm a 400 cm
Tecnología	Ultrasonidos
Precisión	Moderada
Ángulo de detección	Amplio
Tiempo de respuesta	Rápido
Tensión de alimentación	5V
Consumo de corriente	Bajo
Salida digital	Sí
Tamaño	Compacto
Aplicaciones típicas	Medición de distancias en proyectos de robótica, presencia, automatización.

2.2.5 Motor a pasos NEMA17

El motor a pasos NEMA17 es un tipo de motor utilizado en una variedad de aplicaciones, especialmente en sistemas de posicionamiento y control de movimiento. Se caracteriza por su precisión en la rotación y su capacidad para moverse en incrementos discretos, llamados pasos. Está diseñado para funcionar con controladores de motor que generan secuencias de pulsos para controlar su movimiento. El motor se muestra en la Figura 8.

Figura 8.
Motor NEMA17 (Fuente: Mouser Electronics)

Este motor es popular en aplicaciones como impresoras 3D, máquinas CNC (Control Numérico Computarizado) y otros sistemas que requieren control preciso de posición y movimiento. Su capacidad para moverse en pasos discretos lo hace ideal para aplicaciones donde la precisión en la posición es crítica. Sus características se ven en la Tabla 5.

Tabla 5.
Características del motor NEMA17.

Característica	Descripción
Tamaño	NEMA 17
Tipo de motor	Paso a paso
Tamaño de paso	1.8 grados por paso
Torque nominal	Variable, dependiendo del modelo y voltaje
Voltaje de operación	Variable, típicamente entre 12V y 24V
Corriente de operación	Variable, dependiendo del modelo y voltaje
Tipo de conexión	Generalmente con conector JST o cables
Aplicaciones típicas	Impresoras 3D, máquinas CNC, sistemas de posicionamiento y control de movimiento.

2.2.6 Controlador de motores a pasos TB6660

El controlador de motores a pasos TB6600 es un dispositivo utilizado para controlar motores a pasos bipolares. Se caracteriza por su capacidad para proporcionar un control preciso de la velocidad y la dirección de rotación de un motor a pasos. Este controlador es ampliamente utilizado en aplicaciones que requieren un control detallado del movimiento, como impresoras 3D, máquinas CNC y sistemas de automatización. El controlador se muestra en la Figura 9.

Figura 9.
Controlador de motor a pasos TB6600 (Fuente: Digikey)

El controlador de motores a pasos TB6600 puede controlar motores a pasos bipolares. Se distingue por su capacidad para controlar de manera precisa la velocidad y la dirección de rotación de un motor en pasos. Aplicaciones que requieren un control detallado del movimiento, como impresoras 3D, máquinas CNC y sistemas de automatización, utilizan con frecuencia este controlador. Las características principales de este controlador se describen en la Tabla 6.

Tabla 6.
Características del sensor TB6600

Característica	Descripción
Tipo de motor	Paso a paso bipolar
Voltaje de alimentación	9V a 42V
Corriente de salida	0.6A a 5A (ajustable)
Microstepping	Configurable (1, 2, 4, 8, 16)
Protección contra sobrecalentamiento	Sí
Modos de operación	CW (sentido horario), CCW (sentido antihorario), CW/CCW (bidireccional), Pulso/dirección
Interfaz de control	Entrada de pulsos y dirección (PUL/DIR)
Aplicaciones típicas	Impresoras 3D, máquinas CNC, sistemas de automatización industrial.

2.2.7 Controlador DRV8825

El controlador DRV8825 es un dispositivo diseñado para controlar motores a pasos bipolares y unipolares. Se destaca por su capacidad para proporcionar un control preciso de la corriente, el microstepping y la dirección de rotación de los motores a pasos. Este controlador es ampliamente utilizado en aplicaciones que requieren un control detallado del movimiento, como impresoras 3D, máquinas CNC y sistemas de automatización. El dispositivo se ve en la Figura 10.

Figura 10.
Controlador DRV8825 (Fuente: Adafruit)

Este controlador es altamente versátil y adecuado para una amplia gama de aplicaciones que requieren un control detallado y preciso del movimiento de motores a pasos bipolares y unipolares. Su capacidad de ajuste de corriente, microstepping y protección contra sobrecalentamiento lo hacen muy popular en proyectos de electrónica y robótica. En la Tabla 7, se describen sus prestaciones.

Tabla 7.
Características del controlador DRV8825

Característica	Descripción
Tipo de motor	Paso a paso bipolar y unipolar
Voltaje de alimentación	8.2V a 45V
Corriente de salida	Hasta 2.5A (ajustable)
Microstepping	Configurable (1, 2, 4, 8, 16, 32)
Protección contra sobrecalentamiento	Sí
Modos de operación	CW (sentido horario), CCW (sentido antihorario), CW/CCW (bidireccional), Pulso/dirección
Interfaz de control	Entrada de pulsos y dirección (PUL/DIR)
Aplicaciones típicas	Impresoras 3D, máquinas CNC, sistemas de automatización industrial.

2.3 Experimentación con distintos tipos de sensores

En primer lugar, se diseñó un experimento que permitiera realizar las pruebas en igualdad de condiciones para todos los sensores. Para ello se creó una base rectangular plana en la que se colocaron los sensores a comparar. Posteriormente, se fabricaron bases individuales con una distancia de 150mm entre el principio de rango del sensor y una pared. Los diseños se pueden ver en la

Figura 11.

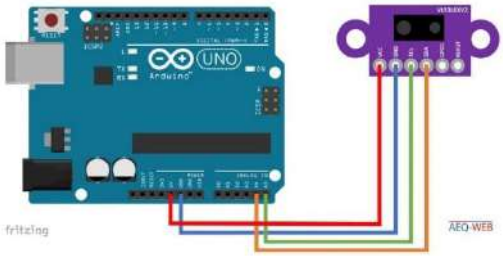
Figura 11.
Diseño de bases para experimentación en Fusion 360 ®

La prueba se llevó a cabo con la placa Arduino Uno que tiene como componente principal un microcontrolador ATMEGA328P al cual se conectaron cada uno de los sensores de manera individual. Para recabar los datos se programó una interfaz visual en Python a través de la librería Tkinter.

2.3.1 Pruebas con sensor VL530X

El circuito utilizado para este sensor se muestra en la Figura 12. Al ser un sensor con interfaz I2C, solamente requiere las conexiones de alimentación (VCC y GND) y las de comunicación (SDA, SCL)

Figura 12.
Circuito de prueba sensor VL530X en Fritzing®



El código utilizado se muestra en el Código Fuente 1, en donde se emplea la librería de Pololu® que es el fabricante principal de la placa del sensor. Entre las configuraciones principales se encuentra en Alta precisión y se realizan 100 lecturas cada 50ms enviadas por el puerto serial.

Código Fuente 1.
Código de prueba VL530x

```
#include <Wire.h>
#include <VL53L0X.h>

VL53L0X sensor;

void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  Wire.begin();

  sensor.setTimeout(500);
  if (!sensor.init())
  {
    Serial.println("Failed to detect and initialize sensor!");
    while (1) {}
  }
  sensor.setMeasurementTimingBudget(200000);
}
void loop()
{
  if(Serial.available()>0){
    char adato = Serial.read();
    if(adato == 'S'){
      for(int i=0; i<100; i++){
        Serial.println(sensor.readRangeSingleMillimeters());
        delay(50);
      }
      Serial.println("$");
      adato = " ";
      }
  }
}
```

Los resultados cuantitativos del experimento se presentan en la Tabla 8, así como la representación gráfica de las mediciones realizadas se muestran en la Figura 13.

Figura 13.
Resultado de las mediciones con el sensor VL530X

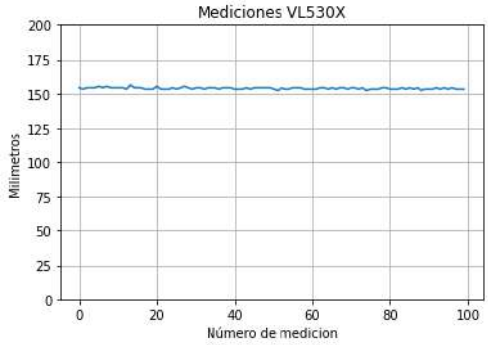


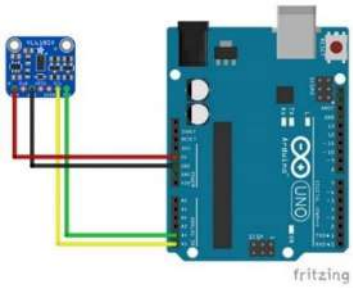
Tabla 8.
Resumen de resultados sensor VL530X

Dato estadístico	Valor obtenido
Promedio	153.57mm
Desviación estándar	0.67mm
Valor máximo	156.00mm
Valor mínimo	152,00mm

2.3.2 Pruebas con el sensor VL6180X

Para el sensor VL6180X se armó el mismo circuito que el anterior, esto debido a que son de la misma familia con diferentes características y aplicaciones. El circuito se muestra en la Figura 14.

Figura 14.
Circuito de prueba del sensor VL6180X en Fritzing®



El código utilizado se muestra en el Código Fuente 2, en donde se emplea la librería de Pololu® que es el fabricante principal de la placa del sensor. Entre las configuraciones básicas se encuentra en Alta precisión y se realizan 100 lecturas cada 50ms enviadas por el puerto serial.

Código Fuente 2.

Código de prueba sensor VL6180X

```
#include <Wire.h>
#include <VL6180X.h>
VL6180X sensor;
void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  Wire.begin();
    sensor.init();
  sensor.configureDefault();
  sensor.setTimeout(500);
}
void loop()
{
  if(Serial.available()>0){
    char adato = Serial.read();
    if(adato == 'S'){
      for(int i=0; i<100; i++){
        Serial.println(sensor.readRangeSingleMillimeters());
        delay(50);
      }
      Serial.println("$");
      adato = " ";
      }
  }
}
```

El experimento se repitió con las mismas características que el sensor VL530X, la gráfica de los datos obtenidos se muestra en la Figura 15. De igual forma, la Tabla 9 muestra un resumen de los resultados estadísticos.

Figura 15.

Resultados de las mediciones con el sensor VL6180X

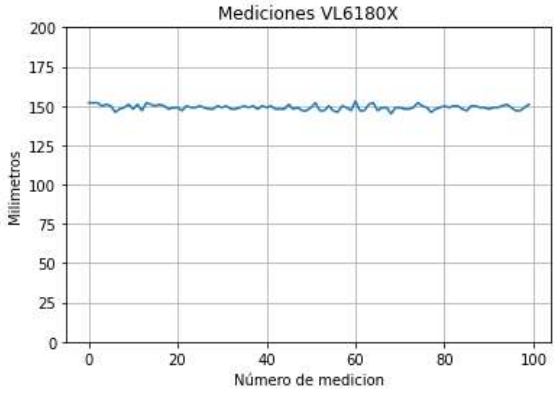


Tabla 9.

Resumen de resultados sensor VL6180X

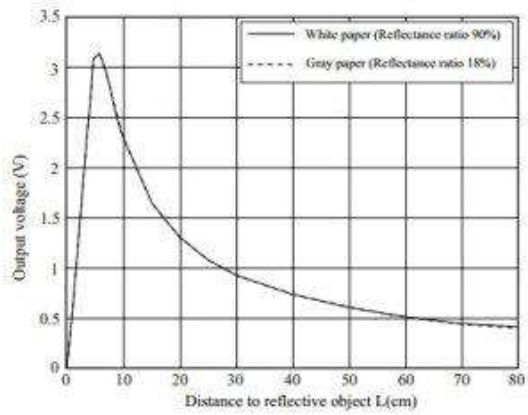
Dato estadístico	Valor obtenido
Promedio	149.06mm
Desviación estándar	1.59mm
Valor máximo	153.00mm
Valor mínimo	145.00mm

2.3.3 Sensor infrarrojo SHARP 2Y0A21

En el caso del sensor infrarrojo SHARP se cambia la metodología de medición, ya que su principio de funcionamiento no corresponde a un protocolo digital si no a una salida analógica en función de la distancia medida. Uno de los inconvenientes de este sensor es que sus lecturas no son lineales. Es decir, es necesario realizar una regresión lineal para la conversión del dato analógico a salida. En la Figura 16, se muestra la gráfica de salida proporcionada por el fabricante.

Figura 16.

Gráfica de comportamiento de fábrica del sensor SHARP.



Teniendo en consideración las cuestiones anteriormente mencionadas se armó el circuito que se presenta en la Figura 17. Así mismo, el Código Fuente 3 presenta donde fue programada la ecuación de regresión para calcular la distancia en función del voltaje leído por el conversor analógico digital.

Figura 17.

Circuito de prueba sensor SHARP en Fritzing®

Código Fuente 3.

Código de prueba sensor SHARP

```
void setup() {
  // Comunicación seria a 9600 baudios
  Serial.begin(115200);
  pinMode(13, OUTPUT);
}
void loop() {
    if(Serial.available()>0){
    char adato = Serial.read();
    if(adato == 'S'){
      for(int i=0; i<100; i++){
        Serial.println(distancia(20));
        delay(50);
      }
      Serial.println("$");
      adato = " ";
      }
  }
}
```

```
float distancia(int n)
{
  long suma=0;
  int lectura=analogRead(A0);
  float distancia_cm = 175697 * pow((float)lectura, -1.2062);
  return(distancia_cm);
}
```

Al repetir los experimentos de los sensores anteriores se obtuvieron los resultados que se muestra en la Tabla 10, y la Figura 18.

Figura 18.
Resultados de las mediciones con el sensor SHARP en Python®

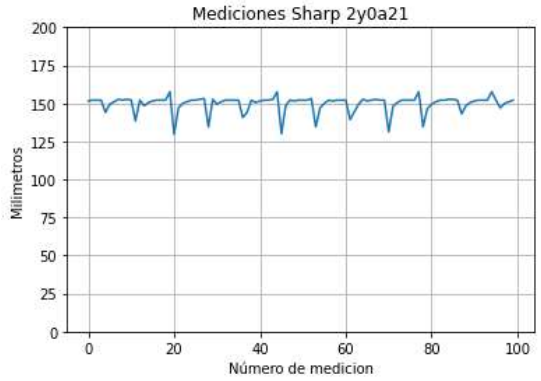


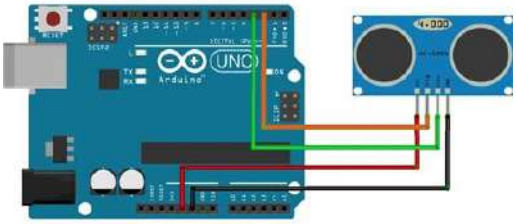
Tabla 10.
Resumen de resultados sensor SHARP.

Dato estadístico	Valor obtenido
Promedio	149.82mm
Desviación estándar	5.41mm
Valor máximo	157.58mm
Valor mínimo	129.64mm

2.3.4 Sensor ultrasónico HC-SR04.

Por último, se puso a prueba el sensor con tecnología ultrasónica modelo HC-SR04 el cual mide el tiempo que tarda una onda ultrasónica emitida al ser escuchada por el receptor. El circuito de prueba se muestra en la Figura 19. Y el Código Fuente 4 presenta el código utilizado.

Figura 19.
Circuito de prueba sensor HC-SR04 en *en Fritzing®*



Código Fuente 4.
Código de prueba sensor HC-SR04

```
#define Trigger 2   //Pin digital 2 para el Trigger del sensor
#define Echo 3   //Pin digital 3 para el Echo del sensor

long t; //timepo que demora en llegar el eco
float d; //distancia en centimetros

void setup() {
  Serial.begin(115200);//iniciailzamos la comunicación
  pinMode(Trigger, OUTPUT); //pin como salida
  pinMode(Echo, INPUT);  //pin como entrada
  digitalWrite(Trigger, LOW);//Inicializamos el pin con 0
}
void loop()
{
  if(Serial.available()>0){
    char adato = Serial.read();
    if(adato == 'S'){
      for(int i=0; i<100; i++){
        Serial.println(medir_distancia());
        delay(50);
      }
      Serial.println("$");
      adato = " ";
      }
  }

}
float medir_distancia(){
  digitalWrite(Trigger, HIGH);
  delayMicroseconds(10);          //Enviamos un pulso de 10us
  digitalWrite(Trigger, LOW);

  t = pulseIn(Echo, HIGH); //obtenemos el ancho del pulso
  d = (float)t/5.9;
  return d;
}
```

Como se puede observar en la gráfica de la Figura 20, este sensor muestra una mejor repetibilidad en comparación con los otros dispositivos probados. De igual forma, los resultados estadísticos de la Tabla 11 comprueban el resultado visual.

Figura 20.
Mediciones del sensor ultrasónico HC-SR04 en Python®

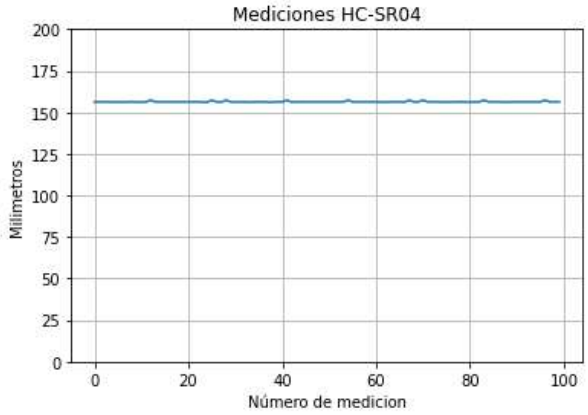


Tabla 11.
Resumen de resultados sensor HC-SR04.

Dato estadístico	Valor obtenido
Promedio	156.33mm
Desviación estándar	0.31mm
Valor máximo	157.29mm
Valor mínimo	156.10mm

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Montaje de la estructura

De acuerdo a los estudios realizados en el estado del arte, se optó por el uso de un actuador lineal basado en un movimiento angular generado por un motor paso a paso NEMA17 que se transmite a un tornillo sin fin de 8mm de diámetro y 200mm de

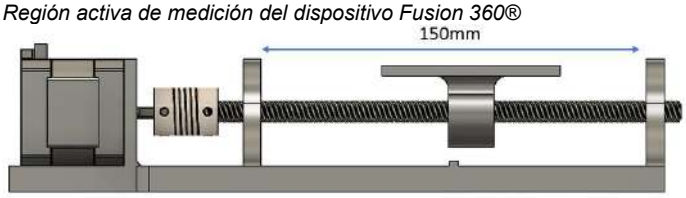
Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

largo. Este último contiene una tuerca con resorte permitiendo el movimiento de un objeto anclado a dicho tornillo.
Para la transmisión del movimiento se usa un acoplador conectado al eje del motor ya que éste tiene un diámetro de 5mm y el tornillo 8mm. El acoplador se encuentra anclado a través de tornillos opresores. Este arreglo puede verse en la Figura 21.

Figura 21.
Acoplamiento del tornillo sin fin al motor en Fusion 360®

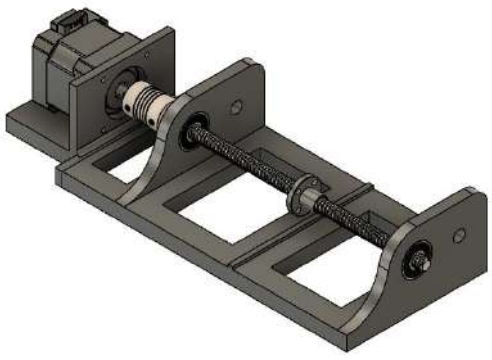
Tomando como referencia la medida del largo del tornillo sin fin, se establece el rango de movimiento de la cama anclada a la tuerca con resorte tomando en consideración la distancia que se emplea en la unión del tornillo y el motor. Para fines prácticos se define una distancia de 150mm entre las estructuras laterales del actuador como se ilustra en la Figura 22.

Figura 22.
Región activa de medición del dispositivo Fusion 360®



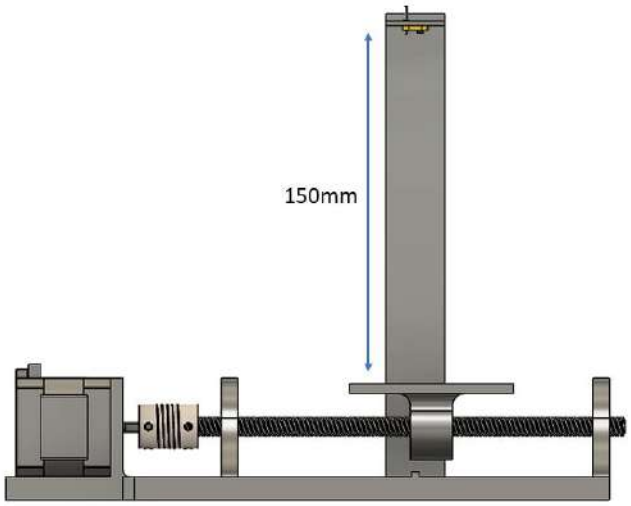
Con la distancia activa definida se procedió a realizar el diseño de las partes giratorias. Se usaron rodamientos 608 2RS con un diámetro interno de 8mm en cada extremo o final de carrera como se muestra en la
Figura 23.

Figura 23.
Rodamientos para reducción de fricción en movimiento Fusion 360®



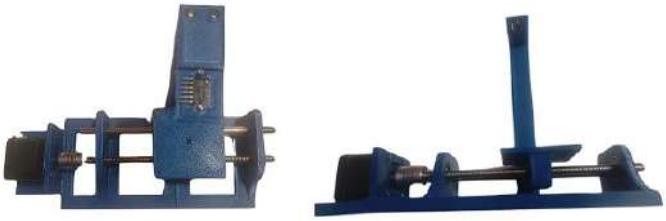
Para el sensor de distancia se optó por la implementación de una barra guía que está separada 150mm de la cama principal donde se colocará el objeto a medir. Se tomó en cuenta que el sensor estuviera centrado a la base móvil con la intención de mejorar las lecturas del dispositivo. Esto se ve en la Figura 24.

Figura 24.
Ubicación de la barra del sensor Fusion 360®



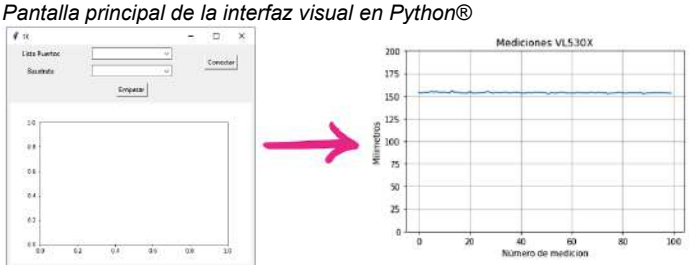
Cuando se terminaron los diseños en software especializado se fabricó utilizando impresión 3D. Los resultados del montaje se pueden visualizar en la Figura 25.

Figura 25.
Montaje del actuador lineal



Por último, se desarrolló la interfaz en Python para la adquisición de las mediciones de forma gráfica. La pantalla principal se ve en la Figura 26.

Figura 26.
Pantalla principal de la interfaz visual en Python®



Con el fin de validar el funcionamiento del sistema, se realizaron pruebas con objetos impresos en 3D como referencia. En la , se muestran los resultados gráficos de un cuadrado. Puede observarse que existen mediciones que se alejan una de otra, esto debido a las vibraciones mecánicas del dispositivo. Sin embargo, se puede identificar el patrón de la figura geométrica.

Figura 27.
Resultados de medición para objeto cuadrado en Python®

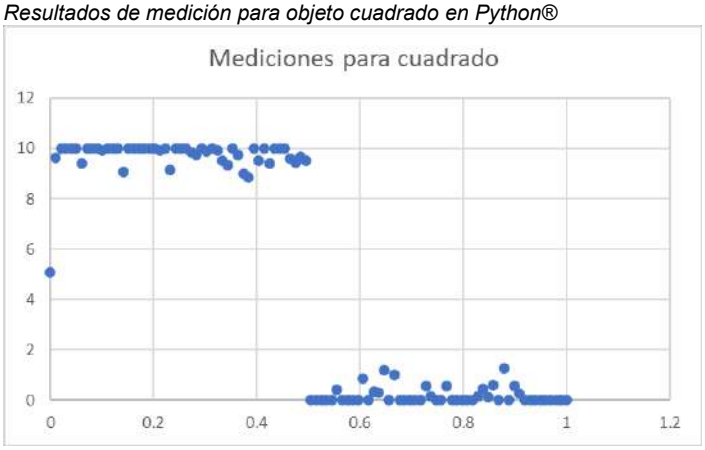
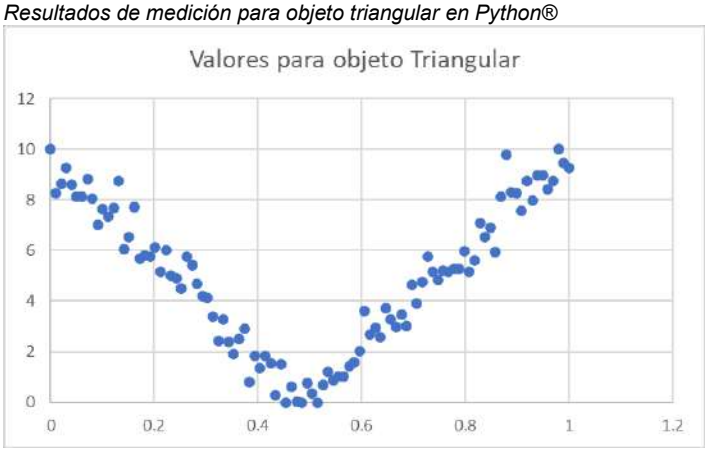


Figura 28.
Resultados de medición para objeto triangular en Python®



IV. CONCLUSIONES

En el presente estudio, se ha demostrado la implementación y evaluación de diferentes sensores para la medición de distancias mediante el uso de una plataforma de prueba controlada por un microcontrolador Arduino. Se realizaron pruebas con sensores de diferentes tecnologías, incluyendo sensores infrarrojos, ultrasónicos y de tiempo de vuelo (ToF). Los resultados obtenidos indicaron variaciones en precisión y repetibilidad entre los diferentes dispositivos evaluados.

El sensor ultrasónico HC-SR04 mostró una mejor repetibilidad y menor desviación estándar en comparación con los otros sensores probados, lo que sugiere que este sensor es más adecuado para aplicaciones que requieren mediciones consistentes a distancias cortas. Los sensores de tiempo de vuelo VL530X y VL6180X también presentaron buen desempeño, aunque con una ligera variabilidad en las mediciones. Por otro lado, el sensor infrarrojo SHARP presentó mayores desviaciones, lo cual se atribuye a la naturaleza no lineal de sus lecturas.

En términos generales, los resultados de este estudio proporcionan una guía útil para la selección de sensores de distancia según los requisitos específicos de precisión y consistencia en aplicaciones prácticas. Además, la plataforma desarrollada demuestra ser una herramienta efectiva para la evaluación comparativa de sensores de distancia.

Estos hallazgos pueden ser utilizados para optimizar sistemas de medición en diversas aplicaciones, desde robótica hasta sistemas de seguridad, donde la elección del sensor adecuado es crucial para el rendimiento del sistema.

En base a los resultados obtenidos, se identificaron áreas de mejora en la identificación de los patrones para trabajos posteriores, como el uso de algoritmos de inteligencia artificial. Así mismo, es necesario una mejora en el filtrado de las señales para tener mediciones más precisas con la finalidad de aumentar la calidad de los gráficos.

V. AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos al Tecnológico Nacional de México (TecNM) Campus Instituto Tecnológico Superior de Lerdo por las facilidades brindadas para la realización del presente trabajo.

También a la División de Ingeniería en Sistemas Automotrices y al Subdirección de Posgrado e investigación por el apoyo a la investigación realizada.

El presente trabajo se presenta en memoria del alumno Miguel Ángel Hernández Miramontes.

VI. REFERENCIAS

Cock, J. (2020). El método de la triangulación aplicado en un escaner laser, para objetos tridimensionales. *Revista Universidad EAFIT*, 25-31.

Corso, J. (2012). *Materiales y escáner láser de alta resolución*. Barcelona: UPC.

Del Castillo, D. (2018). Desarrollo de un escáner 3D de bajo costo implementado por el método de triangulación espacial. *XIII Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE 2018*, 45-48.

Gesteira, S. (2023). *Sistema LiDAR de Navegació Autònoma en Interiores* . Universidad Politécnica de Catalunya.

Meza, S. (2023). *Reconstrucción de Estructuras a Base de nube de puntos con un sensor lidar a bajo costo.* Tecnológico de EstudiosSuperiores de Cuautitlán Izcalli.

Rezéndiz, J. (2012). Técnica de medición del desgaste de una herramienta de corte utilizando un sensor de desplazamiento láser. *Scientia et Technica*, 27-32.

Rodríguez, C. (2013). *Interfaz inalámbrica para un lector de código de barra.* Salvador: Universidad de El Salvador.

Serna, Á. (2021). *Programación, diseño y montaje de un robot móvil controlado por LIDAR y comandos de voz.* Valencia: Universitat Politècnica de València.

Tipismana de la Cruz, G. (2023). *Monitorización 3D de construcciones mediante LIDAR de bajo coste* . Universitat Politècnica de Catalunya.

Velásquez, J. (2005). Diseño de un escaner láser 3D a partir de un sistema de medición láser 2D sick LMS 200. *Umbral Científico*, 83-90.

Zvietcovich, F. (2011). *Estimación del volumen de lesiones producidas por Leishmaniasis cutánea utilizando un escáner láser de triangulación 3D.* Perú: Universidad Católica del Perú.

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

VII. AUTORES

Eduardo Machado Diaz

https://orcid.org/0000-0003-2610-7570

Efraín Vaquera González

https://orcid.org/0009-0002-9123-6977

Diego Alberto Román Landeros

https://orcid.org/0000-0002-0671-7577

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

Desarrollo de una Estación Remota de Monitoreo Basada en Modbus RTU RS485 para la Estimación en Tiempo Real de la Potencia Generada por un Módulo Fotovoltaico

Vidaña-Aldaba, K.G.[1]; Lara-Cardoso, J.[2]✉; Hernández-Flores, C.[1]; Arjona-López, M. A.[1]

Datos de Adscripción:
[1] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de La Laguna, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Blvd.. Revolución y Av. Instituto Tecnológico de La Laguna, C.P. 27000, Torreón, Coahuila, México.
[2], Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico Superior de Lerdo, Departamento de Posgrado, Av. Tecnológico No. 1555 Sur, Periférico Gómez - Lerdo Km. 14.5, C.P. 35150, Lerdo, Durango, México.
✉ jorge_lara_c@yahoo.com

Resumen **- En este trabajo se presenta el desarrollo y pruebas de una estación remota de monitoreo basada en el protocolo de comunicación MODBUS RTU RS485 para estimar en tiempo real la potencia teórica generada por un módulo fotovoltaico en función de su temperatura de operación y de la irradiancia solar. La estimación de esta potencia es importante en sistemas fotovoltaicos pues permite evaluar el desempeño de los algoritmos MPPT de extracción de potencia máxima requeridos para operar los módulos fotovoltaicos en su valor óptimo de voltaje y corriente. Para lograr esto, se ha configurado un piranómetro Infwin PYR20 y un sensor de temperatura Taidacent SHT30 como esclavos mientras que una tarjeta Arduino UNO es el maestro, la cual recibe los datos de las mediciones de estos sensores desde una distancia de aproximadamente 30 m mediante el estándar industrial de transmisión de datos serie RS485. A su vez, esta información es enviada a través de una interfaz RS232 a un DSP F28335 de Texas Instruments programado en Matlab-Simulink, donde finalmente se calcula de manera continua y en tiempo real la potencia estimada para el módulo fotovoltaico Blue Carbon BCT20M-12 de 20W. Los resultados obtenidos de las pruebas experimentales realizadas bajo diferentes condiciones ambientales y desplegados en tiempo real en el IDE de Code Composer Studio demuestran la correcta comunicación half-duplex del sistema maestro/esclavos y una precisa estimación de la potencia producida por el módulo fotovoltaico.**

Palabras Clave **- Estimación de Potencia, Interfaz RS232, Módulo Fotovoltaico, MODBUS RS485, Piranómetro, Tiempo Real.**

Abstract **- This work presents the development and testing of a remote monitoring station based on the MODBUS RTU RS485 communication protocol to estimate in real time the theoretical power generated by a photovoltaic module as a function of its operating temperature and solar irradiance. This power estimation is important in photovoltaic systems since it allows evaluating the performance of the MPPT algorithms for extracting the maximum power required to operate the photovoltaic modules at its optimum voltage and current value. To achieve this, an Infwin PYR20 pyranometer and a Taidacent SHT30 temperature sensor have been configured as slaves while an Arduino UNO board is the master, which receives the measurement data from these sensors from a distance of approximately 30 m by means of the RS485 serial data transmission industrial standard. In turn, this information is sent through an RS232 interface to a Texas Instruments F28335 DSP programmed in Matlab-Simulink, where the estimated power is finally calculated in a continuous and real-time way for a 20W BCT20M-12 Blue Carbon photovoltaic module. The results obtained from the experimental tests carried out under different environmental conditions and displayed in real time in the Code Composer Studio IDE demonstrate the correct half-duplex communication of the master/slave system and a precise estimation of the power produced by the photovoltaic module.**

Keywords **- MODBUS RS485, Photovoltaic Module, Power Estimation, Pyranometer, Real-Time, RS232 Interface.**

I. INTRODUCCIÓN

Para monitorear correctamente la potencia que un módulo fotovoltaico puede generar se deben considerar las condiciones ambientales de irradiancia solar y temperatura del módulo fotovoltaico, ya que éstas influyen directamente con la energía producida. Llevando a cabo este monitoreo es posible realizar una estimación de la potencia que el módulo fotovoltaico es capaz de proveer (Madeti y Singh, 2017).

Debido a que las instalaciones fotovoltaicas se encuentran en zonas donde el sol irradia con gran intensidad, las cuales están alejadas del punto de consumo, es necesario utilizar protocolos de comunicación con señales de voltaje diferenciales en su salida para monitorear remotamente las variables eléctricas y climáticas involucradas (Triki-Lahiani et al., 2018). El protocolo de comunicación MODBUS RTU (Remote Terminal Unit - Unidad de Terminal Remota) es una opción viable para este propósito, ya que funciona a distancias de conexión de hasta 1200 m. Asimismo, para un cableado de longitud próxima a los 15 m, este protocolo permite una velocidad de transmisión de hasta 10 Mbps (Capocci et al., 2017). Así pues, el emplear el protocolo MODBUS en conjunto con el estándar RS485 permite realizar la comunicación remota con los sensores de irradiancia solar y de temperatura utilizando tan solamente 4 cables (A+, B, VCC y GND) para la comunicación Maestro-Esclavo (Krishna et al., 2019). Las líneas A+ y B- mencionadas anteriormente representan la transmisión de datos diferenciales no invertida e invertida, respectivamente.

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

La principal ventaja de utilizar la plataforma Arduino para el procesamiento de información es que al ser un software libre su programación está muy expandida a través de librerías en C++ (Herrador, 2009). El presente trabajo de investigación se basa en la librería "SensorModbusMaster.h" (https://github.com/EnviroDIY/SensorModbusMaster), la cual permite el intercambio de datos entre la tarjeta Arduino UNO y los sensores RS485 del módulo fotovoltaico.

El envío de datos a través del protocolo RS232 de la tarjeta Arduino hacia el DSP F28335 de Texas Instruments® es llevado a cabo de manera transparente pues ambas plataformas cuentan con sus respectivos pines de transmisión y recepción serial. En el caso de la Arduino se requiere un transceptor de voltaje MAX3232 donde se utilizan tan solo 3 cables (RX, TX y GND) haciendo posible la comunicación RS232 con el DSP.

Para el procesamiento de los datos recibidos en sistemas embebidos programados con lenguajes de bajo nivel (low-level) es común recurrir a operaciones bit a bit (bitwise) y utilizar máscaras (masks) (Vahid y Givargis, 1999). En este trabajo se utilizó una de estas máscaras basada en la operación binaria ′AND′ para así extraer los datos de unidad, decena, centena y miles de los valores de irradiancia y temperatura enviados por los sensores.

De acuerdo a Skoplaki y Palyvos (2009), para la estimación de la potencia producida por un panel fotovoltaico existen una gran variedad de expresiones que son válidas, las cuales incluyen variables como son: la temperatura promedio de la celda solar (Bergene y Løvvik, 1995), los factores de corrección del espectro (Aste et al., 2008) y la eficiencia promedio mensual (Siegel et al., 1981), entre otros. En el presente trabajo, la estimación de la potencia se basó en la expresión lineal de la eficiencia como una función de la temperatura de la celda (Evans y Florschuetz, 1977).

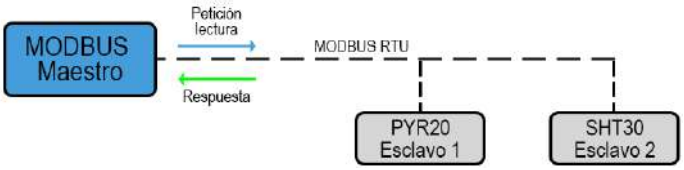
Así, este artículo de investigación presenta el desarrollo, la implementación y las pruebas de una estación remota de monitoreo capaz de estimar la potencia fotovoltaica en función de mediciones de irradiancia solar y de temperatura obtenida de sensores MODBUS RTU RS485. La contribución principal del presente trabajo es que esta estimación de potencia, permite calcular la eficiencia de los algoritmos de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT) y así evaluar su desempeño.

El presente artículo se organiza de la siguiente manera. En la sección II, se describe la parte técnica del artículo, la cual incluye tanto los sensores y dispositivos electrónicos empleados como la programación de la tarjeta Arduino y del DSP para que se comuniquen entre sí. Posteriormente, en la sección III, se muestran los resultados experimentales de las mediciones de irradiancia solar y de temperatura utilizando el IDE de Arduino, el IDE de Code Composer Studio y el osciloscopio digital. Además, también se presenta la estimación en tiempo real de la potencia generada por un panel fotovoltaico. Finalmente, la sección IV presenta las conclusiones.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

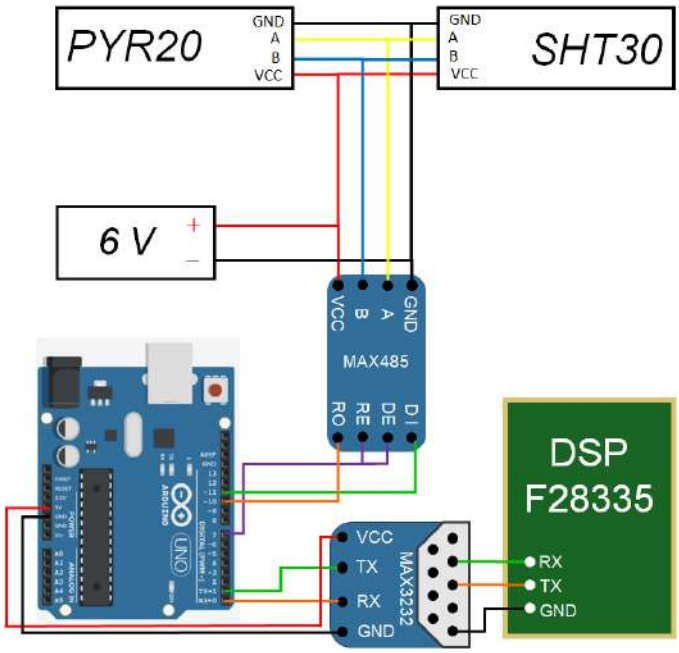
En la Figura 1, se muestra la conexión del maestro (Arduino) y los 2 sensores esclavos (irradiancia solar y temperatura) comunicados mediante el protocolo MODBUS RTU.

Figura 1
Comunicación MODBUS maestro-esclavos.



En la Figura 2, se muestra el diagrama general de conexión para el desarrollo de la estación remota de monitoreo. Este prototipo consiste en un microcontrolador Arduino UNO, un procesador de señales digitales DSP F28335, los sensores de irradiancia solar (PYR20) y de temperatura (SHT30), los transceptores de señal (MAX485 Y MAX3232) y la fuente de alimentación de 6V. El módulo MAX485 realiza la función de adaptar la señal diferencial de voltaje RS485 proveniente de los sensores a una señal tipo TTL compatible con la Arduino. Mientras que, el módulo MAX3232 convierte la señal de voltaje TTL de la Arduino a una RS232 compatible con el DSP.

Figura 2
Esquema de conexión de la estación remota de monitoreo.



2.1 Sensor PYR20 y SHT30

En la Figura 3, se muestran una foto real del sensor de irradiancia solar PYR20 y del sensor de temperatura SHT30, ambos basados en el protocolo MODBUS RTU RS485.

El sensor Infwin PYR20 tiene un rango de medición de 0 a $2000\,W/m^2$ y una resolución de $1\,W/m^2$, lo que lo hace ideal para investigación en aplicaciones fotovoltaicas. Por otro lado, el sensor SHT30 tiene un rango de medición de -40 a $+125\,°C$ y una resolución de $0.015\,°C$. Ambos sensores utilizan el protocolo MODBUS y tienen una interfaz RS485. La configuración predeterminada consiste en una dirección o ID de

Figura 3
(Izquierda) Sensor de irradiancia PYR20. (Derecha) Sensor de temperatura SHT30.

esclavo '1', una velocidad de transmisión de 9600 baudios por segundo (bps), 8 bits de datos, sin paridad y 1 bit de parada. La operación de lectura de la dirección conteniendo los datos de las mediciones de los sensores se realiza utilizando el código 0x03 correspondiente al registro de retención (holding register).

En la Tabla 1, se muestran las direcciones de escritura y lectura utilizadas tanto en el proceso de configuración como durante las mediciones.

Tabla 1
Direcciones de lectura y escritura en los sensores de irradiancia y temperatura.

SENSOR	*DIRECCIÓN (HEX/DEC)*	*TIPO DE OPERACIÓN*	*FUNCIÓN DE REGISTRO*	*RANGO*
PYR20	0x0000 / 0	RO	Irradiancia solar	0-2000 (W/m^2)
SHT30	0x0000 / 0	RO	Temperatura	0-65535
	0x0066 / 102	R/W	ID de esclavo	1-249
PYR20	0x0201 / 513	R/W	Velocidad de transmisión	0-6 0: 1200 bps 1: 2400 bps 2: 4800 bps 3: 9600 bps 4: 19200 bps 5: 38400 bps 6: 115200 bps*
SHT30	0x0067 / 103			

* Los 115200 bps aplican solo al sensor SHT30.
Nota: RO significa solo lectura, mientras que R/W es lectura/escritura.

Para la estación remota desarrollada únicamente se modificó el ID del sensor de temperatura de 1 a 2 y la velocidad de transmisión de datos predeterminada en ambos sensores. Conectando físicamente los pines A y B de los sensores al adaptador RS485-USB mostrado en la Figura 4 y utilizando el software QModBus fue posible escribir los nuevos valores de configuración.
En la Figura 5, se muestra el acceso a la función de código 0x06 correspondiente a la escritura de un registro individual, en la dirección 0x0201 (513) para enviar el dato 5 y así cambiar la velocidad de transmisión del piranómetro PYR20 de 9600 a 38400 bps.
En la Figura 6, se muestra el mismo proceso de escritura, pero ahora en la dirección 0x0067 (103) del sensor de temperatura SHT30.

Figura 4
Adaptador RS485-USB utilizado para escribir los registros de los sensores mediante el software QModBus.

Figura 5
Escritura del registro de velocidad de transmisión del piranómetro PYR20 utilizando el software QModBus.

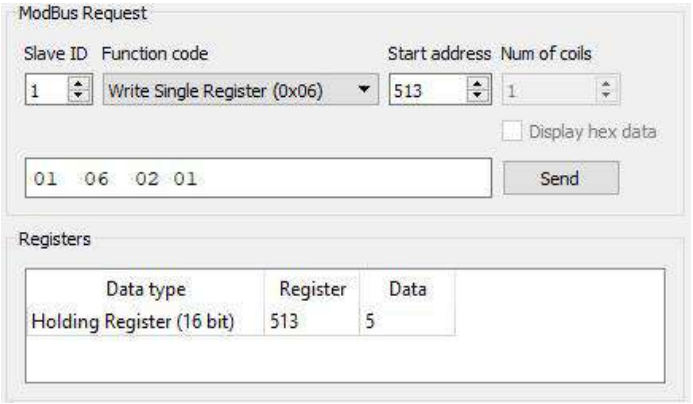
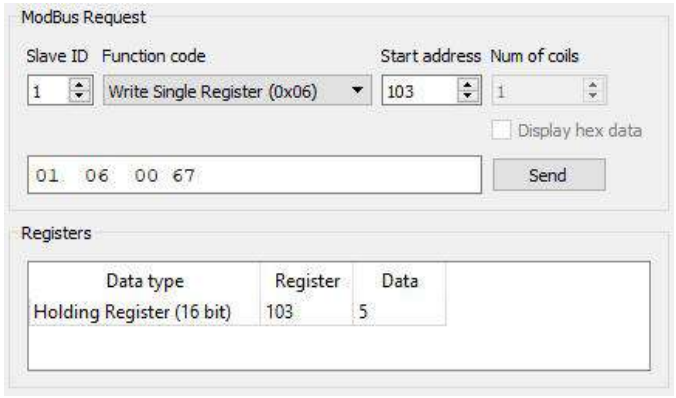


Figura 6
Escritura del registro de velocidad de transmisión del sensor de temperatura SHT30 utilizando el software QModBus.



Después de realizar la escritura a los sensores solo resta apagarlos, y encenderlos nuevamente para que surjan efecto los cambios realizados.

2.2 Módulos Transceptores MAX485 y MAX3232

Anteriormente, en la Figura 2 se mostró la conexión de los módulos MAX485 y MAX3232 en la estación remota de monitoreo. Ambos módulos son transceptores que permiten convertir niveles de tensión para que sean compatibles con otros módulos.

En la Figura 7 se muestra el transceptor MAX485, el cual es muy utilizado en redes de sensores y en comunicaciones a larga distancia. Este módulo se encarga de convertir el nivel de voltaje RS485 (típicamente ±5V) al nivel de voltaje TTL (0 y 5V) para que las señales sean adecuadas a los pines digitales de la tarjeta Arduino.

Figura 7
Módulo transceptor de voltaje MAX485.

La Tabla 2, muestra la descripción de los 8 pines con los que cuenta el módulo MAX485.

Tabla 2
Pines del módulo MAX485.

PIN	PROPÓSITO
VCC	Voltaje de colector común, fuente de alimentación (5V)
GND	Tierra
A	Línea de transmisión de datos diferenciales no invertid
B	Línea de transmisión de datos diferenciales invertida
RO	Receiver Output - Salida de los datos recibidos
RE	Receiver Enable - Habilita la recepción de datos en 0
DE	Driver Enable - Habilita la transmisión de datos en 1
DI	Data Input - Entrada de los datos a transmitir

Es importante mencionar que, en el prototipo, los pines RE y DE se conectaron a un punto común, esto con el propósito de controlar con una sola señal y un solo pin de la tarjeta Arduino el cambio entre los modos de recepción y transmisión de datos, logrando así una comunicación half-duplex de manera más simplificada.
En la Figura 8, se muestra el transceptor MAX3232, el cual se encarga de convertir el nivel de voltaje TTL (0 y 5V) de la tarjeta Arduino al nivel de voltaje RS232 (típicamente ±12V). Este módulo cuenta con un conector DB9 con nueve pines, de los cuales solo se utilizan 2 (RX y GND) para enviar los datos de la Arduino al DSP de Texas Instruments.

Figura 8
Módulo transceptor de voltaje MAX3232.

La Tabla 3, muestra la descripción de los principales pines con los que cuenta el módulo MAX3232.

Tabla 3
Pines del módulo MAX3232.

PIN	PROPÓSITO
VCC	Voltaje de alimentación (3-5V)
GND	Tierra del lado TTL
RXD	Recepción del lado TTL
TXD	Transmisión del lado TTL
RX	Recepción del puerto DB9
TX	Transmisión del puerto DB9
GND	Tierra del puerto DB9

2.3 Programación de la Tarjeta Arduino

Para una comunicación half-duplex entre los sensores PYR20/SHT30 y la Arduino se utilizaron las librerías “Arduino.h”, “SensorModbusMaster.h” y “SoftwareSerial.h”. También se definió una variable sin signo de 16 bits, la cual almacena los valores de irradiancia y de temperatura. Además, en el protocolo MODBUS RTU, se definió la dirección de esclavo (SLAVE ID) para cada uno de los sensores conectados al bus de comunicación. Las variables declaradas en el programa son las siguientes:

```
uint16_t temperature = 0; // Variable que almacena los
valores
byte modbusAddress1 = 0x01; // ID Piranómetro
byte modbusAddress2 = 0x02; // ID Sensor Temperatura
const int DEREPin = 7; // Modo Recepción/Transmisión
long modbusBaudRate = 38400; // Velocidad de comunicación
const int SSRxPin = 10;    // Datos recibidos RO-MAX485
const int SSTxPin = 11;   // Datos enviados DI-MAX485
SoftwareSerial modbusSerial(SSRxPin, SSTxPin);
modbusMaster modbus;
```

En la configuración inicial del programa “setup()”, se utilizó la variable “DEREPin” asignada al pin 7 de la Arduino para conectarse con los pines RE y DE, y así recibir/transmitir los datos a través del transceptor MAX485. A continuación, se muestra esa parte del código desarrollado:

```
if (DEREPin >= 0)
pinMode(DEREPin, OUTPUT);
Serial.begin(38400, SERIAL_8N1);
modbusSerial.begin(modbusBaudRate);
```

Finalmente, en la función que se ejecuta de manera continua “loop()”, se inicializa el protocolo MODBUS, así como la lectura de datos de los sensores, los cuales posteriormente se envían serialmente al DSP de Texas Instruments. El respectivo código se muestra a continuación:

```
modbus.begin(modbusAddress1, modbusSerial, DEREPin);
temperature = modbus.uint16FromRegister(0x03, 0x00,
bigEndian);
if (temperature<1000 && temperature>=0)
temperature+=9000;
Serial.print(temperature);
delay(100);
modbus.begin(modbusAddress2, modbusSerial, DEREPin);
temperature = modbus.uint16FromRegister(0x03, 0x00,
bigEndian);
Serial.print(temperature);
delay(100);
```

Tanto el valor de irradiancia solar como el de temperatura se almacenan en el registro "`0x00`". En el caso de la lectura de los datos del piranómetro se agregó una condición para convertir los números de 3 cifras a 4 cifras.

2.4 Comunicación de Datos entre la Arduino y el DSP

La Figura 9 muestra una lectura de los datos "crudos" (Raw Data) en el IDE de Code Composer Studio, los cuales son leídos por el DSP. Estos datos de 16 bits sin signo se almacenan en un arreglo con una longitud de dos (uint16[2]). Observe que el dato del sensor de irradiancia corresponde al número 1174 (W/m^2). Sin embargo, este dato decimal primero debe extraerse a partir del valor hexadecimal y después aplicando una máscara y realizando operaciones bit a bit (bitwise).

Figura 9
Ejemplo de una lectura de datos en el IDE de Code Composer Studio.

Name	Value	Type	Radix
Dato_Serial	0x0000C020	unsigned int[2]	hex
[0]	0x3131	unsigned int	hex
[1]	0x3734	unsigned int	hex

En la Figura 10, el recuadro de la izquierda muestra el procesamiento de los datos, en el cual se convierte el valor hexadecimal en decimal y se extrae la información útil. Para esto, primero se aplica un demultiplexor que separa los respectivos datos sin signo contenidos en los índices [0] y [1]. El valor de la unidad y de la centena se ubican en los 4 bits menos significativos de cada índice. Aplicando la máscara 0x000F ('0000000000001111' en binario) con el operador AND se extraen los valores de interés. Los valores de decena y de millar se ubican en la posición 9 a la 12 de la cadena de bits. En este caso, los datos se extraen aplicando la máscara 0x0F00 ('0000111100000000' en binario). Para las decenas y los millares, además es necesario hacer un desplazamiento aritmético de 8 bits para posicionar los valores extraídos en las unidades. Finalmente, para terminar la conversión a decimal del dato, este se multiplica ya sea por 1, 10, 100 o 1000, según corresponda, y después de sumarlos obtener el valor real medido por el sensor.

En Figura 10, el recuadro de la derecha muestra los bloques condicionales necesarios para separar el valor de irradiancia del de temperatura. El primer bloque condicional remueve el valor de 9000 a los datos que sean superiores a éste. Es importante mencionar que la cantidad de 9000 se sumó inicialmente en la tarjeta Arduino solo a los valores de irradiancia menores a 1000 W/m^2 para siempre enviar serialmente un dato de 4 dígitos. Los bloques condicionales de la parte derecha evalúan un límite (threshold) de 2000. Así, aquellos valores superiores al límite corresponden a datos de temperatura, mientras que los valores inferiores corresponden a datos de irradiancia. Por otro lado, cuando una condición no se cumple, simplemente se mantiene el valor anterior. Finalmente, para convertir la temperatura a grados Celsius, el dato obtenido se divide entre 100.

2.5 Potencia Estimada del Panel Fotovoltaico

La potencia P_{PV} producida por un módulo o arreglo fotovoltaico, se puede estimar en función de la irradiancia solar y de la temperatura mediante la siguiente expresión (Evans y Florschuetz, 1977; Skoplaki y Palyvos, 2009):

$$P_{PV} = A \cdot G \cdot n \cdot (1 - \beta_r \cdot (T - T_{STC})) \quad (1)$$

donde

- A es la superficie del panel fotovoltaico $(0.117m^2)^*$
- G es la irradiancia solar
- n es la eficiencia del panel fotovoltaico $(15\%)^*$
- β_r es el coeficiente del decremento de eficiencia por unidad de incremento de temperatura $(0.5\%/°C)^*$
- T es la temperatura promedio del panel fotovoltaico
- T_{STC} es la temperatura de condiciones de prueba estándar

* Nota: Estos datos son aproximados para el modelo utilizado (Blue Carbon BCT20M-12).

2.6 Implementación de la Estación Remota de Monitoreo

En la Figura 11, se muestra la implementación del prototipo de la estación remota de monitoreo. Específicamente, en la Figura 11a, se observa el sensor de irradiancia y el sensor temperatura junto al módulo PV. Como se mencionó previamente, solo se requirieron 4 cables (A+, B-, VCC y GND) tanto para comunicar los sensores como para alimentarlos.

Figura 10
Procesamiento de los datos provenientes de la Arduino a través del puerto serial RS232.

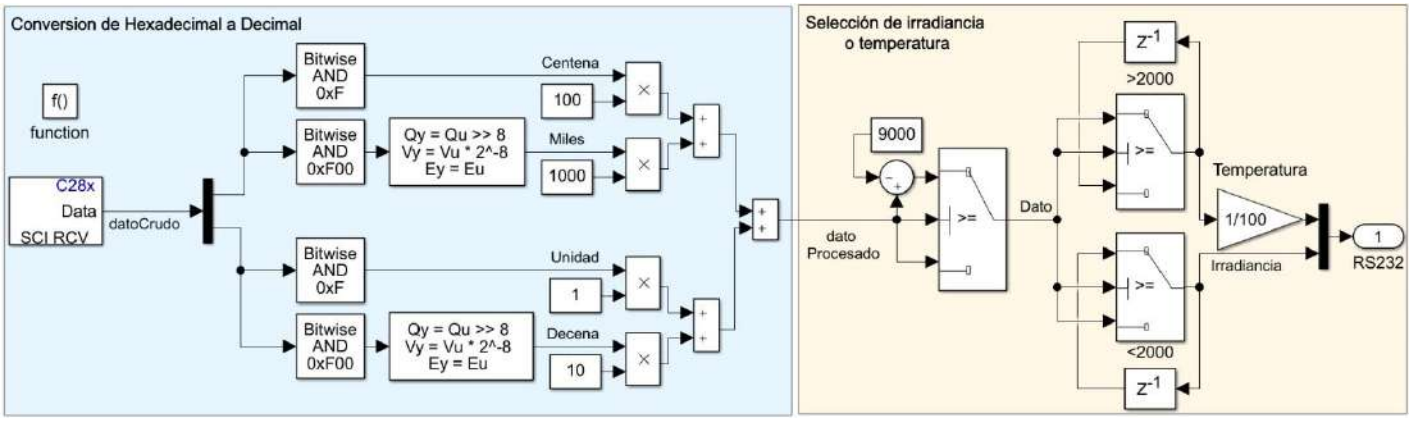
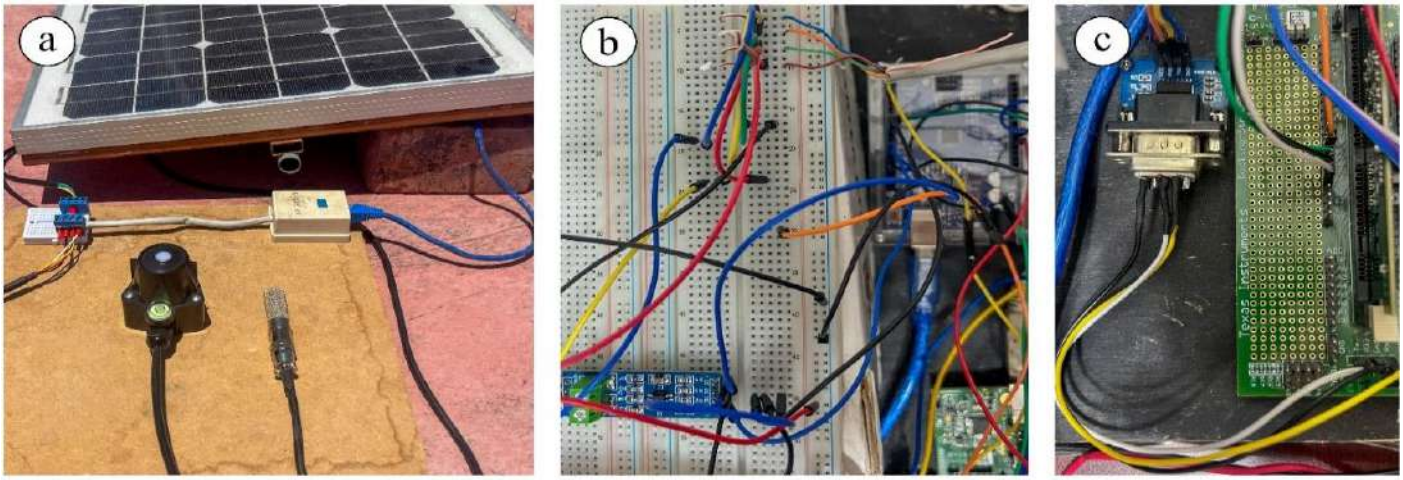


Figura 11
Prototipo de la estación remota de monitoreo: a) Piranómetro y sensor de temperatura, b) MAX485 y Arduino, c) MAX3232 y DSP Texas Instruments.



En la Figura 11b, se muestra la conexión del transceptor MAX485 con la tarjeta Arduino UNO, la cual recibe los datos provenientes de los sensores de irradiancia solar y temperatura.
En la Figura 11c, se muestra la conexión del pin TX de la Arduino con el transceptor MAX3232 y finalmente con el pin RX del puerto serial del DSP F28335.

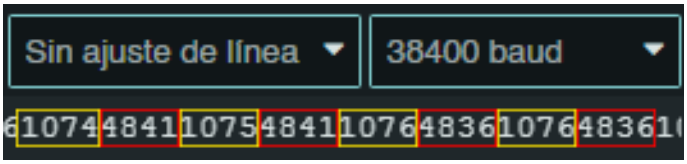
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se describen los resultados obtenidos de la implementación de la estación remota de monitoreo. Primero, se presentan las mediciones de irradiancia solar y de temperatura en el IDE de Arduino. Después, en el IDE de Code Composer Studio se despliegan los resultados del cálculo de la potencia estimada. Finalmente, se muestran en el osciloscopio digital las formas de onda de irradiancia y de potencia estimada.

3.1 Resultados en el IDE de Arduino

En la Figura 12, se muestran las mediciones en tiempo real de irradiancia solar y temperatura desplegadas en el monitor serie del IDE de Arduino. Observe que la trama de datos seriales se transmiten sin salto de línea.

Figura 12
Desplegado de los valores de irradiancia solar y temperatura en el monitor serie de Arduino.



Los valores enmarcados en color amarillo corresponden a mediciones de irradiancia solar (W/m^2), mientras que, los valores encerrados en color rojo son mediciones de temperatura. Observe que ésta, aún se encuentra en valor entero y en miles, por lo que requiere ser dividido entre 100 en el DSP de Texas Instruments, como previamente se explicó y mostró en la Figura 10. Así, por ejemplo, el dato 4841 en realidad corresponde a 48.41°C.

3.2 Resultados en el IDE de Code Composer Studio

En la Figura 13, se observan las variables de irradiancia solar, temperatura y potencia estimada para el módulo fotovoltaico BCT20M-12, todas ellas desplegadas en tiempo real en la ventana de observación (watch window) de Code Composer Studio. A diferencia de los resultados mostrados en el IDE de Arduino, aquí los valores están en punto fijo iq(32,17) y ya en sus unidades finales de W/m^2, °C y W, respectivamente.

Figura 13
Valores de irradiancia solar, temperatura y potencia estimada del panel fotovoltaico desplegados en la ventana de observación de Code Composer Studio.

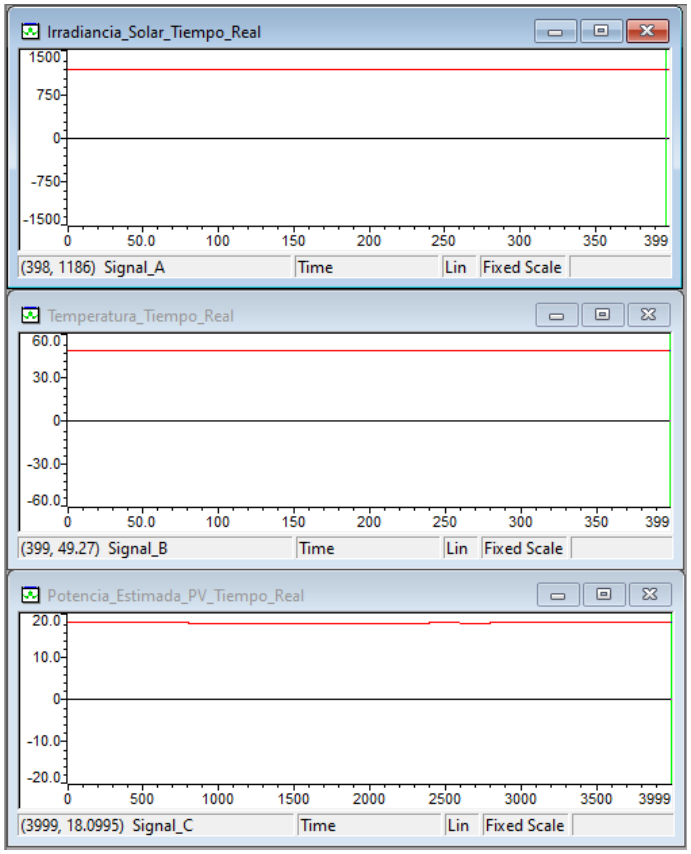
Name	Value	Type	Radix
Irradiancia	1031.0	long	qvalue(17)
Temperatura	47.619995...	long	qvalue(17)
Potencia_pv	16.003021...	long	qvalue(17)

En la Figura 14, se muestran las respectivas formas de onda para la irradiancia solar, la temperatura y la potencia estimada monitoreadas en tiempo real en el IDE de Code Composer Studio. Observe que las curvas de irradiancia y de temperatura se conforman por 400 muestras cada una, mientras que la gráfica para la potencia estimada consiste de 4000 muestras. Es importante mencionar que la frecuencia de muestreo utilizada es de 2kHz, por lo que el periodo de muestreo en las tres curvas es de 500μs.

3.3 Resultados en el Osciloscopio Digital

Una vez que el DSP de Texas Instruments calcula la potencia estimada en base a la irradiancia solar y a la temperatura, es posible enviarla el resultado a través de un pin del procesador para observarla en un osciloscopio digital.
Para esto, primero se normalizan (rango de 0-1) tanto los valores medidos de irradiancia como los calculados de la potencia estimada. Después, se utilizan cada uno de estos valores como una señal modulante en una salida PWM del DSP. Finalmente, a la señal de pulsos cuadrados resultante, se le aplica un filtro pasivo pasabajas consistente de una red RC.

Figura 14
Gráficas de irradiancia solar, temperatura y potencia estimada del panel fotovoltaico desplegadas en tiempo real en Code Composer Studio.



En la Figura 15, se muestran la irradiancia solar, la potencia estimada del panel fotovoltaico y la potencia real extraída aplicando un algoritmo de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT). Estos resultados fueron obtenidos en un día parcialmente nublado. Observe como la irradiancia y las potencias varían muy lentamente en el periodo mostrado de 3 minutos con 20 segundos.

Figura 15
Formas de onda de irradiancia solar, potencia estimada del panel fotovoltaico y potencia real extraída con el algoritmo MPPT.

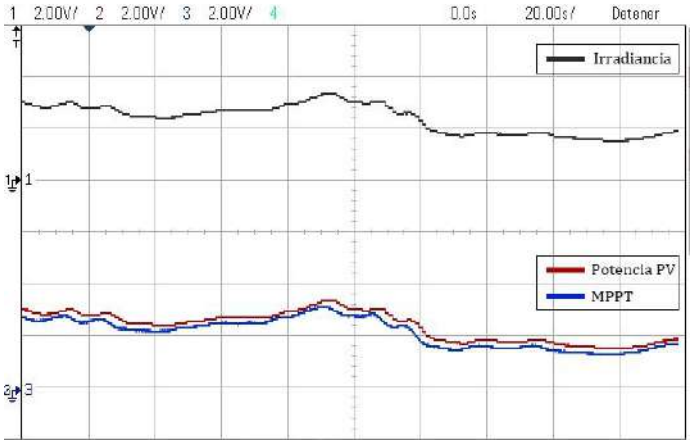
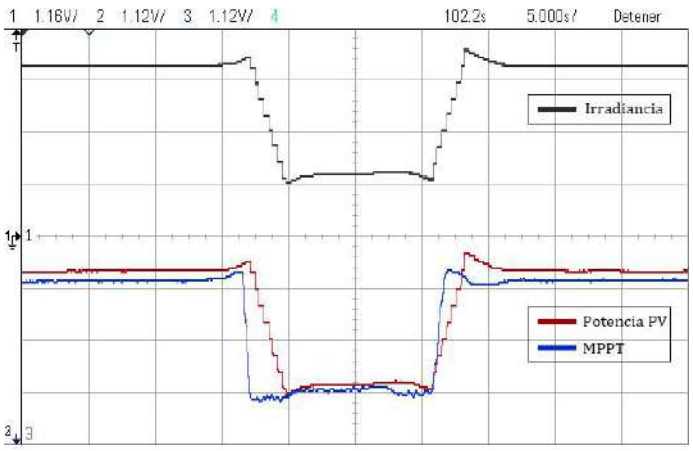


Figura 16
Formas de onda de irradiancia solar, potencia estimada del panel fotovoltaico y potencia real extraída con el algoritmo MPPT ante cambios súbitos de irradiancia.



En la Figura 16, se muestra el comportamiento de la irradiancia, la potencia estimada y la potencia real extraída con un algoritmo MPPT ante un decremento y un incremento súbito en la irrandiancia solar. Estos resultados se obtuvieron en un día despejado y soleado. Los cambios de irradiancia solar se realizaron cubriendo y descubriendo rápidamente tanto el panel fotovoltaico como el piranómetro con una tela delgada semitransparente. Como se puede apreciar en las curvas, la irradiancia y la potencia estimada tienen un perfil trapezoidal, esto es debido al tiempo de respuesta intrínseco del piranómetro. Sin embargo, la potencia extraída con el algoritmo MPPT sí muestra la variación real aplicada tipo escalón. Es importante resaltar como el algoritmo de seguimiento alcanza correctamente y de manera casi instantánea el punto óptimo de operación del módulo fotovoltaico.

La Tabla 4, presenta los valores promedio de las mediciones de irradiancia, temperatura y potencia estimada del panel fotovoltaico antes y después del cambio súbito de irradiancia mostrado en la Figura 16.

Tabla 4
Valores promedio de irradiancia solar, temperatura y potencia estimada antes y después del cambio súbito de irradiancia.

IRRADIANCIA (W/m^2)	***TEMPERATURA*** $(°C)$	***POTENCIA*** (W)
1080	45.17	17.24
380	45.13	5.97

IV. CONCLUSIONES

Este artículo presentó el desarrollo de una estación remota de monitoreo basada en MODBUS RTU RS485 para la estimación de la potencia generada por el módulo fotovoltaico BCT20M-12. Gracias al protocolo MODBUS y al estándar RS485, esta estación remota fue capaz de enviar de manera correcta y confiable los datos de los sensores de irradiancia solar y temperatura a una distancia aproximada de 30 metros con una velocidad de transmisión de 38400 bps. La tarjeta Arduino se

comunicó correctamente con el DSP Texas Instruments al enviarle las mediciones de los sensores por medio del estándar de comunicación RS232, permitiéndole así calcular en tiempo real la potencia estimada del panel fotovoltaico. Los resultados obtenidos prueban que el prototipo desarrollado de la estación remota de monitoreo funciona eficazmente, por lo que es muy útil para evaluar el desempeño de algoritmos MPPT, para identificar si existe algún problema con el módulo fotovoltaico o incluso para saber si es necesario llevar a cabo algún mantenimiento de limpieza.

V. AGRADECIMIENTOS

K. G. Vidaña-Aldaba agradece al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el apoyo económico otorgado en el marco del "Programa de Becas Nacionales para Estudios de Posgrado" con número de solicitud 2022-000002-01NACF-00971.
Los autores también agradecen al TecNM, al Instituto Tecnológico de La Laguna y al Instituto Tecnológico Superior de Lerdo (ITSL) por el apoyo económico recibido para el desarrollo del presente trabajo de investigación.
Igualmente, agradecemos al subdirector de investigación MDGPT. Jesús Alejandro Valdés Nieblas, por el apoyo brindado durante la estancia de investigación realizada en el ITSL donde se obtuvieron los resultados experimentales presentados en este trabajo.

VI. REFERENCIAS

Aste, N., Chiesa, G., y Verri, F. (2008). Design, development and performance monitoring of a photovoltaic-thermal (PVT) air collector. *Renewable Energy*, 33(5), 914–927. https://doi.org/10.1016/j.renene.2007.06.022

Bergene, T., y Løvvik, O. M. (1995). Model calculations on a flat-plate solar heat collector with integrated solar cells. *Solar Energy (Phoenix, Ariz.)*, 55(6), 453–462. https://doi.org/10.1016/0038-092x(95)00072-y

Capocci, R., Dooly, G., Omerdić, E., Coleman, J., Newe, T., y Toal, D. (2017). Inspection-class Remotely Operated Vehicles—A review. *Journal of Marine Science and Engineering*, 5(1), 13. https://doi.org/10.3390/jmse5010013

Evans, D., y Florschuetz, L. (1977). Cost studies on terrestrial photovoltaic power systems with sunlight concentration. *Solar Energy*, 19(3), 255–262. https://doi.org/10.1016/0038-092x(77)90068-8

Herrador, R. E. (2009). *Guía de usuario de Arduino*. Universidad de Córdoba. [Archivo PDF]. https://www.uco.es/aulasoftwarelibre/wp-content/uploads/2010/05/Arduino_user_manual_es.pdf

Krishna, M. S. R., Dinesh, K., y Shanbog, N. S. (2019). Low Cost Remote Monitoring of Solar Plant through RS485 Communication. International *Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8(9), 3034–3037. https://doi.org/10.35940/ijitee.i8166.078919

Madeti, S. R., y Singh, S. N. (2017). Monitoring system for photovoltaic plants: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 1180–1207. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.088

Siegel, M., Klein, S., y Beckman, W. (1981). A simplified method for estimating the monthly-average performance of photovoltaic systems. *Solar Energy*, 26(5), 413–418. https://doi.org/10.1016/0038-092x(81)90220-6

Skoplaki, E., y Palyvos, J. A. (2009). On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations. *Solar Energy (Phoenix, Ariz.)*, 83(5), 614–624. https://doi.org/10.1016/j.solener.2008.10.008

Triki-Lahiani, A., Bennani-Ben Abdelghani, A., y Slama-Belkhodja, I. (2018). Fault detection and monitoring systems for photovoltaic installations: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 2680–2692. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.101

Vahid, F., y Givargis, T. D. (2003). *Embedded System Design: A Unified Hardware/Software Introduction* (1st ed.). John Wiley & Sons.

VII. AUTORES

Karol Gabriel Vidaña Aldaba
https://orcid.org/0000-0003-2022-1516

Jorge Lara Cardoso
https://orcid.org/0000-0002-2746-7044

Concepción Hernández Flores
https://orcid.org/0000-0002-4757-5309

Marco Antonio Arjona López
https://orcid.org/0000-0003-1826-4066

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

Profesionalización del Banco de Alimentos de Torreón Coahuila

De la Peña-Martínez, R.[1] ✉; Ruiz-Ayala, J.D. [1]; Sánchez-Morin, T. M.[1]

Datos de Adscripción:
[1] Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de la Laguna. Blvd. Revolución y Av. Instituto Tecnológico de La Laguna, Torreón, Coahuila, C.P. 27000..

✉ rdelapenam@lalaguna.tecnm.mx

Resumen **– El objetivo del proyecto fue transformar la operación clásica de un Banco de Alimentos, en una institución de carácter profesional tanto en procesos como en administración y así obtener un informe detallado de las fortalezas, debilidades, amenazas y las áreas de oportunidad, dimensionando un proyecto de transformación empresarial efectivo y profesional. La metodología empleada fue la investigación – acción, para la determinación de las áreas de mejora. Se encontraron oportunidades en estructura organizacional, clima laboral, desempeño y necesidades de capacitación, procesos operativos y administrativos, una problemática enorme para el manejo de la información, desde registrarla hasta elaborar reportes para todos los niveles e instancias gubernamentales y regulatorias como la red nacional y la internacional de Bancos de Alimentos. En dicho informe se detallan los porqués de la necesidad de contar con una aplicación computarizada para el manejo de la información, ya que el registro de las operaciones se llevaba de forma manual en hojas de cálculo, representando una tarea titánica al organizar la información para reportar la operación del banco mensualmente al consejo, al gobierno y a las redes de bancos. Como resultados de esta investigación se presenta una matriz FODA relacionada al clima organizacional, con áreas de oportunidad muy puntuales, además un manual de funciones y procedimientos, que describe funciones y perfiles de puestos, un programa de capacitación para mejorar el desempeño del recurso humano, propuestas de mejora en operación y legislación y por último el desarrollo e implementación del sistema de información.**

Palabras Clave **– Administración de Empresas, Automatización, Mejora Continua, Profesionalización, Tecnologías de Información**

Abstract **- The objective of this project was to transform the traditional operations of a Food Bank into a professionally managed institution, both in processes and administration, in order to obtain a detailed report on its strengths, weaknesses, threats, and areas of opportunity, thereby designing an effective and professional business transformation project. The methodology used was action research to identify areas for improvement. Opportunities were found in organizational structure, work environment, performance and training needs, as well as in operational and administrative processes. A significant issue was identified in information management, from data entry to generating reports for all levels and government and regulatory entities, including national and international Food Bank networks. The report details the reasons for the necessity of implementing a computerized application for information management, as the manual registration of operations in spreadsheets posed a monumental task when organizing information for the monthly reports required by the board, government, and banking networks. As a result of this research, a SWOT matrix related to the organizational climate is presented, identifying specific**

Keywords **– Automation, Business Administration, Continuous Improvement, Information Technologies, Professionalization.**

I. INTRODUCCIÓN

Desde la producción de alimentos, hasta su puesta a la venta en las tiendas o supermercados, hay toda una serie de situaciones que pueden afectar el tiempo que transcurre entre el origen y el destino, afectando principalmente a los productos perecederos. Los Bancos de Alimentos nacen en Phoenix, Ar. EEUU en el año de 1967. Nacieron para estudiar el desperdicio de alimento, encontrando que eran grandes cantidades en esa situación, ya que a pesar de encontrarse en buenas condiciones, había tres factores principales por los que no se vendían, eran excedentes de producción, presentaban algún defecto en el envase, o estaban muy próximos a caducar. Este concepto se traslada a Canadá y a Francia en 1981, ya para 1986 se origina la Federación Europea de Bancos de Alimentos (FEBA) (Gobierno de Aragon, 2024).

A nivel global se proyecta que la operación de los bancos de alimentos, llevará a eliminar el hambre en el mundo para el año 2030. Actualmente alrededor de dos mil millones de personas tienen incertidumbre alimentaria leve o grave, sufren hambre y en muchos casos desnutrición, esto afecta su capacidad laboral, y los lleva a niveles de vida vulnerables. El modelo básico del banco de alimentos es adquirir a bajo precio o como donativo, alimentos de los sistemas comerciales, que por cualquiera de las razones ya mencionadas pueden desperdiciarse; organizarlos y distribuirlos a personas, comunidades e instituciones vulnerables con problemas alimentarios. Por ejemplo, The Global FoodBanking Network (GFN) y la Federación Europea de Bancos de Alimentos (FEBA) atienden a más de 62 millones de personas, evitando el desperdicio de aproximadamente 2.7 millones de toneladas de alimentos en buenas condiciones para su consumo, y además reducen 10.5 mil millones de toneladas de CO_2 al año, que produciría ese alimento si se enviara a vertederos o depósitos de basura (GFB, 2019).

Hace 28 años se integra la red de Bancos de Alimentos de México (BAMX), agrupando en la actualidad a 58 Bancos, alrededor de 1,700 colaboradores y 5,000 voluntarios. BAMX rescata más de 171 mil toneladas de alimento al año, contribuyendo a una mejor alimentación en más de 2,000

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

instituciones, 6,000 comunidades, de las cuales casi 2,500 son urbanas y más de 3,500 son del medio rural. Con esto se fortalece la condición alimentaria de dos millones de mexicanos, de una manera recurrente o periódica (BAMX, 2024).

En el Banco de Alimentos de Torreón (BAT), se recuperan un promedio de 150 toneladas de alimentos por mes, beneficiando alrededor de 22,500 personas. Los directivos consideran que se pueden reducir las pérdidas de alimento en su manejo, y además se pueden aumentar las cantidades de alimento procesadas al mes. Beneficia a 25 instituciones y 97 comunidades rurales. Las instituciones corresponden a atención a niños, comedores, atención a personas de capacidades diferentes, asilos de ancianos, y centros de rehabilitación.

Surge entonces la necesidad de realizar el presente estudio, para determinar las acciones necesarias para trasladar la operación del BAT de un enfoque clásico a un enfoque profesional.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

2.1 Revisión de la literatura

Operación de un Banco de Alimentos. Son instituciones de asistencia privada, que no tienen fines de lucro, su objetivo primordial es atenuar el desperdicio de alimento, y dirigirlo a atender el gran problema social del hambre en la sociedad, en particular de sectores marginados, de escasos recursos o en situación de riesgo. Tareas básicas del Banco:

(a) Recibir alimento de agricultores, empresarios y la industria de la transformación.
(b) Recopilar donativos en alimento o en efectivo, para combatir el hambre en la sociedad.
(c) Recibir donativos de productos y servicios para la operación del banco, como gasolina, materiales y equipo para impresión, seguros y servicios vehiculares.
(d) Apoyarse con voluntarios para apoyar la operación del banco y el empaquetado de los alimentos (Alvida, 2022).

Normativa. En lo general tenemos la NOM-030-STPS-2009, relativa a la seguridad y salud en el trabajo, que establece las medidas de prevención de accidentes y enfermedades profesionales, aspectos previstos también en la Ley Federal del Trabajo (Orozco-Medina, 2022). También le aplica la NOM-035-STPS-2018, relacionada con riesgos psicosociales en el trabajo, su identificación, análisis y prevención (DOF, 2018). En lo particular la operación del banco de alimentos, se rige por la Norma Oficial Mexicana NOM-014-SSA3-2013, elaborada para regular la asistencia social alimentaria a grupos de riesgo. Declara que la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en su artículo cuarto, nos dice que los ciudadanos tienen derecho a una alimentación nutritiva, suficiente y de calidad. Prevé que el estado no pueda cumplir esta necesidad social, dejando abierta la posibilidad de una colaboración del sector público con el social y el privado, para poder dar abasto social, ayuda alimentaria, fomentar la producción de alimentos y proporcionar orientación nutricional (DOF, 2014). Hace referencia a la norma NOM-043-SSA2-2012, relativa a la educación en salud alimentaria, tendiente a evitar deterioros de la salud producto de la alimentación, y mejorar las condiciones nutricionales de todos los grupos sociales, en especial aquellos grupos en riesgo o vulnerables, o en situaciones de pobreza (DOF, 2013). Menciona también a la NOM-251-SSA1-2009, que establece los criterios en la práctica de higiene en el procesamiento de alimentos, bebidas o suplementos alimenticios (DOF, 2009).

Adicionalmente, debe cumplir con lo estipulado en la Ley General de Salud, en su reglamento de control sanitario de productos y servicios, especificados en la NOM-251-SSA1-2009 en su apartado para establecer un Plan de Análisis de Peligros, Identificación y Control de Puntos Críticos (HACCP). El seguimiento de la guía correspondiente para elaborar este HACCP, garantiza un dictamen favorable bajo cualquier revisión oficial (LGS, 2016).

Las empresas modernas. El problema no reside en saber si la empresa es moderna o no, en realidad toda empresa tiene la visión explícita, de ir mejorando y mantenerse actualizada, el punto es saber en qué nivel se encuentra. La parte central es determinar si la empresa tiene la capacidad de renovarse de manera permanente, sustentada en un proceso sistémico que le permita innovar e introducir ideas creativas al modelo de negocio. Una empresa moderna no piensa en poner obstáculos a los competidores, sino cómo eliminar obstáculos de salida a sus productos y servicios para generar valor. Consiste en aprovechar los recursos actuales como cimientos de una nueva cultura pensada a largo plazo, con procesos ágiles que lleven a encontrar e incorporar oportunidades, que le permiten avanzar tan rápido o más que otras empresas del ramo (Peralta, 2019).

Empresa Moderna vs. Empresa Tradicional. Para una empresa tradicional, el crecimiento está sustentado solo en la gestión y los controles necesarios para operar satisfactoriamente, aunque eso implique someterse a largas jornadas de trabajo y aplicar una enorme presión a los empleados. En una empresa moderna la visión es a largo plazo, soportada por el constante impacto de la innovación. La administración moderna ocupa profesionales de rápida adaptación al cambio, la filosofía de retos a mediano y largo plazo (Purita, 2018).

La Investigación – Acción. Estrategia centrada en la búsqueda de soluciones viables a problemas organizacionales. Se aísla un problema o área de oportunidad específico, estableciendo luego acciones para analizarlo, determinando y aplicando soluciones, para medir la mejora en los resultados, si no son satisfactorios, se repite el proceso. No es tan directo, se deben de contemplar las siguientes aristas: (a) ciclo de mejora, planear, actuar, observar y reflexionar (b) participación activa, interacción con los principales actores (c) enfoque colaborativo, aportaciones e interacciones entre diferentes áreas (d) perspectiva de mejora, buscando soluciones sencillas y prácticas (f) reflexión profunda, análisis detallado y crítico, conservando la objetividad (g) adaptación ágil, ajustes flexibles acordes con las necesidades ((h) datos empíricos, sustentados en resultados y evidencias (i) aplicación práctica, implementar medidas u operaciones específicas (j)documentación, registrar a detalle el proceso, (k) compromiso, con la mejora a corto mediano y largo plazo (QuestionPro, 2024).

Cinco S (5's), por sus resultados reconocidos en el mercado mundial. Comprende selección, sistematización, limpieza,

Año: 2024. Volumen: 1
Numero:10. ISSN: 2448-623X

normalización y autodisciplina (por sus siglas en japonés). En conjunto, significa una cultura de calidad, sustentada en la persistencia, cada acción practicada constantemente, hasta que se lleve a cabo de una forma natural, yendo de la operación a la administración, formando hábitos empresariales. Es muy afín al ciclo de mejora de Deming (Piñero, Vivas, & Flores, 2018).

Cadena de Valor de Porter. Desarticula los componentes de una empresa en Actividades Primarias y Actividades de Apoyo. Esa des agrupación permite un análisis de lo que ahí ocurre, llevándonos a construir una matriz de Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA) precisa y objetiva (Tabla 1). En las primeras coloca: (a) logística interior, (b) operaciones, (c) logística exterior, (d) marketing y ventas, y (e) servicios. En las de Apoyo tiene: (a) infraestructura de la empresa, (b) gestión de recursos humanos, (c) desarrollo tecnológico, y (d) aprovisionamiento. (Redaccion CN, 2023).

Pruebas Dominó y Raven. La prueba de matrices progresivas de Raven, nos da luz sobre los niveles de desempeño intelectual o mejor conocidos como coeficientes intelectuales. Está basado en analogías sobre interpretaciones figurativas (imágenes) (Psiquiatras en Línea, 2019). Otro instrumento fue la prueba HTP conocida también como prueba Casa Árbol Persona (HTP por sus siglas en inglés); consiste en presentar dibujos, para valorar la reacción de las personas al ambiente, proporcionando también información sobre problemas o preocupaciones que tenga la persona en estudio. Es una valoración de los sentimientos y apreciaciones del individuo, de un objeto de estudio (Casa o Home), asociado a un conjunto de factores alrededor de él (Árbol o Tree), y él como actor principal (Persona o Person) (Buck, 2020). Adicionalmente se empleó la Prueba Dominó, que mide de manera global la inteligencia (factor G), nos dice de las habilidades y destrezas para conceptualizar, razonar y las formas de reaccionar a situaciones o problemas nuevos; se percibe como una combinación entre los exámenes psicométricos convencionales, y una valoración de la inteligencia emocional (Rubio , 2022).

2.2 *Metodología*

Por la naturaleza del estudio, se utilizó el enfoque cualitativo y cuantitativo (mixto), con un diseño cuasi experimental. Cuantitativo ya que involucró la recopilación de datos a través de mediciones numéricas, cualitativo por la parte cuasi experimental, ya que en muchos casos se aplicó a un grupo intacto con variables independientes de solo dos grados, presencia- ausencia.

Lo anterior se operacionalizó, al abrigo de la metodología Investigación – acción, por sus características muy acordes con los procesos de mejora y el desarrollo organizacional. Por la parte de hábitos de trabajo y cultura organizacional, se empleó la técnica de cinco S , diseñada en Japón, centrada en una cultura de calidad, muy de la mano con el famoso ciclo o círculo de Edward W. Deming.
Así mismo desprendiendo o particularizando la Investigación – Acción, se recurrió a la estrategia de la Cadena de Valor de Porter, misma que nos dice como realizar a detalle un análisis organizacional y operativo, para resumirlo y reportarlo en una matriz de las conocidas como FODA, que representa una *radiografía* de la organización.

2.3 Desarrollo

El desarrollo del presente estudio se dividió en revisar la estructura empresarial, el clima organizacional, las características del recurso humano, la operación, y la necesidad de implementar tecnologías de información.

(a) Clima Organizacional. Se desarrollaron y aplicaron instrumentos como encuestas, cuestionarios específicos y guías de entrevistas, para evaluar los índices de satisfacción de los empleados, tanto administrativos como operativos. Lo más relevante fue la construcción de la matriz FODA, con la ayuda de la cadena de valor de Porter (Tabla 1), las pruebas Dominó y las matrices sucesivas de Raven. Así mismo, se elaboró un manual de organización que incluyó el perfil de los puestos, para dar claridad a la estructura organizacional, y apoyar en cambios organizacionales futuros.

(b) Recurso Humano. Además de la información relativa al clima organizacional, se recabó información sobre las capacidades intelectuales de los empleados de todos los niveles, sus habilidades y destrezas para enfrentar retos, y trabajo en equipo. Además de las pruebas del inciso anterior, aquí se aplicó el test HTP y la prueba Dominó.

(c) Operación. Apoyados en las metodologías de calidad, se pudieron detectar toda una serie de áreas de oportunidad en la recolección, procesamiento, almacenamiento y distribución. También por el área administrativa, en el manejo de los benefactores y el cumplimiento del reporte de las operaciones de manera transparente.

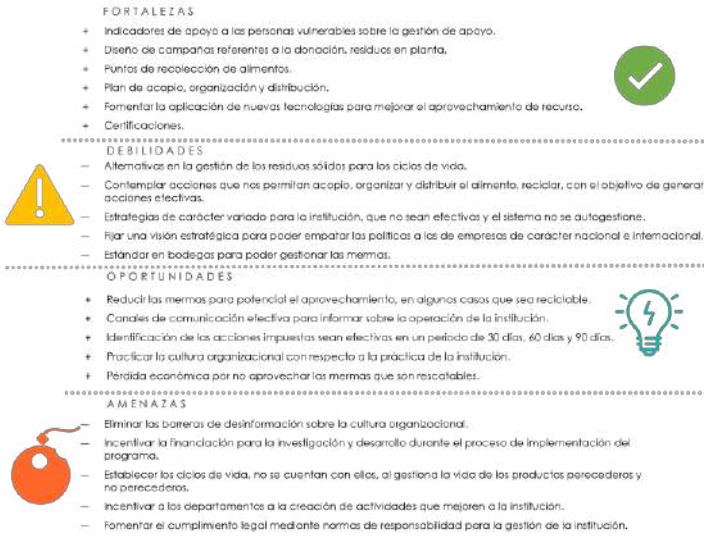
(d) Tecnologías de Información. El día de hoy ya es totalmente impráctico que una operación periódica de cualquier índole, se registre manualmente en una hoja de cálculo. El tiempo en el que la entrada o salida de un producto es detectada por un sensor, o con mayor precisión es identificada con un código de barras, quedando registrada en una aplicación de computadora, ya no admite un registro manual. Por otro lado, tenemos que de siempre se ha sabido que donde hay interacción humana, hay posibilidad de error en el manejo o como en este caso en el registro. Adicionalmente, y tal vez sea la parte más delicada, es el momento de reportar las operaciones clasificadas por períodos (días, semanas, meses, años), ordenadas por tipo, monto, origen, destino etc. y lo más crucial, sin errores. Es así como se concluye en la imperiosa necesidad de contar con un sistema de información en computadora. En el presente estudio se definieron los requerimientos de dicha aplicación, que como ya se mencionó, la recomendación es un desarrollo a la medida.

(e) Legislación. Se revisó la legislación aplicable, desde la correspondiente a la operación de un banco de alimentos, NOM-014-SSA3-2013, la Ley General de Salud NOM-043-SSA2-2012, las Normas Oficiales Mexicanas, relacionadas con el trabajo la Seguridad y la Higiene y principalmente con el procesamiento de alimentos NOM-251-SSA1-2009.

La Cadena de valor de Porter, en su desarticulación de los componentes de la empresa, facilita el análisis de las actividades principales o primarias, así como las de apoyo, conduciendo de manera organizada a la construcción de la matriz FODA (Figura 1).

El análisis FODA ayuda a detectar las áreas de oportunidad como fortalezas dentro de la organización, esto con la colaboración de todos los niveles de la organización, desde consejeros, administración hasta el área de recolección. Con la ayuda de esta metodología se dividió el proyecto en varias áreas para eficientar los procesos y tener resultados favorables. Al realizar el análisis FODA se decide conocer tres bancos más: dos nacionales y uno internacional.

Figura 1
Análisis FODA.



Nota: Análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas.

Se realizó un benchmarking donde el primero en visitar fue el de Saltillo Coahuila, el más parecido a Torreón, posteriormente se visitó el de Monterrey, Nuevo León el cual es cuatro veces más grande que el de Torreón. Dentro de este banco, explicaron algunos procedimientos que no se tenían en banco de Torreón y posteriormente se fue a visitar el de San Antonio Texas el cual consta de más departamentos e invernaderos (Figura 2).

En la sección de resultados, se muestran de manera general los principales indicadores de los bancos, para dimensionar y comparar las operaciones del Banco de Alimentos de Torreón, y tener mayor precisión en su tamaño y como consecuencia el impacto de sus operaciones en la sociedad.

Figura 2
Banco de Alimentos San Antonio Texas.

Cuando se implementaron las 5´S en el banco de alimentos de Torreón, fue una experiencia que generó muchas expectativas, debido a que la mayoría de los colaboradores no la conocían, se dieron capacitaciones aproximadamente de 40 horas en 15 días, explicando la metodología. Después se fue desde los objetos hasta las personas (Tabla 1).

Tabla 1
Modelo 5's.

Japones	Español	Dirigido a:
Seiri	Clasificación	Los objetos y sitios
Seiton	Organización	
Seiso	Limpieza	
Seiketsu	Bienestar Personal	La propia persona
Shitsuke	Disciplina	

Nota*: Definición de la estrategia cinco S .*

Esta metodología se realizó en cada uno de los departamentos, donde se llevó aproximadamente seis meses para la implementación en su totalidad en la organización. Los beneficios de aplicar las 5's fueron, mejorar la seguridad debido a que en esta institución se manejan montacargas, contenedores y objetos pesados.

Se incrementa la eficiencia debido a que cada cosa en su lugar, es más fácil y rápido de encontrar objetos y cosas; sitios libres de objetos innecesarios o inservibles, por consecuencia se disminuye accidentes y se tiene más espacio, facilitando el orden de objetos, identificando rápidamente si existe la falta de alguna herramienta de uso dando como consecuencia una apariencia de organización. Se utilizan etiquetas para marcar objetos difíciles de mover y luego trasladarlos con la ayuda de equipos especializados o de más personas.
Se elabora estrategias de limpieza rutinaria en sitios de trabajo, con desperdicio generado de las actividades diarias colocándolos en los depósitos correspondientes (Figura 3), por ejemplo:

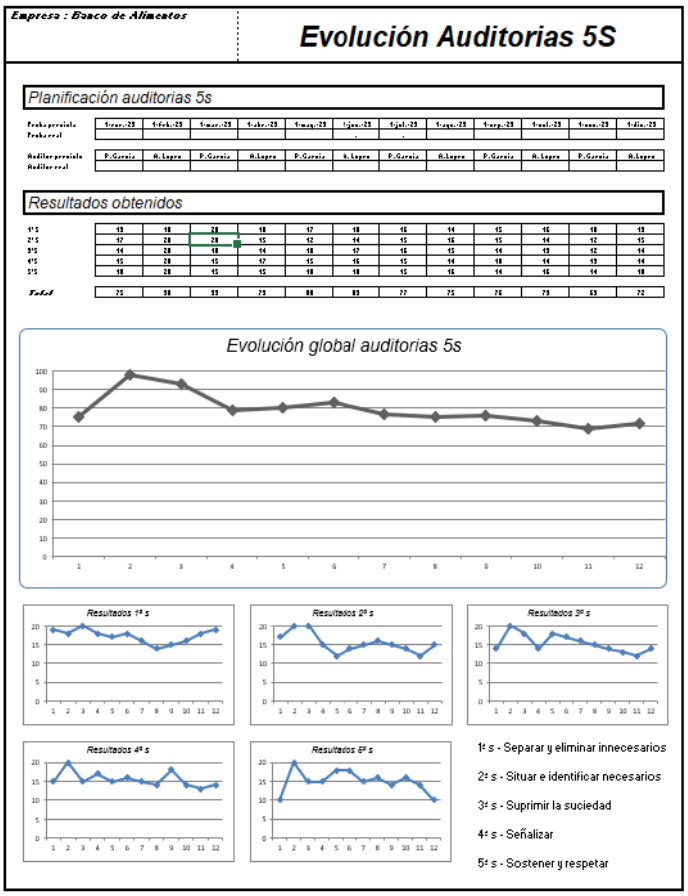
a) Contenedor de Desechos de Chatarra (gris): Objetos metálicos.
b) Contenedor de Vidrio (verde): Objetos de cristal
c) Contenedor de Plástico y Aluminio (amarillo): Objetos de plástico, aluminio, envases de yogurt y empaques.
d) Contenedor para material orgánico (verde): Desechos alimentarios.
e) Contenedor de Papel (azul)l: Papelería de oficina y cartón.

Posteriormente se dio seguimiento, en atención al ciclo de mejora, observación, reflexión, actuación y volver, Figura 4. Innegablemente esto fue parte crucial en el desarrollo de esta parte del proyecto, el seguimiento y la retroalimentación.

Figura 3
Ejemplos de Contenedores.

Nota: Contenedores para diversos usos, separación disposición, traslado.

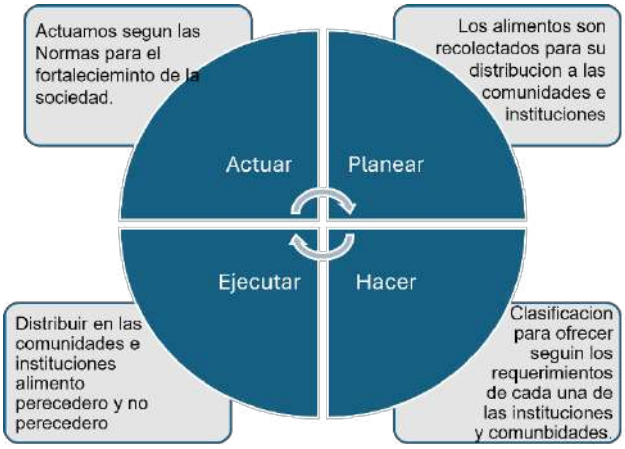
Figura *4*
Seguimiento de auditorías de Metodología 5´s



Las 5'S mejoran la imagen física, emocional y mental mediante técnicas de alimentación e higiene, fomentando buenos hábitos de limpieza, disciplina y meditación. Estas técnicas incluyen el uso de ropa limpia y adecuada, el descanso apropiado en tiempo y forma, evitar el abuso del tabaco, drogas y alcohol, realizar visitas periódicas a especialistas de salud, mantener una actitud positiva, practicar deporte de manera regular, y aplicar consistentemente la metodología de las 5S en todos los ámbitos: laboral, recreativo y familiar (Figura 5). Esto optimiza la disposición hacia el trabajo, la familia y la vida personal.
Al aplicar estas técnicas con esmero y combinarlas con el ciclo PHEA o círculo de Deming (Planear, Hacer, Ejecutar y Actuar), se asegura un apalancamiento continuo en los procesos de mejora, lo que lleva a la estandarización (Figura 6). Esto crea un entorno amigable y confiable, que favorece la productividad organizacional y la satisfacción del cliente.

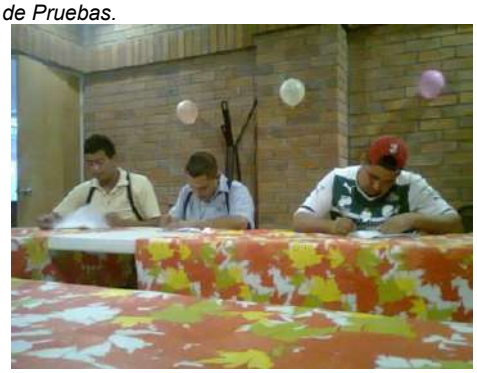
Figura *5*
Muestras de la aplicación 5´s

Figura 6
Ciclo de Deming (PHEA).



De los empleados. Para valorar las capacidades intelectuales y sus condiciones psico sociales, que en definitiva impactan en el desempeño laboral, se recurrió a las pruebas Dominó y Raven. La prueba de matrices progresivas de Raven, da luz sobre los niveles de desempeño intelectual o mejor conocidos como coeficientes intelectuales. Otro instrumento fue la prueba HTP conocida también como prueba Casa Árbol Persona (HTP por sus siglas en inglés); consiste en presentar dibujos, para valorar la reacción de las personas al ambiente, proporcionando también información sobre problemas o preocupaciones que tenga la persona en estudio (Buck, 2020). Adicionalmente se empleó la prueba dominó, que mide de manera global la inteligencia (factor G), indicando las habilidades y destrezas para conceptualizar, razonar y las formas de reaccionar a situaciones o problemas nuevos. Ver figura 7. (Rubio , 2022).

Figura 7
Aplicación de Pruebas.



Nota: Aplicación de pruebas HTP, Dominó y Raven.

Tecnologías de Información. Ya no es admisible que una operación de las dimensiones del Banco de Alimentos, sea registrada y reportada manualmente. Para una empresa de su tamaño y de su importancia, corresponde una aplicación de computadora que le permita operar y llevar sus registros correctamente y de manera sistemática y sistematizada. Derivado de un análisis específico de las necesidades informáticas, y revisando los productos de software de aplicación en el mercado, se determinó realizar un desarrollo a la medida debido a las particularidades del Banco. Para desarrollos a la medida, ha demostrado su efectividad el modelo iterativo en cascada.

Modelo de Desarrollo en Cascada. Para el desarrollo de la aplicación de computadora (Figura 8), se utilizó la metodología de cascada. Esta metodología tiene la característica de que los requerimientos del negocio se traducen a módulos, mismos que son desarrollados en su totalidad de manera iterativa e incremental, es decir el usuario va viendo resultados graduales en cada iteración (Nimble, 2023).
Sus etapas son (a) recopilación de requisitos, (b) análisis de requisitos, (c) diseño, (d) implementación, (e) pruebas y (f) mantenimiento. Esto corresponde a una iteración o vuelta, donde cada requisito se desarrolla en su totalidad y se muestra al usuario final, repitiendo las iteraciones para cada requisito. Esto permite que el usuario vaya corroborando que lo que realiza la aplicación es lo que el necesita, incluso en algunos casos se puede empezar a trabajar cuando algunos requisitos, convertidos en módulos, son independientes de otros (Córdoba, 2023).

Así mismo, por el lado de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social, también debe sujetarse a la legislación aplicable. Le corresponde además de la NOM-030-STPS-2009 de seguridad y salud en el trabajo (Figura 9), la NOM-035-STPS-2018 de riesgos psicosociales, y la NOM-031-STPS-2011 relacionada con la construcción y condiciones de seguridad y salud en el trabajo. Más que la construcción, debe apegarse a todo lo relacionado con la seguridad y salud laboral, desde equipo básico para manejo de alimentos como cofias, guantes, y cubrebocas entre otros; y para la operación de montacargas y otros equipos, guantes, zapatos de seguridad y lentes. Deberá también aplicar todas las recomendaciones de señalización, de circulación, rutas de evacuación, espacios de confinamiento, e instrucciones de seguridad explícitas, además de las señales, en instructivos a la vista de todos (STPS, 2012).

Figura *8*
Interfaz Gráfica del Sistema SisBA.

Figura 9
Seguridad Industrial.

Nota*: Muestra de actividades dónde era imperativo la seguridad industrial.*

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El hilo conductor para el desarrollo del presente estudio fue la estrategia conocida como Cadena de Valor de Porter. Con base a ella se revisaron sistemáticamente las actividades generales de la empresa, tanto operativas como administrativas, así como las actividades de apoyo. Se tomaron también las mejores prácticas recomendadas en las metodologías de calidad como las 5'S, y el ciclo de Deming. A continuación, se presentan los resultados más relevantes.

(a) Clima Organizacional. La matriz FODA construida, representó un documento muy importante para dar claridad a las áreas de oportunidad detectadas, así como una visión general de los recursos y capacidades con que se cuenta, así como el punto actual donde se encuentra el banco. El otro documento no menos valioso fue el manual de procedimientos que describe funciones y perfil de puestos, dando luz a la estructura organizacional.
(b) Recurso Humano. Los resultados permitieron conocer las capacidades y limitaciones tanto del personal administrativo como operativo. Esto dio como resultado un programa de capacitación para todos los niveles, que entró en funciones de inmediato.

(c) Operación. Al igual que en el inciso anterior, también se iniciaron trabajos de formación y capacitación en temas de calidad y mejora.
(d) Tecnologías de Información. Al momento del desarrollo de este proyecto, ya se encuentra en funciones el sistema de información recomendado en el estudio que se reporta.
(e) Legislación. Resultó verdaderamente amplio y complejo, todo el esquema regulatorio alrededor de la operación del banco de alimentos. Es comprensible, porque aparte de su labor altruista y su autorización para emitir recibos de donativos deducibles de impuestos, en su operación involucra personas, y lo más delicado, alimentos que deben de cumplir estándares y medidas sanitarias por la salud de los consumidores. En este apartado surgieron como resultado del presente estudio, Normas de Operación ajustadas a la legislación mencionada.

A continuación, se muestran algunos resultados o muestras de las pruebas de desempeño y asociaciones intelectuales, de las pruebas Dominó y Raven así como la HTP, mismas que complementan el estudio de la Cadena de Valor de Porter, globalmente orientada por la Investigación – Acción. En la Tabla 2 se observan algunos resultados de la prueba Dominó, que arrojó tres colaboradores por debajo del promedio, y uno deficiente. De aquí se desprendieron acciones de capacitación, al igual que en situaciones similares de otros resultados que se muestran de las demás pruebas, haciendo énfasis en que no hubo despidos.

Luego, se observan solo los casos críticos de la prueba de Raven, que muestra dos personas con valores más bajos al promedio (Tabla 3), situaciones también atendidas con la capacitación y sesiones de motivación periódicas.

Tabla 2
Resultados Test Dominó

Edad	Género	Puntaje	Rango
54 años	Femenino	32	Término medio
36 años	Masculino	32	Término medio
52 años	Femenino	29	Término medio
35 años	Masculino	30	Término medio
24 años	Masculino	23	Inferior al medio
50 años	Femenino	23	Inferior al medio
34 años	Femenino	22	Inferior al medio
54 años	Femenino	*5*	Deficiente

Tabla 3
Resultados Prueba de Raven

Edad	Género	Puntaje	Rango
31 años	Femenino	35	Inferior al medio
63 años	Masculino	36	Inferior al medio

Después vemos solo una muestra de la prueba HTP, para dar idea de lo que ahí se evalúa, para considera la capacitación o formación requerida, es pertinente destacar que esto se manejó muy de cerca con personal del área de Psicología en combinación con Recursos Humanos (Tabla 4).

Tabla 4
Muestra de Análisis de HTP

Edad	Género	Puntaje	Rango
54 años	Femenino	32	Término medio

Breve Análisis. Tiene un cierto desequilibrio en su psique debido a un evento, muestra cierta resistencia al momento de interrelacionarse, demuestra cierto control al interactuar con los demás. Principales Conflictos: (a) cierto grado de seguridad (b) algo de fantasía, (c) un grado de sobre compensación, (d) fijación en la infancia y la adolescencia.

De manera general, se observan de manera clara los resultados de todas las acciones aplicadas, esto se muestra en la reducción de las mermas o pérdidas de producto en su recolección, procesamiento, almacenaje y distribución (Figura 10). Hay que precisar que los últimos datos del presente año, por temporalidad no se tienen, y se pusieron en cero, aun así se puede observar que los valores de este año oscilan en solo 10% contra valores del 20 - 25 % del año 2022. Por principio de cuentas, reducir la pérdida de 15 o 20 toneladas de alimento por mes, representó una gran motivación para el personal mismo del Banco, y para los benefactores. Esto los colocó en una posición de confianza, para planear su crecimiento.

Figura 10
Reducción de la Merma

Con la finalidad de proporcionar un dimensionamiento de las operaciones del Banco de Alimentos de Torreón, se hizo un comparativo con otros bancos (Tabla 5), considerando un promedio mensual de población beneficiada y toneladas de producto procesadas. De los bancos considerados el más grande es Monterrey, le sigue Saltillo y luego Torreón.

Tabla 5
Comparativo Bancos

Banco	***Población***	***%***	***Toneladas***
Cd. Victoria	7,085	6.2	131
Monterrey	49,142	43.0	907
Nuevo laredo	6,353	6.6	118
Saltillo	34,461	30.2	638
Torreón	17,156	15.0	317
Total	114,197	100.0	2,111

IV. CONCLUSIONES

La operación de un Banco de Alimentos es muy importante y de mucho impacto para la sociedad, en particular por sus funciones de rescate al desperdicio de alimento, y por otro lado el apoyo a atenuar las necesidades alimentarias de personas, comunidades e instituciones con carencias alimentarias o en situación vulnerable (Figura 11).

Figura 11
Apoyo a la Comunidad.

Nota*: Evidencia de entrega de despensas a las comunidades.*

Dada su importancia, queda en evidencia la necesidad de que se lleve a un estado profesional, en la espiral permanente de mejora como negocio. Esto le permitirá al Banco operar de manera más efectiva, y en una perspectiva de crecimiento en sus operaciones.

Con la implementación de acciones de mejora en los procesos se prevé una operación más controlada del manejo del producto, propiciando un clima laboral más agradable. Esto se reflejará en una disminución de las pérdidas en el manejo de los alimentos (merma) y una administración más ágil en el manejo de la información.
Reviste especial importancia, el hecho de que llevar el Banco de Alimentos de Torreón, a ese estado de profesionalización de sus operaciones, inmerso en un ciclo de mejora, le permitirá expandir sus operaciones sustancialmente, para rescatar mayor cantidad de alimento y poder beneficiar muchas más personas, más allá de las 25,000 que actualmente beneficia.

V. AGRADECIMIENTOS

Al Banco de Alimentos de Torreón Coahuila por su confianza en la realización del proyecto y al Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico de la Laguna; las dos instituciones de prestigio internacional por sus aportaciones económicas, literarias, sociales, y de infraestructura a la sociedad.

VI. REFERENCIAS

Alvida. (19 de octubre de 2022). *¿Qué es un banco de alimentos?* Obtenido de https://alvida.org/que-es-un-banco-de-alimentos/#:~:text=Los%20bancos%20de%20alimentos%20son%20instituciones%20de%20asistencia,del%20hambre%20y%20la%20pobreza%20en%20la%20sociedad.

BAMX. (2024). *Red de Bancos de Alimentos de México.* Obtenido de https://bamx.org.mx/que-hacemos/

Buck, J. (2020). *Test Casa-Árbol-Persona (HTP).* Obtenido de https://avanzacampus.com/wp-content/uploads/2020/04/041-Test-del-Arbol-Casa-Persona.pdf

Córdoba, M. (12 de junio de 2023). *Modelo de Desarrollo Cascada – Qué es, Cómo Funciona y Más.* Obtenido de https://aprendeinformaticas.com/modelo-de-desarrollo-cascada/

DOF. (2009). *Diario Oficial de la Federación. NORMA Oficial Mexicana NOM-251-SSA1-2009, Prácticas de higiene para el proceso de alimentos, bebidas o suplementos alimenticios.* Obtenido de https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/3980/salud/salud.htm

DOF. (22 de enero de 2013). *Diario Oficial de la Federación. NORMA Oficial Mexicana NOM-043-SSA2-2012, Servicios básicos de salud. Promoción y educación para la salud en materia alimentaria. Criterios para brindar orientación.* Obtenido de https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5285372&fecha=22/01/2013

DOF. (11 de noviembre de 2014). *NORMA Oficial Mexicana NOM-014-SSA3-2013, Para la asistencia social alimentaria a grupos de riesgo.* Obtenido de https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5367732&fecha=11/11/2014#gsc.tab=0

DOF. (23 de octubre de 2018). *NORMA Oficial Mexicana NOM-035-STPS-2018, Factores de riesgo psicosocial en el trabajo-Identificación, análisis y prevención.* Obtenido de https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5541828&fecha=23/10/2018#gsc.tab=0

GFB. (2019). *The Global FoodBanking Network.* Obtenido de https://www.foodbanking.org/es/news/the-global-foodbanking-network-releases-the-state-of-global-food-banking-2019-2/

Gobierno de Aragon. (2024). *Fundación Banco de Alimentos de Zaragoza.* Obtenido de https://bancodealimentosdezaragoza.es/

LGS. (25 de octubre de 2016). *Ley General de Salud (LGS). Marco normativo para alimentos. Comisión Federal Para la Protección Contra Riesgos Sanitarios.* Obtenido de https://www.gob.mx/cofepris/acciones-y-programas/marco-normativo-para-alimentos

Nimble. (2023). *Desarrollo iterativo e incremental*. Obtenido de https://www.nimblework.com/es/agile/desarrollo-iterativo-e-incremental/#:~:text=%C2%BFCu%C3%A1l%20es%20la%20diferencia%20entre,de%20las%20partes%20del%20producto.

Orozco-Medina, M. (14 de septiembre de 2022). *Actualizaciones NOM 030 y la importancia de cumplir con ella en tu empresa.* Obtenido de https://oma.com.mx/nom-030-y-la-importancia-de-cumplir-con-ella-en-tu-empresa/

Peralta, J. (2019). *La empresa moderna ¿Cuáles son sus características?* Obtenido de https://japeraltag.medium.com/la-empresa-moderna-cu%C3%A1les-son-sus-caracter%C3%ADsticas-2c90fdfb91ac

Piñero, A., Vivas, E., & Flores, K. (2018). *5S´s program for continuous improvement, quality and productivity in the workplaces.* Obtenido de https://www.redalyc.org/journal/2150/215057003009/html/

Psiquiatras en Línea. (2019). *¿Qué Mide y Para qué Sirve el Test de Raven?* Obtenido de https://www.psiquiatrasonline.com/que-mide-y-para-que-sirve-el-test-de-raven/

Purita, G. (2018). *OBD Business School. Transformación Cultural: Características de una Empresa Moderna.* Obtenido de https://www.obsbusiness.school/blog/transformacion-cultural-caracteristicas-de-una-empresa-moderna

QuestionPro. (2024). *Características de la Investigación - Acción.* Obtenido de https://www.questionpro.com/blog/es/investigacion-accion/

Redaccion CN. (04 de junio de 2023). *La cadena de valor de Porter: definición, utilidad y análisis.* Obtenido de https://www.crecenegocios.com/cadena-de-valor/

Rubio , D. (2022). *En qué consiste el test de inteligencia del dominó.* Obtenido de https://www.publico.es/psicologia-y-mente/en-que-consiste-el-test-de-inteligencia-del-domino/

STPS. (2012). *Secretaría del Trabajo y Previsión Social. Construcción-Condiciones de seguridad y salud en el trabajo.* Obtenido de https://dof.gob.mx/normasOficiales/4376/stps/stps.htm

VII. AUTORES

Ruth De La Peña Martínez

https://orcid.org/0000-0002-7774-867X

José Dolores Ruiz Ayala

https://orcid.org/0000-0002-7269-2881

Teresa Monserrat Sánchez Morin

https://orcid.org/0000-0002-5365-605X

Índice de Autores

A

Aguirre Mejía Elena Tzetzángary 43, 121
Aguirre Arias Miriam E 112
Alvarado López Alma 139
Alvarado Tovar Noe 9, 96, 129
Álvarez Macías Carlos 244
Arjona López Marco Antonio 225, 235, 255, 266, 287

B

Badillo Alonso Carlos Leobardo 121
Barrón Quintero Alfredo Orlando Hassan 198
Bonilla Rodríguez Francisco Samuel 148
Borroel García Victoria Jared 88

C

Carrión Delgado Juan Manuel 104
Castro Hernández Fidel 27
Castro Zenil Mario Salvador 139
Ceceñas Jacquez Marco Iván 72
Ceseñas Cordero María Guadalupe 72
Coto Fuentes Hesner 190
Cuevas Zapata Jessica Ivón 72

D

De La O Franco Lucero Yarely 80
De La Peña Martínez Ruth 295
Díaz Aguilera Luis 18

E

Espinoza Fraire Arturo Tadeo 35

F

Flores Hernández Eduardo Arón 88
Flores Luévanos María Guadalupe 165, 182

G

Gandarilla Esparza Isaac 35
García Domínguez Palmira 62
García Hernández Violeta Del Carmen 53
García Viveros Héctor 235
Gómez García Oscar Emmanuel 88
González Vargas Luis Amado 9, 96, 129, 190, 266
González Pérez Laura Georgina 18, 62
González Ramírez Óscar Francisco 266
Guzmán Ayala Ana Laura 72

H

Hernández Flores Concepción 225, 235, 255, 266
Hernández López Mónica 1
Huerta Valenzuela Francisco 9
Huizar Vargas Oscar 53

J

Jaquez Cervantes Silvia Adriana 148

L

Lara Cardoso Jorge 266, 287
Loera Palomo Rodrigo 244
López Ramírez Varinia 174
López Salazar Rubén 88
Lozano Cuellar Leticia 244
Luna Aguilera Cristian 235, 255

M

Machado Diaz Eduardo 96, 190, 198, 217, 276
Manqueros Avilés Víctor Edi 9, 129
Martínez Gaucín Maribel 72
Martínez Sandoval Heber Joctan 198
Morales Rodríguez Ricardo 174
Moreno Núñez Elda 148, 165, 182
Múñoz Ponce Verónica 80
Muñoz Castillo Rubén Ángel 225
Muñoz Luna Eli Johnatan 235, 255

N

Navarro Mosqueda Fátima 174

O

Ochoa Castro Arturo 27

P

Padilla Silva Andrea Fernanda 96
Parada Morado Lilia 43, 121
Peñaloza Mendoza Guillermo Rey 139

R

Ramírez Aragón Mercedes Georgina 88
Ramírez Zarate Alberto 43
Rivas Valdez Rafael 9
Rodríguez Chacón Roció Lorena 43, 121
Rodríguez Amaya Alan Jair 244
Rodríguez Campos Francisco Eduardo 43
Rodríguez Gómez Divanery 157, 174
Rodríguez Lozano Karla Verónica 165, 182
Rodríguez Nava Odin 157
Román Landeros Diego Alberto 208, 276
Román Reyes Jesús Emmanuel 129
Rosales Grano Pedro 27
Ruiz Ayala José Dolores 295
Ruiz Ponce Gerardo Enrique 225

S

Sáenz Esqueda Cristina 35
Sáenz Esqueda José Armando 35
Sánchez García Antonio 18, 62
Teresa Monserrat Sánchez Morin 295
Sánchez Reyes María Paola 112
Sellschopp Sánchez Francisco Sergio 244
Serrano Hernández Arturo 208, 217
Servín Prieto Alan Joel 1

T

Torres Ramos Nancy Victoria 18

V

Valdés Rodríguez Ofelia Andrea 104
Vaquera González Efraín 208, 217, 276
Vazquez Jaime Laura Lizeth 157
Vega Valverde Laura Janeth 27
Velásquez Chávez Tania Elizabeth 1
Vidaña Aldaba Karol Gabriel 287
Vidaña Martínez Silvia Adriana 148
Villicaña Aguayo José Darío 27
Viramontes Acosta Adriana 1

REVISTA CIENCIA INGENIERÍA Y DESARROLLO TEC LERDO

Revista Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo

10 Años

Para mayor información, duda o comentario, estamos a su disposición en los siguientes medios:

Correo electrónico:

revistacid@itslerdo.edu.mx

Dirección:

Revista "Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo"

Instituto Tecnológico Superior de Lerdo

Edificio "F", planta alta

Avenida Tecnológico No. 1555 Sur

Periférico Gómez-Lerdo Km. 14.5

C. P. 35150. Ciudad Lerdo, Durango. México

Teléfonos:

+52 (871) 7-25-23-71, 7-25-57-79, y 7-25-58-02. (extensión 134)

Enlaces:

https://www.lerdo.tecnm.mx/

http://revistacid.itslerdo.edu.mx/

REVISTA CIENCIA INGENIERÍA Y DESARROLLO TEC LERDO

Revista
Ciencia, Ingeniería
y
Desarrollo
Tec Lerdo

10 Años

LA REVISTA "CIENCIA INGENIERÍA Y DESARROLLO TEC LERDO" ES UNA REVISTA ANUAL DE DIFUSIÓN ELECTRÓNICA, QUE TIENE COMO PROPÓSITO, DIFUNDIR LA PRODUCCIÓN CIENTÍFICA, TECNOLÓGICA, Y DE CONOCIMIENTO; EN LOS ÁMBITOS: ACADÉMICO, CIENTÍFICO, TECNOLÓGICO E INDUSTRIAL. QUE REPRESENTE UNA CONTRIBUCIÓN PARA EL DESARROLLO DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA.

GOBIERNO DE MÉXICO
EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO