

*Revista Tecnocientífica URU*



M. A. en Des. Econ. Alfredo León, Rector  
MgS. Ramón Rincón, Vicerrector Académico  
MgS. Oscar Urdaneta, Secretario

Dr. Cezar García  
Decano de la Facultad de Ingeniería

Ing. Rómulo Rincón  
Decano de la Facultad de Ciencias Agropecuarias

Ing. Gilberto Araujo  
Director de la Escuela de Ingeniería de Computación  
Director de la Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones

Ing. Carlos Espinoza  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil

Ing. Gereli Gutierrez  
Directora de la Escuela de Ingeniería Eléctrica

Ing. Ángel González  
Director de la Escuela de Ingeniería Química

Ing. Fernando Inciarte  
Director de la Escuela de Ingeniería Industrial

Arq. María Medina  
Directora de la Escuela de Arquitectura

Esp. Hosglas Sanchez  
Directora del Fondo Editorial

*Revista Tecnocientífica URU*

**No. 28 Enero - Junio 2025**

ISSN 2343 - 6360 / Depósito legal: ppi 201402ZU4464  
Maracaibo - Venezuela

Avenida 2 “El Milagro”, entrada autónoma de la Universidad Rafael Urdaneta, luego de la Biblioteca del Estado. Maracaibo, Venezuela. Teléf. (58) (261) - 2000887, Fax (58)(261) 2000868. Sitio web: <https://uru.edu/fondo-editorial> Correo electrónico: [publicaciones@uru.edu](mailto:publicaciones@uru.edu)

### Producción Editorial

Hosglas Sanchez, Gestión Editorial

Liliana González, Asistente

Génesis González, Diseño y Maquetación

Cesar Garcia, Revisor de las Traducciones

Yanin Dávila, Portada



### Revista Tecnocientifica URU

Depósito legal: ppi 201402ZU4464

ISSN: 2343 - 6360

Periodicidad: Semestral

Cobertura: Enero- Junio /Julio Diciembre

### 2025 © Universidad Rafael Urdaneta, Fondo Editorial

Se edita en colaboración con la Facultad de Ingeniería de la Universidad Rafael Urdaneta.

### Sitio web:

Tecnocientifica URU: <https://revistas.fondoeditorial.uru.edu/index.php/tecnocientificauru>

Revistas URU: <https://revistas.fondoeditorial.uru.edu/>

Teléfono: (58) (261) - 2000892

Correo Electrónico: [tecnocientifica@uru.edu](mailto:tecnocientifica@uru.edu)

Los artículos publicados en **Tecnocientifica URU** representan los resultados de investigaciones originales y han sido seleccionados a través de un riguroso proceso de revisión por pares. **Los autores son los únicos responsables del contenido de sus trabajos, incluyendo la precisión de los datos, la metodología empleada y las conclusiones presentadas.** La revista no se hace responsable de cualquier error u omisión que pueda aparecer en los artículos publicados. Los autores garantizan la originalidad de su trabajo y que no infringe los derechos de autor de terceros.



Todos los contenidos publicados en esta revista se encuentran bajo una licencia Creative Commons Reconocimiento-CompartirIgual 4.0 (CC BY-SA 4.0). Esta licencia garantiza la libre distribución, reproducción y modificación de los artículos, siempre y cuando se cite de manera adecuada a los autores originales y a la **Revista Tecnocientifica URU**. Los usuarios están autorizados a compartir, adaptar y distribuir el material en cualquier medio o formato, incluso con fines comerciales, bajo la condición de que se otorgue el crédito correspondiente y que las obras derivadas se distribuyan bajo la misma licencia. Esta medida fomenta la difusión del conocimiento y garantiza el reconocimiento de la labor investigadora. Para mayor información sobre los términos y condiciones de esta licencia, por favor consulte: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.es>

Depósito legal: ppi 201402ZU4464

ISSN: 2343 - 6360

Periodicidad: Semestral

### Comité Editorial

**Dra. Laugeny Chiquinquirá Díaz Borrego.**

Universidad Rafael Urdaneta (URU), Facultad de Ingeniería  
y Facultad de Ciencias Agropecuarias.

 <https://www.orcid.org/0000-0002-8263-081X>

### Editora Jefe

**Dr. Cézar Octavio García.**

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería.

 <https://www.orcid.org/0000-0003-2401-8355>

**Dr. Alexi Ramón Sarmiento.**

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería.

 <https://www.orcid.org/0009-0000-3297-6989>

**Dr. José Rafael Fermín Sánchez.**

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería.

 <https://www.orcid.org/0000-0003-4334-4826>

**Dra. María de Lourdes Pérez Arevalo.**

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ciencias  
Agropecuarias.

 <https://www.orcid.org/0009-0005-5200-7620>

**Dra. Laura R. Soto Arrieta.**

Universidad del Zulia, Facultad Experimental de Ciencias.

 <https://www.orcid.org/0000-0002-4250-5088>

**Dra. Alexandra Lisbeth Vera Bonilla.**

Universidad del Zulia, Facultad de Agronomía.

 <https://www.orcid.org/0000-0002-0875-2965>

**Dra. Charity Elizabeth Andrade Ruiz.**

Universidad del Zulia, Facultad Experimental de Ciencias.

 <https://www.orcid.org/0000-0001-5609-2010>

**Dr. Edixon Cristóbal Gutierrez Gonzalez.**

Universidad del Zulia, Facultad de Ingeniería.

 <https://www.orcid.org/0000-0002-9468-3644>

**Dr. Julio César Marín Leal.**

Universidad del Zulia, Facultad de Ingeniería.

 <https://www.orcid.org/0000-0003-2770-5978>

**Dra. Altamira Díaz.**

Universidad del Zulia, Facultad de Ingeniería

 <https://www.orcid.org/0000-0001-7013-5267>

### Comité de Asesores

**Dr. Juan Primera Ferrer (Ecuador)**

Investigador Titular, Facultad de Ingeniería Agronómica,  
Universidad Tecnológica de Manabí.

**Dra. Zulay Mármol (Venezuela)**

Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química,  
Universidad del Zulia.

**Dra. Yaxcelys Caldera (Venezuela)**

Facultad de Ingeniería, Núcleo Costa Oriental del Lago,  
Universidad del Zulia.

**Dr. David Arsenio Landinez Tellez (Colombia)**

Universidad Nacional de Colombia.

**Dr. Juan Chirinos (Chile)**

Instituto de Ciencias Aplicadas, Facultad de Ingeniería,  
Universidad Autónoma de Chile.

**Dra. Jeanette Zárraga (Chile)**

Instituto de Ciencias Aplicadas, Facultad de Ingeniería,  
Universidad Autónoma de Chile.

**MSc. Oscar Urdaneta (Venezuela)**

Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química,  
Universidad Rafael Urdaneta.

**Dr. Ángel González (Venezuela)**

Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química,  
Universidad Rafael Urdaneta.

**Dr. Ever Morales (Ecuador)**

Escuela Superior Politécnica Agropecuaria Manabí

**Dra. Cateryna Aiello (Venezuela)**

Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química,  
Universidad del Zulia.

**Dra. Liz Añez (Venezuela)**

Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química,  
Universidad Rafael Urdaneta.

**Dr. Antonio Vera (Venezuela)**

Facultad de Humanidades, Escuela de Biología,  
Universidad del Zulia

**Revista Tecnocientífica URU** es un instrumento de divulgación científica adscrito a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo, Venezuela. Es una revista arbitrada con periodicidad semestral, contentiva de artículos científicos originales no publicados en las áreas de Ingeniería y Arquitectura y otras disciplinas directamente relacionadas con éstas, de autoría individual o colectiva, que cumplan con las normas de publicación.

Dirigir la correspondencia a: Dra. Laugeny Diaz, Editora Jefe de **Tecnocientífica URU**. Correo electrónico: [tecnocientifica@uru.edu](mailto:tecnocientifica@uru.edu) (alternativo: [publicaciones@uru.edu](mailto:publicaciones@uru.edu)).

**Tecnocientífica URU** no cobra por la publicación de artículos. Fomentamos la difusión libre y gratuita del conocimiento científico.



## Contenido

### Nota Editorial

#### **Propuesta para controlar la contaminación del Lago de Maracaibo**

*Dr. Ramón Rincón*

8

Caracterización preliminar de mezcla polimérica PET/HPMC para el desarrollo de polímeros biodegradables

#### **Preliminary characterization of PET/HPMC polymeric blend for the development of biodegradable polymers**

*Alejandra Romero, Miguelangel Arteaga, Arelis Arrieta y Josué Tudares-Torres*

10

Análisis técnico-económico de alternativas tecnológicas para el diseño de mallas de puesta a tierra considerando una refinería de sal marina.

#### **Technical-economic analysis of technological alternatives for the design of grounding grids considering a sea salt refinery**

*David E. Sánchez-Monzón, Nancy N. Mora de Morillo y Juliana Briceño-Morillo*

27

Desarrollo de una red social para fomentar la conciencia ambiental en los individuos de una sociedad moderna

#### **Development of a social network to promote environmental awareness among individuals in a modern society**

*Alejandro J. Ávila-Amesty y José A. Chacón-Piña*

41

Efecto de la adición de un reductor de viscosidad en crudo pesado de la Región Occidental Venezolana

#### **Effect of a viscosity reducer on heavy crude oil from Venezuela's Western Region**

*Gabriela A. Molero-Lagos, Lorenzo A. Hernández-Cárdenas y Charles A. Gutiérrez-Mendoza*

56

Sistema de información geográfica para la gestión de activos en Laboratorios de Materiales y Suelos de una universidad privada.

#### **Geographic information system for asset management in Soil and Materials Laboratories of a Venezuelan private university**

*Luis J.J. González-Madrid y Abel A. González-Beltrán*

68

Plan de implementación de mantenimiento productivo total para una fábrica de helados cremosos del estado Táchira, Venezuela

#### **Total productive maintenance implementation plan for an ice cream factory in Tachira State, Venezuela**

*Yoliger S. Delgado-Labrador y Fernando I. Inciarte-González*

81

Desarrollo de un marco de trabajo basado en componentes para la construcción de clientes web: Slice.js

#### **Development of a component based framework for the construction of web clients: Slice.js**

*Julio A. Graterol-Bracho, Victor J. Kneider-Al Nahi y Jubert J. Pérez-Zabala*

94

Controlador PID para el horno de craqueo R-401 de dicloroetano de una planta de monocloruro de vinilo

#### **PID controller for the R-401 dichloroethane cracking furnace of a vinyl monochloride plant**

*Elianna V. Albarrán-González, Danny J. Perozo-Rincón y Gladys A. Quevedo-Contreras*

112

Diseño de red IIoT para la detección vehicular

#### **IIoT network design for vehicle detection**

*Gabriela V. Rey-Pérez, Andrés A. Sánchez-Semprún y Gilberto J. Araujo-Fernández*

127

## **Nota Editorial**

### **Propuestas para controlar la contaminación en el Lago de Maracaibo**

El Lago de Maracaibo es un valioso recurso para Venezuela debido a sus grandes reservas de petróleo y a su importancia en el desarrollo económico y social del país, además de ser un ecosistema único con una biodiversidad significativa. No obstante, este ecosistema en la actualidad enfrenta serios desafíos ambientales que requieren atención y acciones urgentes que involucren a diferentes sectores de la sociedad. Dentro de estas acciones se mencionan el tratamiento de aguas residuales, la gestión de desechos sólidos, la prevención de derrames petroleros, la reforestación de costas, y la educación ambiental, a fin de fomentar la conciencia ecológica. A continuación, se describirán diferentes tratamientos o alternativas para remediar o minimizar la contaminación en este importante cuerpo de agua.

La energía solar fotovoltaica es una alternativa que permite aprovechar la alta radiación solar para generar energía limpia y reducir la dependencia de combustibles fósiles, disminuyendo así las emisiones de gases de efecto invernadero y la contaminación atmosférica. También la biorremediación contribuye, al emplear microorganismos y plantas para degradar los contaminantes presentes en el agua y sedimentos, como hidrocarburos y metales pesados. Del mismo modo, el tratamiento de residuos sólidos orgánicos mediante sistemas de compostaje y biodigestión, ayuda a transformar los residuos orgánicos en abono y biogás, reduciendo la cantidad de residuos que llegan a los rellenos sanitarios y generando energía limpia. Con relación al tratamiento de aguas residuales, la instalación de plantas de tratamiento avanzadas permite eliminar los contaminantes antes de que lleguen al lago. Por otro lado, el uso de drones equipados con sensores, ayuda a monitorear la calidad del agua del lago y detectar fuentes de contaminación en tiempo real.

Por su parte, la bioingeniería emplea técnicas para estabilizar las orillas y restaurar el ecosistema acuático, por medio de la instalación de barreras vivas y la creación de micro hábitats para la fauna. La descontaminación con algas, por ejemplo, contribuye a la adsorción de metales pesados y otros contaminantes, purificando el agua de manera natural. Otras alternativas involucran la reforestación y restauración de áreas ribereñas, plantando árboles y restaurando áreas aledañas al lago para reducir la erosión y filtrar contaminantes antes de descargar al lago.

Otras acciones involucran la promoción de la economía azul al fomentar actividades económicas sostenibles como el turismo, la pesca responsable y el uso de energías para reducir la dependencia de actividades contaminantes. La educación y concienciación ambiental son de gran importancia para la implementación de programas educativos para concienciar a la comunidad sobre la importancia de proteger el lago y adoptar prácticas sostenibles; además, de la búsqueda de colaboración de organizaciones internacionales y expertos en gestión ambiental para obtener apoyo técnico y financiero. Por otra parte, se debe enfatizar en la implementación y reforzamiento de regulaciones más estrictas sobre las emisiones y descargas industriales, y realizar inspecciones frecuentes para asegurar su cumplimiento. Por último, pero no menos importante, es necesaria la ejecución de proyectos de investigación y desarrollo, con el fin de desarrollar nuevas tecnologías y métodos para la preventión y control de la contaminación de este valioso recurso hídrico.

**Dr. Ramón Rincón**  
Vicerrector Académico  
Universidad Rafael Urdaneta



# Caracterización preliminar de mezcla polimérica PET/HPMC para el desarrollo de polímeros biodegradables

*Preliminary characterization of PET/HPMC polymeric blend for the development of biodegradable polymers*

**Alejandra P. Romero-Zabala**

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química. Maracaibo, Venezuela.

Departamento de Operaciones Piloto, INDESCA. Los Puertos de Altamira, Venezuela.

 <https://orcid.org/0009-0007-9917-0323> Correo electrónico: [aromero@indesca.com](mailto:aromero@indesca.com)

**Miguelangel S. Arteaga-Rodríguez**

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química. Maracaibo, Venezuela.

 <https://orcid.org/0009-0003-8039-9284> Correo electrónico: [miguelangel.29526273@uru.edu](mailto:miguelangel.29526273@uru.edu)

**Arelys J. Arrieta**

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química. Maracaibo, Venezuela.

 <https://orcid.org/0009-0007-9541-6963> Correo electrónico: [ingarelysarrieta@gmail.com](mailto:ingarelysarrieta@gmail.com)

**Josué J. Tudare-Torres**

Departamento de Operaciones Piloto, INDESCA. Los Puertos de Altamira, Venezuela.

 <https://orcid.org/0009-0006-0561-808X> Correo electrónico: [jtudare@indesca.com](mailto:jtudare@indesca.com)

Recibido: 10/06/2025 Admitido: 26/06/2025 Aceptado: 04/07/2025

## Resumen

El propósito de la investigación fue caracterizar preliminarmente la mezcla polimérica PET/HPMC para el desarrollo de polímeros biodegradables. Se preparó una mezcla física en proporción 70/30 del polímero convencional PET y el polímero biodegradable HPMC. Se obtuvo un TPP de 200 – 215 micras en un análisis de tamaño de partícula. A su vez, se realizaron ensayos de DSC donde se obtuvo el punto de fusión del PET de 245,77 °C, el cual es inferior que el punto de fusión teórico mínimo del PET, lo que sugiere que el PET tiene un comportamiento adecuado. El punto de fusión del HPMC fue de 211,02 °C, siendo inferior al punto de fusión teórico del HPMC, obteniéndose que existe disparidad de sus puntos de fusión, ya que al fundirse el HPMC a 211,86 °C y, al aumentar la temperatura, el HPMC se degradará, y al fundirse el PET, el HPMC se habrá carbonizado. Por consiguiente, esta mezcla polimérica sin un compatibilizante, no permite obtener una mezcla fundida para desarrollar polímeros biodegradables.

Palabras clave: Mezcla polimérica, PET, HPMC, Polímeros biodegradables.

## Abstract

*The purpose of the research was to preliminarily characterize the PET/HPMC polymer blend for the development of biodegradable polymers. A 70/30 physical blend of the conventional polymer PET and the biodegradable polymer HPMC was prepared. A TPP of 200 - 215 microns was obtained in a particle size analysis. In turn, DSC tests were performed where the melting point of PET was 245.77 °C, which is lower than the minimum theoretical melting point of PET, suggesting that PET has adequate behavior. The melting point of HPMC is 211.02 °C, which is lower than the theoretical melting point of HPMC, obtaining that there is disparity in their melting points, since when the HPMC melts at 211.86 °C and the temperature increases, the HPMC will degrade and when the PET melts, the HPMC will have carbonized. Consequently, this polymer blend without a compatibilizer does not allow obtaining a melt blend to develop biodegradable polymers.*

**Keywords:** Polymeric blend, PET, HPMC, Biodegradable polymers.

## Introducción

La mayoría de los materiales de consumo habitual una vez que dejan de ser funcionales se convierten en basura o desperdicio; desafortunadamente su degradación es muy lenta a través de los años. Razón por la cual, se han buscado alternativas para la fabricación de materiales novedosos, que involucren polímeros naturales renovables con tiempos de degradación cortos. Más aún, el consumo de materiales poliméricos sintéticos utilizados en diversas aplicaciones ha aumentado considerablemente a nivel mundial. De acuerdo a Asensio [1], en 2014 la producción mundial alcanzó los 300 millones de toneladas.

Los polímeros son macromoléculas formadas por la unión de monómeros mediante enlaces covalentes, que pueden tener origen natural o sintético. Los polímeros sintéticos, como el polietileno (PE), polipropileno (PP) y el polietileno de tereftalato (PET) representan una problemática ambiental porque son materiales que se producen a partir de derivados del petróleo, un recurso no renovable, y que emiten gases de efecto invernadero durante su fabricación [2]. Es evidente que el uso de polímeros como el polietileno de tereftalato (PET), el cual es un poliéster termoplástico, cuya mayor aplicación es de materia prima para la fabricación de materiales plásticos como contenedores y envases de alimentos, tiene un gran impacto ambiental al ser uno de los mayores contaminantes ambientales, ya que no se degrada por agentes biológicos [3].

En el trabajo de investigación de Chacón, Hernández, Gallardo, Escobar y Contreras [4], titulado: “Uso de celulosa recuperada para el mejoramiento de las propiedades mecánicas del Polipropileno”, se logró mejorar las propiedades mecánicas del polímero, al mezclar celulosa de la vaina de trigo con el polipropileno a diferentes porcentajes de celulosa y de anhídrido maléico injertado con polipropileno (MAPP) como agente compatibilizante, para moldear probetas en una prensa térmica.

Por su parte, Martínez [5] en su trabajo sobre “Estudio de la degradabilidad del PET (polietileno tereftalato) dosificado con un biopolímero de la fibra de banano”, obtuvo un biopolímero a partir de la fibra de banano mediante la extracción de la celulosa y procedió con la dosificación con PET para modificar su degradabilidad, siendo uno de sus principales aportes el aprovechamiento de un residuo agrícola para obtener un biopolímero con propiedades biodegradables y de bajo impacto ambiental. De manera análoga, existen investigaciones como la de Palma y Tenesaca [6] en donde proponen despolimerizar el PET para obtener BHET y dosificarlo con celulosa extraída de la cáscara de cacao, planteando una proporción de mezcla de 80/ 20 o 70/30 para las mezcla celulosa-BHET, obteniendo un menor tiempo de degradación y una forma de reciclaje para los residuos de PET.

En el presente trabajo se pretende caracterizar preliminarmente mezclas poliméricas PET/HPMC para el desarrollo de polímeros biodegradables, a partir de PET y un tipo de celulosa modificada como lo es la Hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC), siendo dichos compuestos de interés, ya que pueden ser utilizados en el desarrollo de polímeros biodegradables de origen sintético. La HPMC particularmente, se caracteriza por formar parte del grupo de aditivos que se incorporan al plástico para modificar sus propiedades [7]. En algunos estudios como los de Elgharbawy, et al [8] se demuestra que la HPMC mejora la biodegradabilidad del Alcohol Polivinílico. La originalidad de este estudio radica en la propuesta de mezclas de polímeros sintéticos de origen petroquímico que tienen una baja degradabilidad como lo es el PET, con un polímero biodegradable como lo es la HPMC, las cuales se caracterizaron mediante microscopía óptica, análisis de tamaño de partícula y DSC, permitiendo tener un primer acercamiento en la obtención de polímeros biodegradables que pueden ser asimilados por el ambiente mediante la acción de microorganismos.

Este estudio aporta al conocimiento científico y a la solución del problema ambiental, al ofrecer una nueva vía para aprovechar los residuos plásticos y convertirlos en materiales con potenciales aplicaciones en el desarrollo de polímeros biodegradables. Además, puede contribuir a reducir la dependencia del petróleo como fuente de materias primas para la producción de plásticos y, a promover el uso de fuentes renovables como el almidón y la celulosa, que se obtienen de la biomasa, o incluso de sus polímeros derivados como la HPMC.

Por lo tanto, el presente artículo centra su enfoque en caracterizar preliminarmente mezclas poliméricas PET/HPMC para el desarrollo de polímeros biodegradables.

### **Materiales y métodos**

Se llevó a cabo una investigación de tipo descriptiva y analítica, con un diseño experimental y de enfoque cuantitativo, donde la unidad de análisis estuvo representada por la mezcla de polímeros con PET/HPMC. Para la recolección de los datos, se empleó la técnica de observación directa, registrando datos de una serie de ensayos con las mezclas, arrojando un reporte plasmado en tablas de resultados del ensayo y tablas de EXCEL, además de la utilización del Equipo DSC.

A continuación, se muestran las fases en las que se desarrolló el trabajo, con la descripción de las actividades llevadas a cabo en cada una de ellas.

#### **Fase I: Preparación de la mezcla de desecho de botellas de PET con HPMC reciclada**

Para el desarrollo de esta fase se llevaron a cabo los siguientes pasos:

1. Recolección de botellas de refresco comercial que funcionaran como el material de PET reciclado.
2. Lavado y secado del PET reciclado para cortarlo en trozos pequeños y molerlos en un molino de cuchillas.
3. Preparación del PET y la HPMC en proporciones de mezcla de 70/30 en porcentaje en peso.
4. Mezcla del PET y HPMC en un mezclador mecánico de alta intensidad Papenmeier que opera a 7 x100 rpm.

#### **Fase II: Determinación tamaño de partícula por análisis de TPP y microscopía óptica de PET HPMC y mezcla PET/HPMC.**

Para el análisis de tamaño de partícula se siguieron las siguientes instrucciones:

1. Pesar y anotar la masa exacta de cada tamiz vacío, denominada como PTX (peso inicial).
2. Pesar  $(2,0000 \pm 0,0050)$  g de muestra.
3. Armar los 6 tamices, ordenándolos de forma descendente según el tamaño de las aberturas de mayor a menor tamaño
4. Colocar la muestra sobre el tamiz de mayor abertura y distribuirla uniformemente sobre la superficie de la malla.
5. Insertar la torre de tamices en el tamizador y fijarla con el gancho que tiene el equipo en la base.
6. Ajustar el tamizador sónico en los siguientes valores:  
 Pulsaciones 15 golpes/minuto.  
 Intensidad del sonido: 103,5 decibeles.  
 Tiempo: 3,5 minutos.
7. Iniciar el tamizador y cuando el equipo se detenga automáticamente, extraer la torre de tamices y separar los tamices individuales y el colector de finos.
8. Pesar cada tamiz con la muestra retenida y anotar el peso como PTX+M.

Cálculos:

Los datos obtenidos de las actividades realizadas se registraron en la hoja de cálculo y mediante la siguiente ecuación por cada tamiz molecular usado:

$$\% \text{Retención de tamiz} = \frac{(Ptx+M-Ptx)}{\text{Peso de muestra final}} \times (100) \text{ (Ec.1)}$$

Donde:

% Retención en tamiz: Es el porcentaje de retención de un número tamaño de tamiz usado (x).

Ptx+M: Peso del tamiz más la muestra.

Ptx: Peso del tamiz.

Se empleó la microscopía óptica, la cual es una técnica que utiliza la luz y un sistema de lentes para aumentar la imagen de objetos muy pequeños. Para llevar a cabo esta fase, se utilizó un microscopio óptico y se siguieron los siguientes pasos:

1. Preparar los materiales de muestras colocándolos sobre un portaobjetos y cubrir con un cubreobjetos.
2. Ajustar el portaobjetos sobre la platina del microscopio, de forma que la muestra quede centrada en el orificio por el que pasa la luz.
3. Seleccionar el objetivo de menor aumento (4x o 10x) y acercarlo lo máximo posible a la muestra, usando el tornillo macrométrico.
4. Ajustar el enfoque usando el tornillo macrométrico y el micrométrico.
5. Observar las muestras detallando la homogeneidad y la morfología de las mismas.

### **Fase III: Moldeo de placas por compresión de la mezcla de PET/HPMC reciclado.**

Para poder realizar moldeo de placas por compresión para la mezcla PET/HPMC se siguieron los siguientes pasos:

1. Transferir 10 gramos de muestra a un vaso de precipitados.
2. Ajustar la temperatura deseada para fundir las placas en los dos controladores de la plancha térmica.
3. Colocar sobre una placa de cobre, una lámina de acetato o aluminio del mismo tamaño.
4. Distribuir una cantidad adecuada de muestra sobre la lámina con una espátula.
5. Cubrir la muestra con otra lámina de acetato o aluminio y colocar otra placa de cobre sobre ella.
6. Comprimir la muestra y una vez unidas las planchas, aplicar la palanca con fuerza hasta alcanzar una presión de 20000 psi.
7. Cronometrar 2 minutos y medio y una vez transcurrido ese tiempo se empieza a liberar la presión del pistón y permitir que éste descienda.
8. Tomar la muestra con el guante térmico y las pinzas y depositarla sobre el mesón.

### **Fase IV: Caracterización por prueba DSC de PET, HPMC y mezcla PET/HPMC.**

Consistió en un método para medir las propiedades térmicas del material, como la temperatura de fusión. Para realizar un ensayo DSC se requiere de un equipo específico para esta prueba que lleva el nombre de equipo DSC. Para la caracterización se siguieron los siguientes pasos:

1. Preparar de las muestras seleccionando una pequeña cantidad de muestra (entre 5 y 10 mg) y colocar en un crisol de aluminio perforado.
2. Encender el equipo de DSC y seleccionar el programa adecuado para el análisis.
3. Elaborar el análisis colocando el crisol con la muestra en el porta muestras del instrumento y cerrar la cámara. Se debe iniciar el programa de análisis, que consiste en someter la muestra a un ciclo de calentamiento, enfriamiento y calentamiento, con una velocidad de barrido constante.
4. Bosquejar la curva DSC.

## **Resultados y discusión**

A continuación, se presentan los resultados obtenidos al desarrollar cada una de las fases de la investigación:

### **Preparación de la mezcla de desecho de botellas de PET con HPMC reciclada**

Se logró recolectar alrededor de 300 botellas de refresco comercial las cuales representaron el PET reciclado, estas botellas se lavaron y secaron para luego ser introducidas a un molino de cuchillas, donde se cortaron en trozos pequeños para luego ser introducidas en otro molino, donde se obtuvo el PET de pequeñas

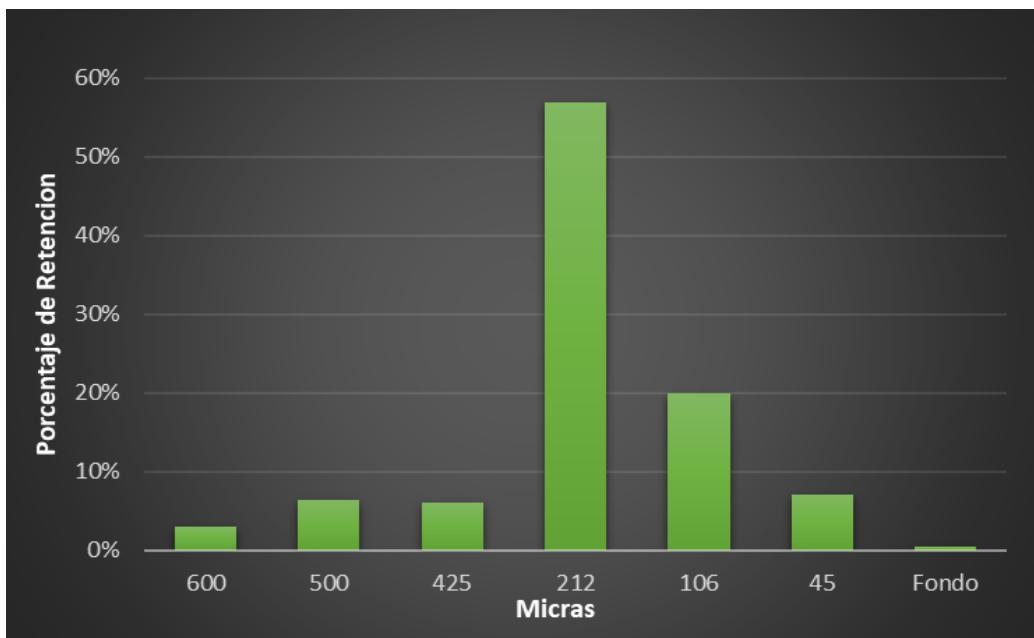
partículas finas. Estas partículas fueron pesadas en conjunto con una muestra de HPMC hasta obtener un total de mezcla de 1 kg, compuesta por un 70% de PET y un 30% de HPMC; esta mezcla se sometió a un mezclador Papenmeier asegurando un adecuado mezclado mecánico. Comparativamente, en el trabajo de investigación de Real y Santana [9], se utilizó una proporción de 70% PET y 25% PE, siendo esta de igual manera una mezcla de polímero y no un aditivo, en donde se utiliza menos del 5% de concentración de uno de los componentes de la mezcla. Las cantidades obtenidas de las mezclas se muestran en la tabla 1.

**Tabla 1. Cantidadas obtenidas de PET y HPMC después del mezclado en Papenmeier**

Polímero convencional	PET
Cantidad de PET (kg)	0,700
Polímero biodegradable	HPMC
Cantidad de HPMC (kg)	0,300
Proporción de mezcla	70/30
Total, de mezcla (kg)	1

### **Determinación del tamaño de partícula por análisis de TPP y microscopía óptica de PET, HPMC y mezcla PET/HPMC.**

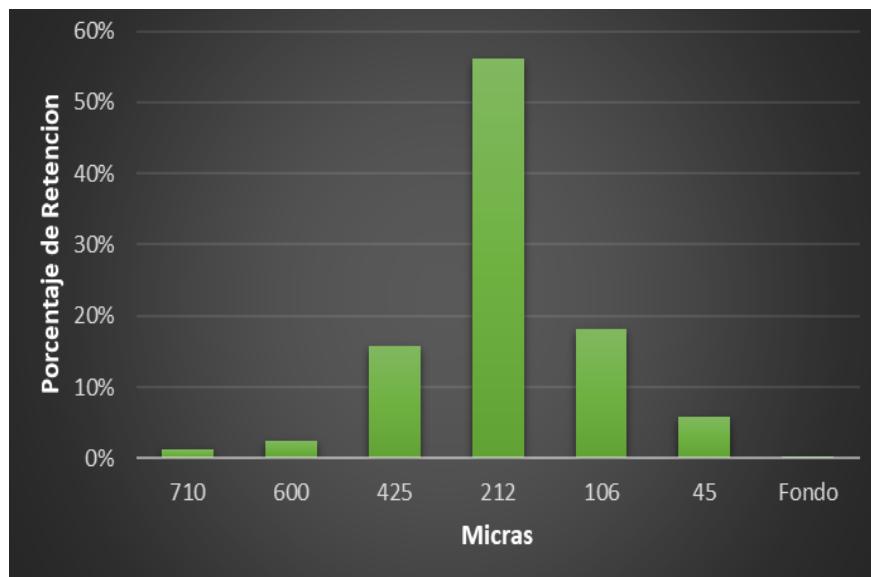
Para el análisis de tamaño de partícula se determinó el rango de partículas del PET, para lo cual se realizaron cuatro ensayos con diferentes intervalos de tamaño, cada uno con su respectivo duplicado. El análisis mostró que el promedio de TTP se situó entre 300 y 310 micras ( $\mu\text{m}$ ); mientras que, el tamaño máximo y mínimo de partícula osciló entre más de 1000  $\mu\text{m}$  y menos 45  $\mu\text{m}$ , respectivamente. Esto evidencia una gran variabilidad en el rango de partículas del PET (Figura 1).



**Figura 1. Primer ensayo de distribución de tamaño de partículas del PET**

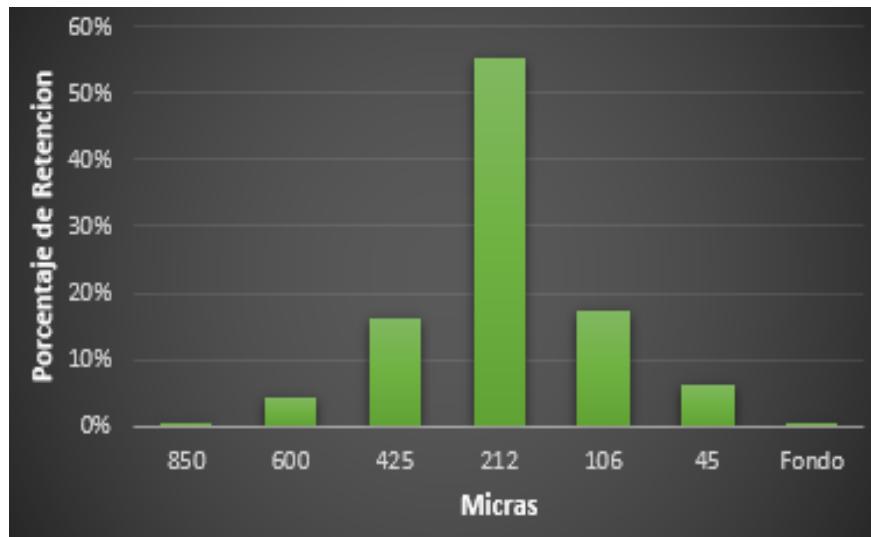
La distribución de partículas del ensayo 1 se presenta en la Figura 1. Se apreció que más de la mitad de las partículas (56,9%) se retuvieron en el tamiz de 212  $\mu\text{m}$ . En contraste, solo el 0,6% de las partículas presentaron un tamaño menor a 45  $\mu\text{m}$ , correspondiente al tamiz más fino empleado. El TTP de este ensayo, que representó el tamaño medio de partículas, se estimó en 298,2  $\mu\text{m}$ , con una desviación estándar del

10,391% respecto al duplicado. Esta variabilidad podría atribuirse a las características hidrofóbicas del PET, que podrían haber influido en el comportamiento de las muestras.



**Figura 2. Segundo ensayo de distribución de tamaño de partículas del PET**

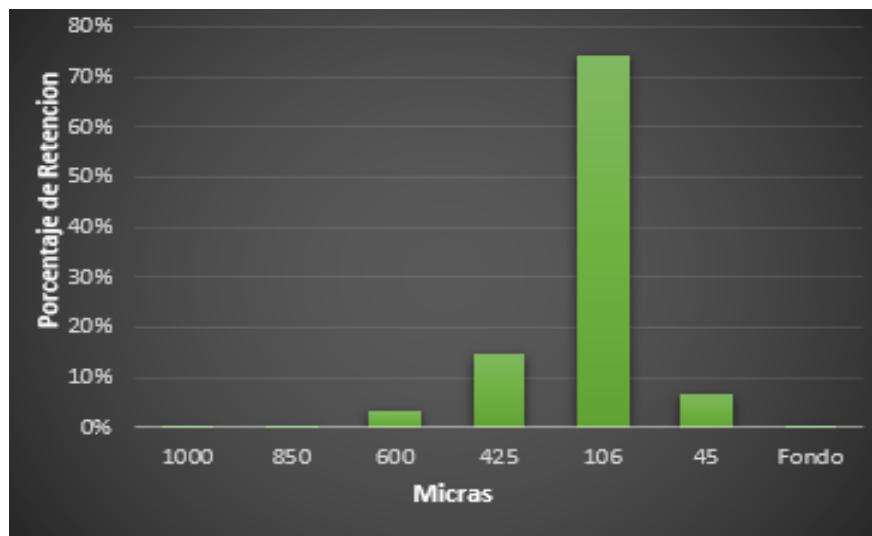
La Figura 2 ilustra la distribución de partículas del ensayo 2. Se evidenció una tendencia similar a la del ensayo 1, donde el tamiz de 212  $\mu\text{m}$  capturó la mayor proporción de partículas, con un 56,2%. En este ensayo, se empleó un intervalo de partículas de 710 a 45  $\mu\text{m}$ , y se observó una reducción de las partículas que atravesaron el fondo, con un 0,3% menos que en el ensayo 1. El TTP de este ensayo, que correspondió al tamaño medio de partículas, se calculó en 316,9 micras, con una desviación estándar del 10,04% respecto al duplicado. Estos resultados evidenciaron una elevada similitud entre los dos ensayos.



**Figura 3. Tercer ensayo de distribución de tamaño de partículas del PET.**

La Figura 3 representa la distribución de partículas del ensayo 3. Se notó una tendencia similar a la de los ensayos previos, donde el tamiz de 212  $\mu\text{m}$  retuvo la mayor fracción de partículas, con un 55,8%. En este ensayo, se empleó un intervalo de partículas de 850 a 45  $\mu\text{m}$ , y se registró una disminución notable en la proporción de partículas en los tamices superiores, debido al aumento del rango. El TTP de este ensayo, que correspondió al tamaño medio de partículas, se estimó en 325  $\mu\text{m}$ , con una desviación estándar del 20,12%.

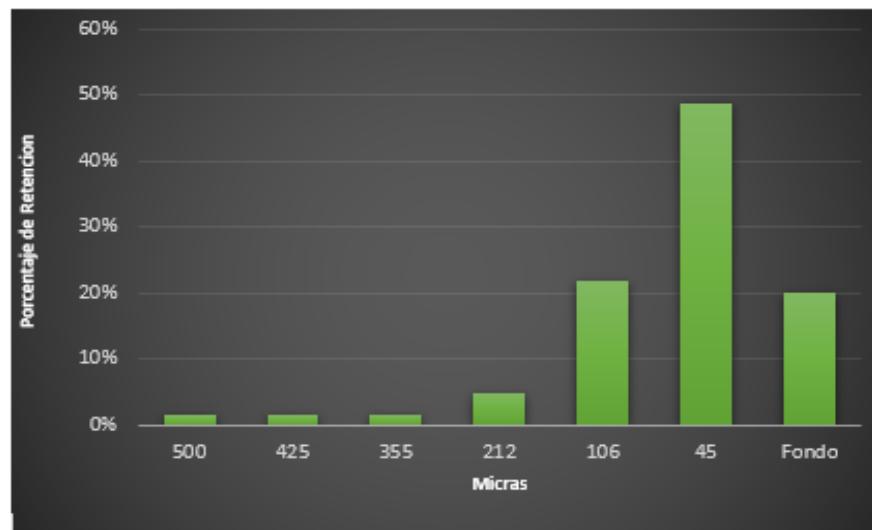
Estos resultados evidenciaron una mayor variabilidad en el rango de partículas del PET, lo que podría asociarse con la característica hidrofóbica del material.



**Figura 4. Cuarto ensayo de distribución de tamaño de partículas del PET.**

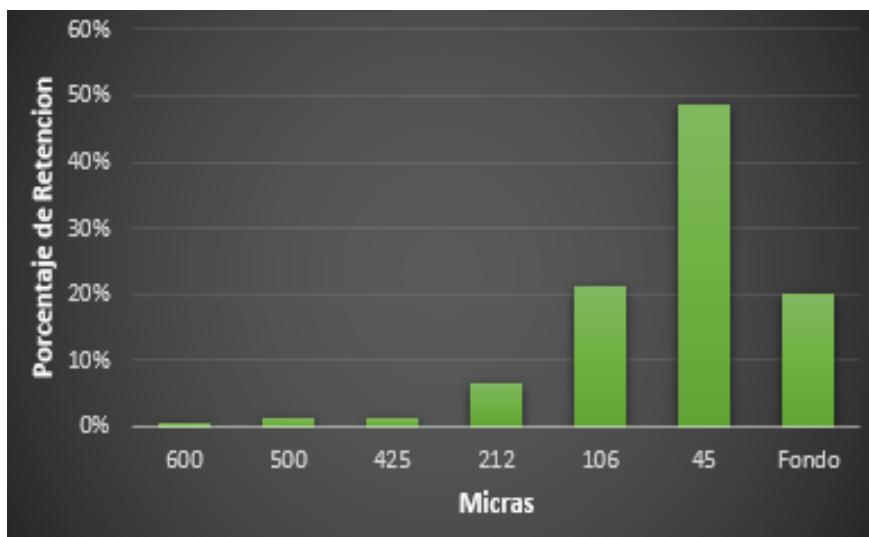
La Figura 4 exhibe la distribución de partículas del ensayo 4. Se evidenció una diferencia notable con respecto a los ensayos previos, debido a que se empleó un rango de tamaño de partículas de 1000 a 45  $\mu\text{m}$ . Se debió sustituir varios tamices con respecto a los ensayos anteriores, y uno de ellos fue el tamiz de 106  $\mu\text{m}$ , el cual capturó la mayor fracción de partículas, con un 74,1%. Se observó que existen algunas partículas que superaron el tamiz de 1000  $\mu\text{m}$ . Esto evidenció el amplio rango de partículas que presenta el PET. El TTP de este ensayo, que representó el tamaño medio de partículas, se calculó en 306,2  $\mu\text{m}$ , con desviación estándar del 0,6%. Estos resultados indicaron una mejora significativa con respecto a los últimos tres ensayos, ya que se ajustaron al rango adecuado, que es de máximo 5%.

Se apreció que el PET presentó un rango de tamaño de partículas muy variable, lo que podría atribuirse a que el molino empleado para triturar el PET no generó partículas homogéneas, sino que produjo partículas de distintos tamaños. Esto podría repercutir en la calidad de la mezcla obtenida, ya que las partículas de PET no se combinarián adecuadamente con las del HPMC, lo que pudiera modificar las propiedades del material compuesto. El tamaño medio de partículas se situó entre 300 y 310  $\mu\text{m}$ .



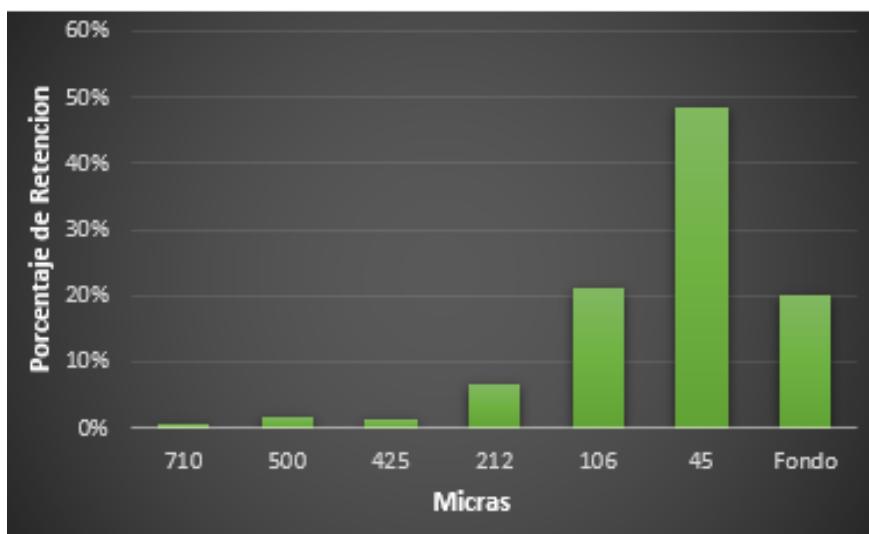
**Figura 5. Distribución de tamaño de partículas del ensayo 1 del HPMC.**

La Figura 5 ilustra la distribución de tamaño de partículas del ensayo 1 del HPMC. Se apreció que el tamiz de 45  $\mu\text{m}$  retuvo la mayor fracción de partículas, con un 48,7%, seguido del tamiz de 106  $\mu\text{m}$ , con un 21,8%. Además, se observó que el 19,9% de las partículas atravesaron el fondo, lo que indicó que presentaron un tamaño menor a 45  $\mu\text{m}$ . El TTP promedio se estimó en 111,3  $\mu\text{m}$ , bastante inferior al tamaño medio del PET, y la desviación estándar respecto al duplicado se calculó en 1,16%, lo que indicó que se ajustó al rango de error aceptable.



**Figura 6. Segundo ensayo de distribución de tamaño de partículas del HPMC.**

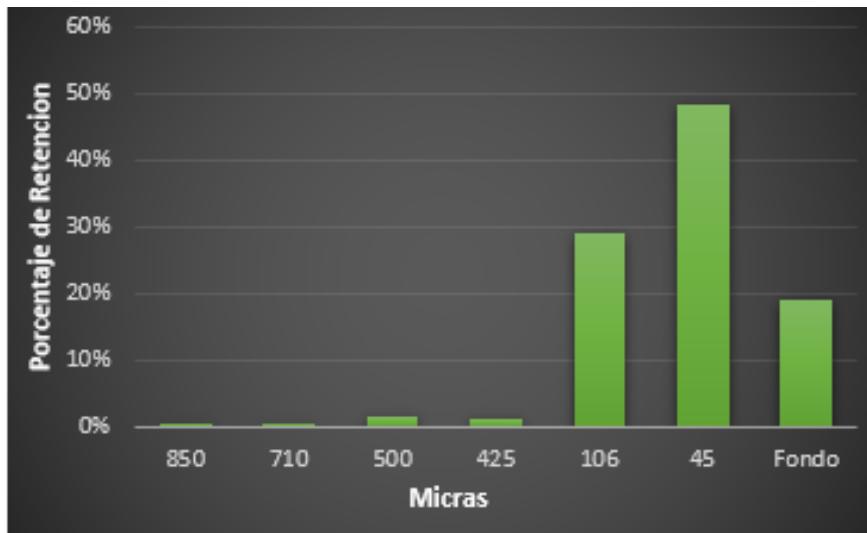
La Figura 6 exhibe la distribución de tamaño de partículas del ensayo 2 del HPMC. Se notó una tendencia similar a la del primer ensayo, donde el tamiz de 45  $\mu\text{m}$  retuvo la mayor fracción de partículas, con un 48,6%, seguido del tamiz de 106  $\mu\text{m}$ , con un 21,3%. Además, se registró un ligero aumento en las partículas que atravesaron el fondo, con un 0,1% más que en el primer ensayo. Asimismo, el porcentaje de partículas superiores a 600  $\mu\text{m}$  fue de tan solo el 0,7%. El TTP promedio se estimó en 113,9  $\mu\text{m}$ , bastante similar al primer ensayo, al igual que su desviación estándar respecto al duplicado, que se calculó en 1,42%



**Figura 7. Tercer ensayo de distribución de tamaño de partículas del HPMC.**

La Figura 7 representa la distribución de tamaño de partículas del ensayo 3 de HPMC. Se obtuvo una tendencia similar a la de los últimos dos ensayos, donde el tamiz de 45  $\mu\text{m}$  retuvo la mayor fracción de

partículas, con un 48,4%, y el 20,2% de las partículas atravesaron el fondo. El TTP promedio se estimó en 114,8  $\mu\text{m}$ , muy similar a los ensayos anteriores, y la desviación estándar respecto al duplicado se calculó en 3,32%, lo que es ligeramente superior a los ensayos anteriores, pero se mantiene dentro de un rango aceptable.



**Figura 8. Cuarto ensayo de distribución de tamaño de partículas del HPMC.**

La Figura 8 muestra la distribución de tamaño de partículas del ensayo 4 de HPMC. Se observó una tendencia similar a la de los últimos tres ensayos, pero con ligeros cambios. El tamiz de 45  $\mu\text{m}$  fue el que retuvo el mayor número de partículas, con un 48,5%, seguido del tamiz de 106  $\mu\text{m}$ , con un 29%. Este incremento se debió al ensanchamiento del rango de partículas. De hecho, solo el 0,3% de las partículas se retuvieron en el tamiz de 850  $\mu\text{m}$ , lo que es una cantidad insignificante. El TTP fue de 137,8  $\mu\text{m}$ , superior al de los últimos tres ensayos. Esto puede deberse a la escasa distribución de las partículas, que se concentraron principalmente en los últimos tres tamices, a diferencia de los últimos ensayos. La desviación estándar respecto al duplicado fue de 0,8%, lo que indica una buena precisión.

Se evidenció que el HPMC presentó un tamaño medio de partículas de alrededor de 110 a 120  $\mu\text{m}$ , inferior al del PET, lo que podría afectar a la homogeneidad de la mezcla. Además, el HPMC tuvo un porcentaje de partículas notablemente menor a 45  $\mu\text{m}$ , y debido a la limitación del equipo, no se pudieron emplear tamices de menor tamaño, pudiendo comprometer la precisión del tamaño de partículas. Procediendo con el análisis de tamaño de partícula para la mezcla de PET/HPMC en proporción 70/30, se realizó el mismo procedimiento que constó de cuatro ensayos para la HPMC, obteniéndose los valores mostrados a continuación: (Figura 9).

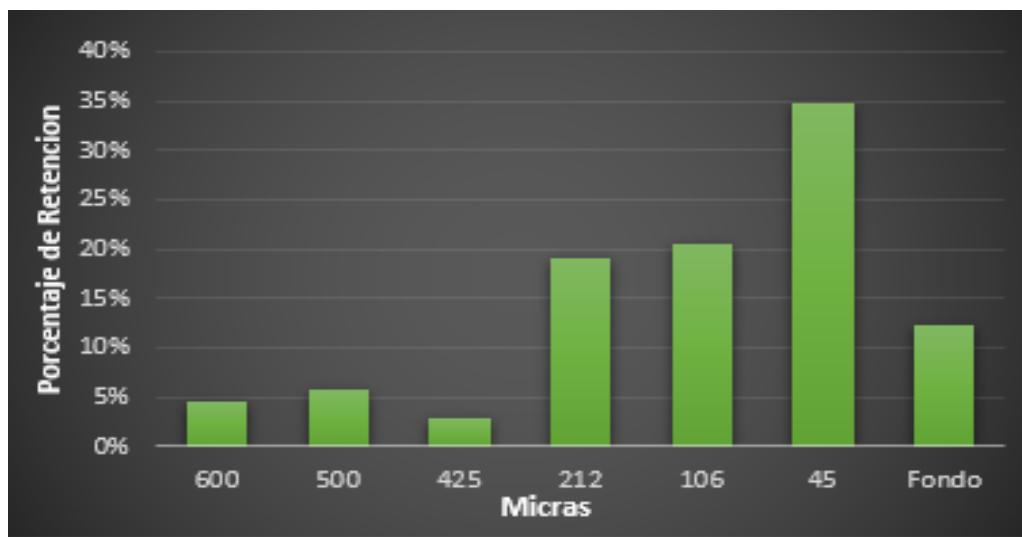


Figura 9. Primer ensayo distribución de tamaño de Partículas de mezcla PET/HPMC.

La Figura 9 muestra la distribución de tamaño de partículas del ensayo 1 de la mezcla de PET 70% y HPMC 30%. Como resultado se evidenció una distribución bastante homogénea, donde el tamiz de 45  $\mu\text{m}$  retuvo el mayor porcentaje de partículas, con un 34,9%, seguido del tamiz de 106  $\mu\text{m}$ , con un 20,5%, y del tamiz de 212  $\mu\text{m}$ , con un 19%. Sin embargo, también se observó que el 12,3% de las partículas atravesaron el fondo. El TTP fue de 196,6 micras, un valor intermedio entre el PET y el HPMC, y la desviación estándar respecto al duplicado fue de 4,06%, lo que indicó que se encontraba dentro de un rango aceptable.

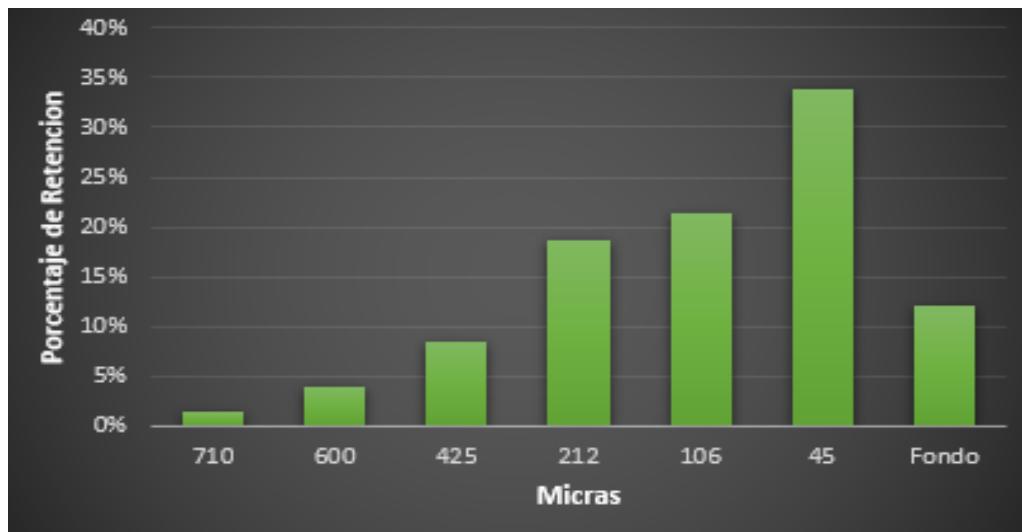
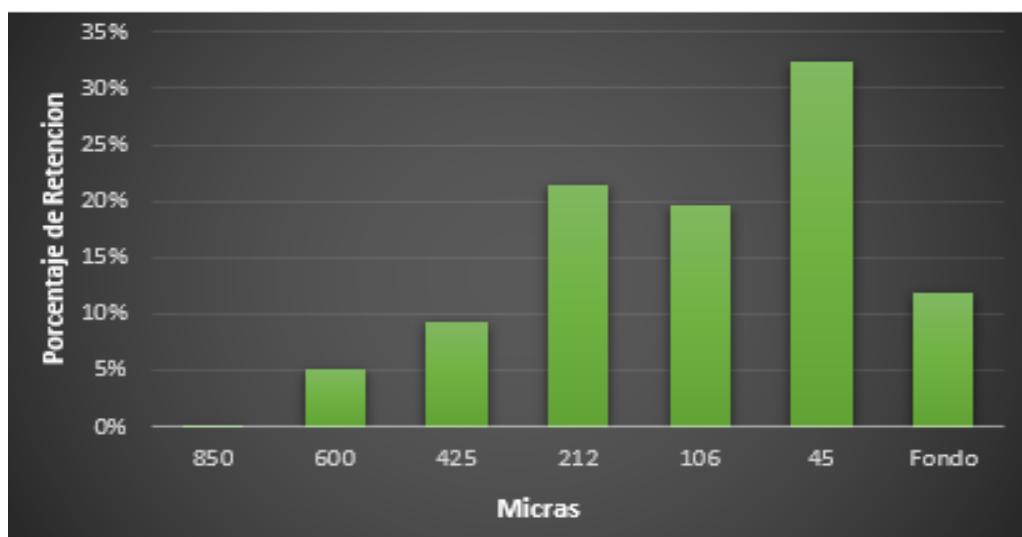


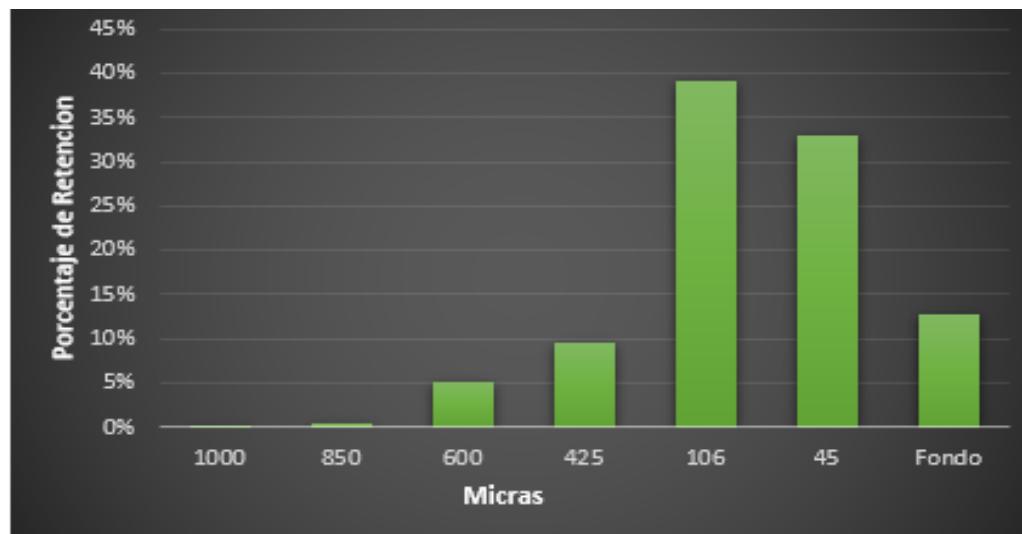
Figura 10. Segundo ensayo de distribución de tamaño de partículas de mezcla PET/HPMC

La Figura 10 ilustra la distribución de tamaño de partículas del ensayo 2 de la mezcla de PET 70% y HPMC 30%. Se estableció una tendencia similar a la del primer ensayo, donde el tamiz de 45  $\mu\text{m}$  retuvo el mayor porcentaje de partículas, con un 33,9%, seguido del tamiz de 106  $\mu\text{m}$ , con un 21,3%. El 12% de las partículas atravesaron el fondo, una proporción similar a la del ensayo anterior. El TTP fue de 200,9  $\mu\text{m}$ , valor próximo al primer ensayo, y la desviación estándar respecto al duplicado fue de 1,3%, lo que indicó una buena precisión.



**Figura 11.** Tercer ensayo de distribución de tamaño de partículas de mezcla PET/HPMC.

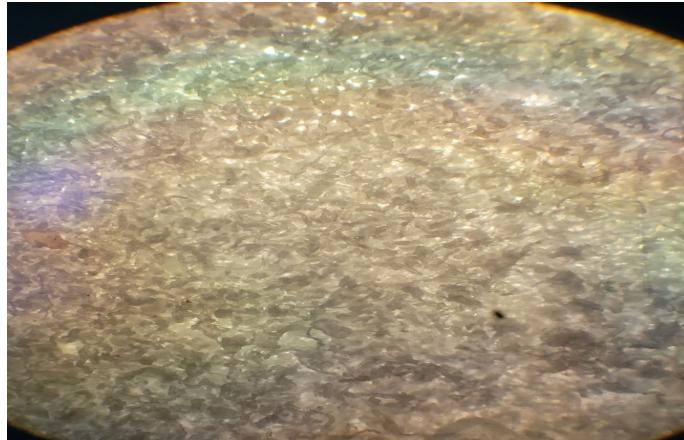
La Figura 11 muestra la distribución de tamaño de partículas del ensayo 3 de la mezcla de PET 70% y HPMC 30%. Se notó una tendencia similar a la de los ensayos anteriores, donde el tamiz de 45  $\mu\text{m}$  retuvo el mayor número de partículas, con un 32,4%, seguido del tamiz de 212  $\mu\text{m}$ , con un 21,5%. Esto implicó una diferencia con respecto a los dos últimos ensayos, donde el segundo tamiz con más retención fue el de 106  $\mu\text{m}$ . El TTP fue de 213,4  $\mu\text{m}$ , un valor similar a los de los dos últimos ensayos, siendo la desviación estándar respecto al duplicado del 5,47%.



**Figura 12.** Cuarto ensayo distribución de tamaño de Partículas de mezcla PET/HPMC

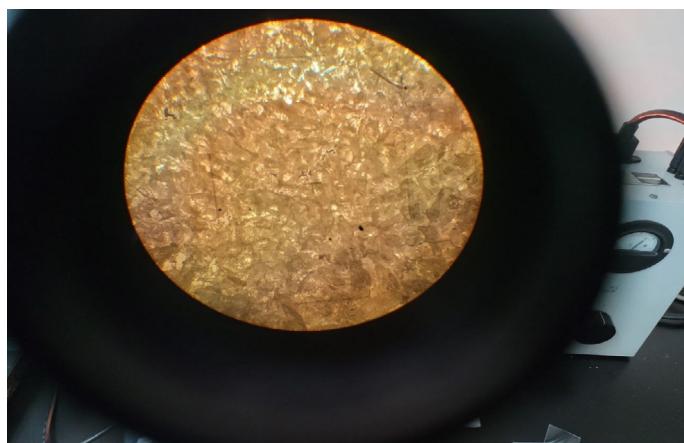
La Figura 12 ilustra la distribución de tamaño de partículas del ensayo 4 de la mezcla de PET 70% y HPMC 30%. Fue evidente una tendencia similar a la de los ensayos anteriores, pero con menor dispersión. El tamiz que capturó el mayor porcentaje de partículas fue el de 106  $\mu\text{m}$ , con un 39,1%, seguido del tamiz de 45  $\mu\text{m}$ , con un 32,8%. Esto supone un cambio significativo con respecto a los ensayos anteriores, que podría deberse al ensanchamiento del rango de partículas. De hecho, el tamiz de 1000  $\mu\text{m}$  solo retuvo el 0,2% de las partículas, y el de 850  $\mu\text{m}$  solo el 0,5%, lo que es un porcentaje insignificante. El TTP fue de 223,6  $\mu\text{m}$ , y la desviación estándar respecto al duplicado fue de 1,67%, lo que indicó una buena precisión.

Se demostró que la mezcla de PET 70% y HPMC 30% presentó un tamaño medio de partículas de 200 – 215  $\mu\text{m}$ , lo que es un valor intermedio entre el PET y el HPMC. Además, la mezcla de PET 70% y HPMC 30% tiene un porcentaje de partículas significativamente menor a 45  $\mu\text{m}$ , y debido a la limitación del equipo, no se pudo utilizar tamices de menor tamaño, lo que podría afectar a la precisión del tamaño de partículas. Por los ensayos anteriores, se puede inferir que las partículas que se quedan en el fondo son principalmente de HPMC. Se debe mencionar que también se realizó un análisis de microscopía óptica a cada uno de los materiales planteados. Por consiguiente, se muestran las fotografías para el PET, HPMC y mezcla PET/HPMC, a continuación:



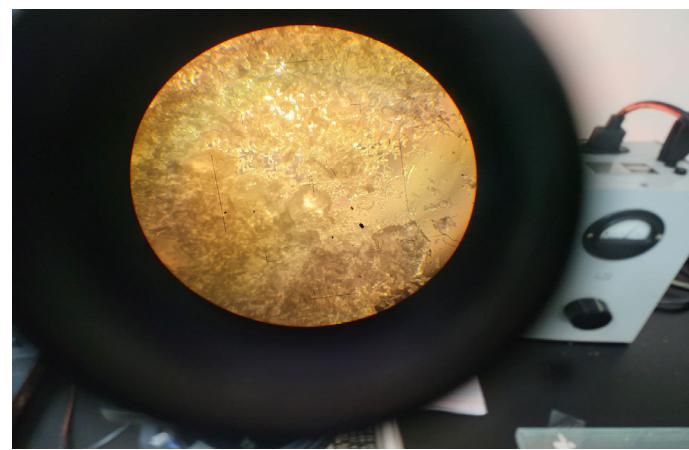
**Figura 13. Morfología del HPMC.**

En la Figura 13 se observa la morfología del HPMC mediante microscopía, donde se aprecian los pequeños cristales o gránulos que lo conforman.



**Figura 14. Morfología del PET**

La Figura 14 muestra la morfología del PET observada por microscopía, donde se distinguen los cristales o gránulos que lo constituyen y se nota que son de mayor tamaño que los de la celulosa.



**Figura 15. Morfología de la mezcla de PET 70% y HPMC 30%**

La Figura 15 ilustra la morfología de la mezcla de PET 70% y HPMC 30% observada por microscopía, donde se diferencian los cristales de cada componente. Se aprecia la diferencia de tamaño entre los cristales del PET, que son más grandes que los del HPMC, lo que coincide con lo determinado en los ensayos de tamaño de partículas realizados previamente.

Comparativamente con trabajos anteriores en los que se mezcló PET con otros componentes, Osorio et al., [10], emplearon partículas de zinc de 1 a 5  $\mu\text{m}$  en proporciones del 5 y el 40% en peso respecto al PET, obteniendo que el componente de la mezcla es de un tamaño mucho menor, favoreciendo la conformación de mezclas más homogéneas con morfología más uniforme; mientras que, en la investigación actual se obtuvo que las partículas de HPMC presentaron un rango de tamaño mucho mayor, lo que implica una mayor diferencia de tamaño con el PET.

#### **Moldeado de placas por compresión de mezcla de PET/HPMC reciclado.**

En la Figura 16 se presentan placas fundidas con la mezcla polimérica preparada según las especificaciones mencionadas a continuación.



**Figura 16. Placa fundida de la Mezcla PET 95% y 5% HPMC a 220°C de referencia.**

En la Figura 16 se aprecian puntos negros en las placas, que corresponden al HPMC carbonizado, ya que como se determinó anteriormente, este material se funde a 211 °C, y al fundir la placa a 220 °C, se carboniza formando esos puntos. Además, el PET no se funde completamente, porque su punto de fusión es de 245 °C.

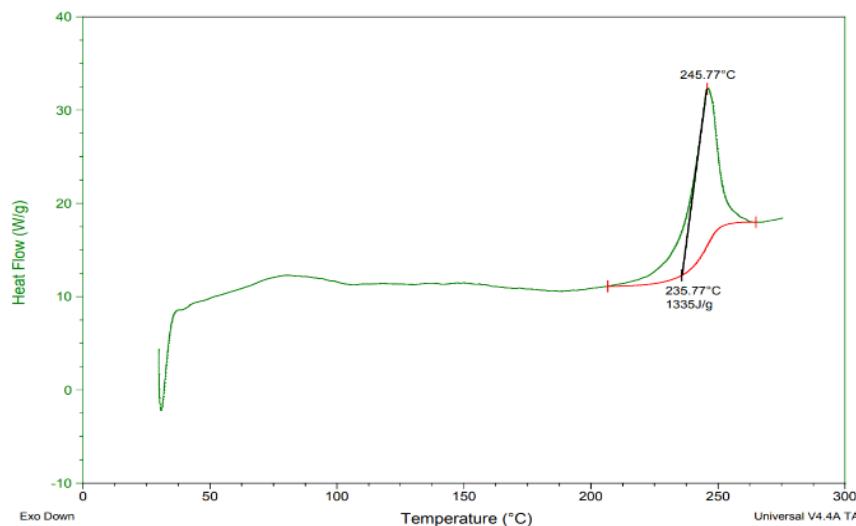


**Figura 17. Placa fundida de la Mezcla PET 70% y 30% HPMC 180 °C.**

En la Figura 17 se observa una gran zona carbonizada que corresponde a la celulosa, la cual se descompuso a una temperatura inferior a su punto de fusión. Esto evidencia el efecto del HPMC sobre el PET, ya que al aumentar la proporción de HPMC se altera significativamente el punto de fusión de la misma. Estos hallazgos difieren de los obtenidos por Palomo y Llumiquinga [11], al emplear un equipo adecuado como una extrusora para homogeneizar la mezcla de polipropileno (PP) y el elastómero de nitrilo (EN), utilizando posteriormente una prensa hidráulica, para la obtención de tableros con distintas composiciones mediante moldeo por compresión, diferente a la mezcla empleada en el presente trabajo.

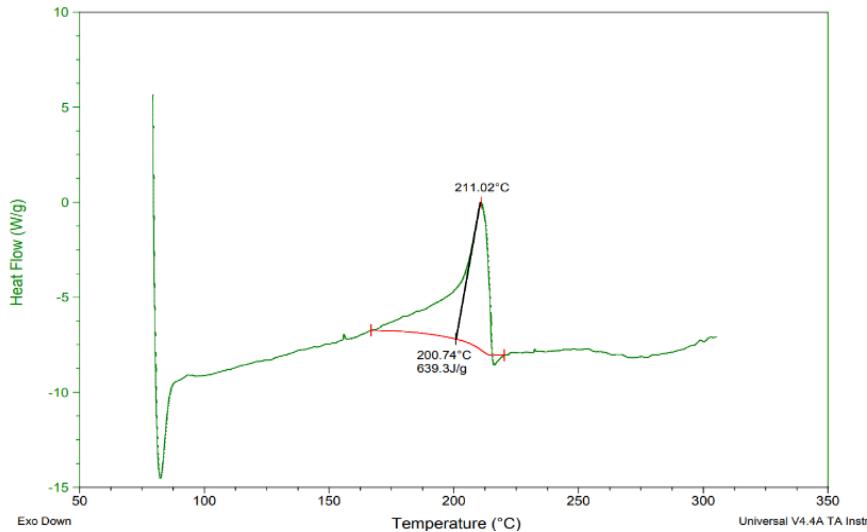
#### **Caracterización por prueba DSC de PET, HPMC y mezcla PET/HPMC.**

El DSC consiste en una técnica que mide la diferencia de calor entre una muestra y una referencia al variar la temperatura. Se usa para detectar cambios físicos y químicos en los materiales, como puntos de fusión, transiciones vítreas, cambios de fase y curado. De una prueba DSC se obtiene una curva de flujo calorífico versus temperatura, que muestra los picos o valles correspondientes a las transiciones térmicas de la muestra. En esta gráfica el área bajo el pico o el valle representa la entalpía o el calor absorbido o liberado por la muestra durante la transición. El punto de fusión se puede determinar por el inicio del pico o la temperatura máxima del pico, dependiendo del tipo de materia, como los casos que se muestran a continuación:



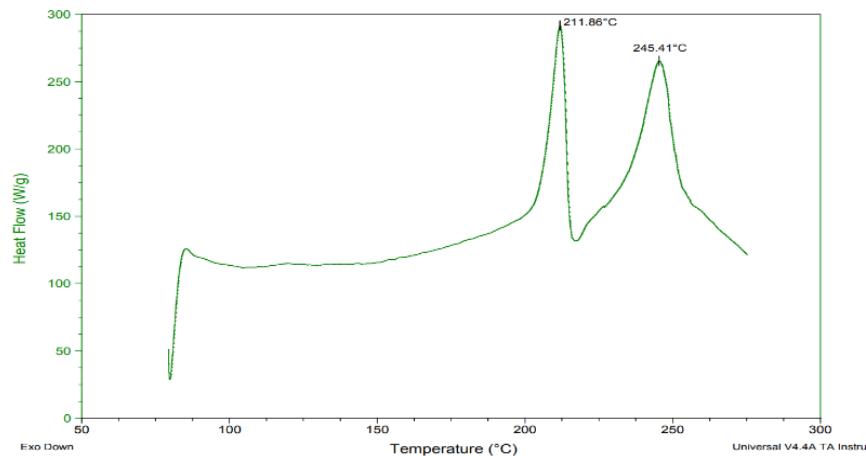
**Figura 18. DSC del PET 100%**

La Figura 18 muestra el análisis de calorimetría de punto de fusión del PET. Se apreció que el PET empezó a fundirse a partir de los 235,77 °C, que es el punto donde inicia el ascenso del pico de la figura, hasta alcanzar los 245,77 °C, que correspondió a su punto de fusión y al punto más alto del pico de la gráfica. Además, el análisis reveló que el punto de fusión del PET está 14,23 °C por debajo del punto de fusión teórico mínimo del PET, lo que indicó que el PET no se está comportando de manera adecuada. Esto puede deberse a que se trata de un PET reciclado que fue sometido a un proceso físico de transformación para convertirlo en polvo, lo que pudo haber afectado el punto de fusión del material.



**Figura 19. DSC de HPMC 100%**

La Figura 19 ilustra el análisis de calorimetría de punto de fusión del HPMC. Se notó que el HPMC comenzó a fundirse a partir de los 200,74 °C, que es el punto donde se inició el aumento del pico de la gráfica, hasta llegar a los 211,02 °C, que correspondieron a su punto de fusión y al punto más alto del pico de la gráfica. Además, el análisis muestra que el punto de fusión del HPMC estuvo 13,98 °C por debajo del punto de fusión teórico mínimo del HPMC, lo que indicó que el material no se está comportando de forma adecuada. Esto puede deberse a varios factores, como la integridad del material, si fue afectado en la fábrica, por lo que podría presentar alteraciones en su comportamiento normal que pueden afectar el punto de fusión.



**Figura 20. DSC del PET 70% HPMC 30%**

La Figura 20 muestra el análisis de calorimetría de punto de fusión de la mezcla de PET 70% HPMC 30%. Se aprecian los dos puntos de fusión, tanto del PET a 245,41 °C como del HPMC a 211,86 °C, lo que

indicó valores similares a los de los ensayos anteriores. Además, se observó la diferencia entre los dos puntos de fusión, que fue de 33,55 °C. Este aspecto es muy relevante, ya que cuando el HPMC se funde a 211,86 °C y la temperatura sigue aumentando, el HPMC se empezará a degradar y cuando se funda el PET a 245,41 °C, el HPMC ya se habrá carbonizado. Por lo tanto, estos polímeros no son los más adecuados para realizar una mezcla fundida, ya que tienen puntos de fusión muy distintos.

En comparación con los resultados de otros estudios como el de Real y Santana [9], donde la temperatura de fusión del PET blanco fue de 246,98°C, el valor obtenido en este trabajo fue de 245,41°C, lo que muestra una similitud en el comportamiento térmico del material y lo sitúa dentro de ese rango.

Las mezclas poliméricas de PET e HPMC presentan propiedades únicas que combinan la robustez y transparencia del PET con la capacidad de espesamiento, emulsificación y retención de humedad del HPMC. En las mezclas, la HPMC mejora la flexibilidad, la adhesión y la barrera de humedad; mientras que, el PET brinda resistencia mecánica y transparencia. La combinación puede ser útil en diversos campos, como en la industria alimentaria para la fabricación de envases, en la industria farmacéutica para la fabricación de fármacos, y en la industria de la construcción para la fabricación de materiales con propiedades de barrera y retención de humedad.

## Conclusiones

Se logró preparar una mezcla física del polímero convencional PET y la HPMC que representa al polímero biodegradable de dicha mezcla. Antes de iniciar el proceso de mezclado fue necesario obtener el PET por medio de reciclaje de botellas de refresco comercial, cuyos residuos fueron sometidos a un tratamiento que permitió obtener pequeñas partículas del polímero convencional, a su vez la HPMC es materia reciclada obtenido como el desecho de una muestra testigo que fue sometida a varias pruebas, siendo ambos materiales reutilizados, los cuales se introdujeron en un mezclador de alta intensidad para obtener una mejor calidad de la mezcla.

Los análisis de tamaño promedio de partícula para ambos materiales, así como para la mezcla, arrojaron que el material de mayor tamaño es el PET obtenido; mientras que, la HPMC reutilizada presentó un menor tamaño, siendo la mezcla polimérica la que presentó un tamaño intermedio entre ambos materiales, en donde la mayoría de partículas que quedaron en el fondo fueron de HPMC, lo cual pudo influir en la homogeneidad de la mezcla, afectando la calidad de la misma.

En el moldeo de placas por compresión se demostró que el comportamiento de fusión de la mezcla se altera, ya que el punto de fusión tanto del HPMC como del PET se reduce. Esto implica que a una temperatura menor a la de fusión el HPMC, ya se ha carbonizado, lo que puede afectar la maleabilidad de las placas a altas temperaturas.

Tras realizar el ensayo de DSC se demostró que el punto de fusión del PET es menor que el punto de fusión teórico mínimo del PET, debido a su calidad de reciclado de material de desecho, presentándose el mismo caso para la HPMC cuyo punto de fusión es inferior al valor teórico. El aspecto más sobresaliente es la disparidad de sus puntos de fusión, lo que es muy significativo, ya que al fundirse el HPMC y continuar el aumento de temperatura, el HPMC se degradará y al alcanzar el punto de fusión del PET, el HPMC se habrá carbonizado, destacando el uso de un compatibilizante al momento de preparar la mezcla, que permita la adhesión entre ambas matrices poliméricas y se obtenga una mezcla homogénea.

Para comprender a fondo la interacción entre los polímeros y optimizar las propiedades, se recomienda investigar el impacto de proporciones más equitativas, proponiéndose proporciones de mezcla de 60/40 y 50/50 (PET:HPMC). Se espera que estas proporciones permitan comprender la influencia de la HPMC como componente mayoritario en la matriz, buscando potenciar algunas características como lo es la degradabilidad del material.

La caracterización preliminar de la mezcla polimérica PET/HPMC demostró que es necesario el uso de un agente de acoplamiento o compatibilizante entre el polímero convencional y el biodegradable que reduzca la tensión interfacial, aumente la adherencia, modifique la morfología y mejore las propiedades de la mezcla.

## Referencias bibliográficas

- [1] M. Asensio Valentín. (2020). *“Investigación y desarrollo de materiales avanzados y sostenibles para una nueva aplicación de pultrusión termoplástica”*, (Tesis. Universidad de Valladolid) [En línea]. Disponible en: <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/43489>
- [2] C. C. Zambrano-Sánchez., C. B. Latorre Castro., B. J. Carrillo-Anchundia. (2022). “Materiales poliméricos y el impacto ambiental: Una revisión”. *Polo de Conocimiento*, Edición 71, Vol. 7, N°. 6, pp. 596-614. [En línea] Disponible en: <file:///C:/Users/UNITEC%20PC/Downloads/Dialnet-MaterialesPolimericosYEIIImpactoAmbiental-9042528.pdf>
- [3] F. T. García. (1999). “Polímeros: procesos de manufactura y diseño. Parte 1: termoplásticos”. *Revista de Química*, Vol. 13, N° 1, 55-67.
- [4] R. B. Chacón., D. A. Hernández., S. G. F. Gallardo., C. A. H. Escobar., y E. A. Z. Contreras. (2017) “Uso de celulosa recuperada para el mejoramiento de las propiedades mecánicas del Polipropileno”. *Memorias ICM 17 9º Congreso internacional*. [En línea]. Disponible en: <http://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1004/2499>
- [5] V. Y. Martínez Gaona. (2017). *“Estudio de la degradabilidad del PET (polietilen tereftalato) dosificado con un biopolímero de la fibra de banano”*, (Tesis. Universidad Politécnica Salesiana). Ecuador. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14370>
- [6] H. Palma., F. Tenesaca. (2020) *“Estudio de la degradabilidad del PET (Polietilén Tereftalato) dosificado con celulosa de la cáscara de cacao”*, (Tesis. Universidad Politécnica Salesiana.). Ecuador. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18373>
- [7] A. Ochoa Mendoza. (2005) *“Reciclado mecánico de materiales compuestos con fibras de celulosa”*, (Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid). España. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.341>
- [8] A. Elgharbawy., et al. (2024). “Enhancing the Biodegradability, Water Solubility, and Thermal Properties of Polyvinyl Alcohol through Natural Polymer Blending: An Approach toward Sustainable Polymer Applications”, *Polymers*, vol. 16, no 15, p. 2141. [En línea]. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11314078/>
- [9] M. Real., y O. Santana *“Preparación y caracterización térmica y mecánica de mezclas PET reciclado/poliolefinas”*. (Centre Català del Plastic. Universidad Politécnica de Catalunya). 2009. [En línea]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6729/Proyecto%20de%20fin%20de%20carrera%20Magali%20Real.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [11] J. J. Osorio., E. Rocha., M. Romero., A. Altamirano., E. Refugio., “Caracterización de materiales compuestos a base de PET reciclado reforzado reforzado con 5 y 40% en peso de partículas de zinc”. *Avances en Ciencia e Ingeniería*. Vol. 3, N°. 1, pp. 11-20. 2012. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/3236/323627685002.pdf>
- [12] A. F. Palomo Caiza., y W. D. Llumiquinga Masapanta., “Caracterización de un material compuesto de matriz de polipropileno reforzado con partículas del endocarpio de coco de la sierra mediante moldeo por compresión”, Tesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador. 2020. [En línea]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20994>

# Análisis técnico-económico de alternativas tecnológicas para el diseño de mallas de puesta a tierra considerando una refinería de sal marina

*Technical-economic analysis of technological alternatives for the design of grounding grids considering a sea salt refinery*

**David E. Sánchez-Monzón**

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Eléctrica. Maracaibo, Venezuela.

 <https://orcid.org/0009-0000-1666-1127> | Correo Electrónico: [ing.davidesm@gmail.com](mailto:ing.davidesm@gmail.com)

**Nancy N. Mora-Morillo**

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Eléctrica. Maracaibo, Venezuela.

 <https://orcid.org/0009-0008-3202-9058> | Correo Electrónico: [nancy.mora.80259@uru.edu](mailto:nancy.mora.80259@uru.edu)

**Juliana Briceño-Morillo**

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Eléctrica. Maracaibo, Venezuela.

 <https://orcid.org/0009-0005-2385-0555> | Correo Electrónico: [julianabricenomorillo@gmail.com](mailto:julianabricenomorillo@gmail.com)

Recibido: 24/06/25 Admitido: 08/07/2025 Aceptado: 10/07/2025

## Resumen

La baja resistividad y las condiciones corrosivas del terreno en la refinería de sal marina bajo estudio plantearon retos técnicos y económicos en el diseño de la alternativa de la malla de puesta a tierra. Este estudio analizó alternativas tecnológicas empleando cobre, acero revestido con cobre y CONDUGROUND para identificar la solución más adecuada en el presente entorno salino. Se describieron las características eléctricas de la refinería, evaluando los niveles de cortocircuito y la resistividad del terreno. Con base en normativas internacionales, se establecieron criterios de diseño y se modelaron las alternativas en el software ETAP®. Además, se describió el proceso de inclusión de materiales nuevos al programa y se desarrolló un diagrama de flujo para sintetizar el procedimiento de diseño y modelado en ETAP. El análisis técnico-económico utilizó indicadores clave de rendimiento (KPI) para evaluar el costo por kiloamperio disipado. Los resultados concluyeron que la alternativa basada en CONDUGROUND es la más adecuada, al presentar el menor costo inicial por kiloamperio disipado, evitar la necesidad de protección catódica debido a su capa anticorrosiva de fábrica reforzada con el adicional del aerosol anticorrosivo y asegurar condiciones de seguridad al personal ante fallas a tierra en la subestación de la acometida.

**Palabras clave:** ETAP, mallas de puesta a tierra, análisis, técnico-económico, salinidad

## Abstract

*The low resistivity and corrosive conditions of the soil at the sea salt refinery under study posed technical and economic challenges in designing the grounding grid alternative. This study analyzed technological alternatives using copper, copper-clad steel, and CONDUGROUND to identify the most suitable solution for this saline environment. The electrical characteristics of the refinery were described, evaluating fault levels and soil resistivity. Based on international standards, design criteria were established, and the alternatives were modeled using ETAP® software. Additionally, the process of including new materials into the program was described, and a flowchart was developed to synthesize the design and modeling procedure in ETAP. The technical-economic analysis used key performance indicators (KPIs) to evaluate the cost per kiloampere dissipated. The results conclude that the CONDUGROUND-based alternative is the most suitable, as it presents the lowest initial cost per kiloampere dissipated, eliminates the need for cathodic protection due to its factory-installed anticorrosive layer, reinforced with an additional anticorrosive aerosol, and ensures safety conditions for personnel in the event of ground faults at the substation of the incoming power supply.*

**Key words:** ETAP, grounding grids, analysis, technical-economic, salinity.

## Introducción

Las refinerías de sal marina son esenciales para numerosas industrias, como la alimentaria, la química y la de tratamiento de agua, lo que genera una alta demanda de una producción sostenida, segura y eficiente, esto implica el uso intensivo de equipos eléctricos como motores, cintas transportadoras y bombas. Estos equipos permiten automatizar procesos industriales, mejorando la eficiencia operativa y garantizando el cumplimiento de los objetivos de producción. Sin embargo, para que el funcionamiento de estos equipos sea confiable y seguro, es indispensable implementar sistemas eléctricos robustos que aseguren su operatividad en todo momento [1]. Entre estos sistemas, las mallas de puesta a tierra juegan un papel crítico, ya que permiten disipar las corrientes de falla hacia el terreno, protegiendo tanto a los equipos como al personal de posibles daños o riesgos [2].

En ambientes corrosivos, como los de las refinerías de sal marina, el diseño de las mallas de puesta a tierra enfrenta desafíos importantes. La alta salinidad del suelo acelera el deterioro del material conductor, lo que reduce su vida útil y compromete el desempeño técnico del sistema. Estos problemas incluyen el aumento de la resistencia de puesta a tierra y la disminución de la capacidad de disipación de corrientes de falla, lo que pone en riesgo la seguridad operativa de la instalación [3]. Ante esta problemática, resulta imprescindible evaluar alternativas tecnológicas que combinen materiales más resistentes a la corrosión con diseños técnicamente confiables y económicamente sostenibles.

En este sentido, este estudio realiza un análisis técnico-económico de tres alternativas para el diseño de mallas de puesta a tierra: cobre, acero revestido con cobre y CONDUGROUND [4]. A través de simulaciones realizadas en el software ETAP® y siguiendo normativas internacionales [3][5][6][7][8], se evaluó el desempeño técnico y los costos asociados de cada alternativa, considerando las condiciones específicas del entorno. Este análisis buscó identificar la alternativa más adecuada que garantizara seguridad, confiabilidad y sostenibilidad económica en el diseño de mallas para entornos salinos.

Con base en lo expresado, la empresa BRIPCO, C.A. plantea este trabajo de investigación por el interés que tiene la empresa en abordar el tema de las mallas de puesta a tierra en entornos salinos como una preparación para ofrecer nuevos productos y ser capaz de enfrentar futuros desafíos.

## Metodología

El presente estudio se clasificó de tipo descriptivo, explicativo y proyectivo con diseño documental y quasi experimental. Tuvo como unidades de análisis la resistividad del terreno, niveles de cortocircuito en la acometida principal, las normativas vigentes para mallas de puesta a tierra, costos de los materiales para cada alternativa de diseño y el indicador para el análisis técnico-económico. La investigación se dividió en cinco fases, a saber:

### Fase 1: Descripción de la refinería de sal marina bajo estudio

Inicialmente, se realizó una breve descripción física de la instalación, abarcando generalidades como condiciones ambientales y su división en áreas funcionales. Luego, se procedió a la descripción eléctrica más detallada, enfocada en el área específica donde se encuentra la subestación de la acometida principal de la instalación. Se llevó a cabo una caracterización inicial de la infraestructura eléctrica de la refinería de sal marina, centrada en la acometida principal y los equipos asociados. Se recopiló la siguiente información acerca de: los equipos eléctricos más relevantes presentes en la zona de la acometida, la capacidad de los transformadores reductores y el estudio de cortocircuito asociado.

El objetivo de esta fase fue ofrecer una visión general de la instalación estudiada tanto desde el punto de vista físico como desde el punto de vista eléctrico.

## Fase 2: Estudio de resistividad eléctrica

En la presente fase, se llevó a cabo el análisis de la resistividad eléctrica del terreno mediante el método de Wenner de cuatro electrodos, lo que permitió obtener una visión precisa de las variaciones de resistividad en el suelo para poder disponer del modelo del mismo, a través del analizador de suelos del software ETAP.

El objetivo de esta fase fue obtener una caracterización detallada de la resistividad eléctrica del terreno y el modelo del mismo.

## Fase 3: Criterios de diseño

En esta fase se aplicaron los criterios de diseño establecidos en las normativas internacionales y documentos especializados por fabricantes para las mallas de puesta a tierra, donde las mismas consideran ambientes con condiciones corrosivas. Todas las normativas empleadas pertenecen al Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), específicamente se utilizaron los estándares ANSI/IEEE (2013) Std. 80 [5], ANSI/IEEE (2014) Std. 837 [7] y ANSI/IEEE (2007) Std. 142 [3]. Se tomaron en cuenta los parámetros determinados en las fases anteriores, tales como: área disponible, factores ambientales y niveles de cortocircuito para el diseño de la malla.

El objetivo de esta fase fue establecer los criterios de diseño adecuados para garantizar que la malla de puesta a tierra cumpliera con los requisitos técnicos y de seguridad establecidos, tanto por la empresa en sus procedimientos y estándares, como con los de las normativas internacionales mencionadas, logrando así un diseño seguro y eficiente.

## Fase 4: Modelado y análisis técnico de las alternativas tecnológicas.

En esta fase, se llevó a cabo el modelado de las mallas de puesta a tierra utilizando el software ETAP®, considerando los materiales de cobre, acero revestido con cobre y CONDUGROUND.

En primera instancia, debido a que se empleó un material nuevo, se elaboró un procedimiento para la incorporación del material a la librería del software. Posteriormente, se abordó el modelado de las alternativas, aplicando los criterios de diseño establecidos. Con el fin de establecer una visión clara del procedimiento para el ingreso de datos, así como del diseño y modelado en el módulo de puesta a tierra, se desarrolló un diagrama de flujo que detalló el paso a paso cada etapa del modelado hasta su finalización.

El objetivo principal de esta fase fue modelar y analizar técnicamente cada alternativa, asegurando que el diseño cumpliera con los parámetros de seguridad, evaluando los resultados y alertas del programa.

## Fase 5: Análisis económico

Se recopilaron cotizaciones emitidas por distintos fabricantes para las alternativas de diseño considerando los materiales: cobre, acero revestido con cobre y CONDUGROUND. Esto con la finalidad de determinar la inversión inicial requerida para cada alternativa. Posteriormente, se llevó a cabo un análisis técnico-económico para lo cual se diseñó un Indicador Clave de Rendimiento (KPI), empleado específicamente para evaluar el costo total de cada alternativa en conjunto con la magnitud de falla a tierra disipada por la malla, obteniendo así un estimado del costo por kiloamperio disipado.

El propósito de esta fase fue seleccionar la alternativa más adecuada desde un enfoque técnico-económico, identificando la solución con mejor desempeño en función del indicador de costo-beneficio diseñado, considerando además las condiciones corrosivas del entorno.

## Resultados y Discusión

### Descripción de la instalación

La refinería seleccionada para la presente investigación se encuentra en una zona costera de Suramérica, para llevar a cabo el estudio fue prudente contextualizar las condiciones climáticas presentes en

la instalación las cuales tienen un impacto directo en la composición del terreno y, por ende, en la resistividad del suelo. Dichas condiciones se detallan en la tabla 1.

**Tabla 1. Condiciones climáticas y ambientales de la instalación bajo estudio.**

Elevación sobre el nivel del mar	Temperatura ambiente					Humedad promedio
	Promedio	Máxima promedio	Máxima absoluta	Mínima promedio	Mínima absoluta	
43 m.s.n.m	27 °C	25 °C	32 °C	16 °C	24 °C	85.9 %

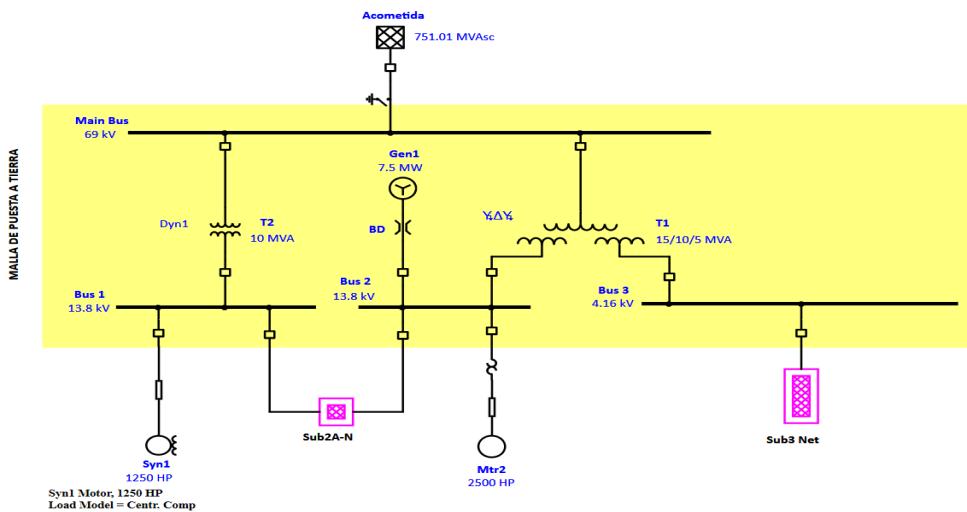
La instalación contó con una extensión total de cinco hectáreas (5 ha) aproximadamente, distribuidas en cinco áreas funcionales. Estas áreas incluyeron los talleres, el estacionamiento de maquinaria y la subestación de 480 V; el área destinada a la refinación de la sal; un almacén de materiales y productos; el área que contiene los tanques de propano, la garita de seguridad, una cancha deportiva y la subestación principal de 69/13,8 kV que representó la acometida de la instalación; y finalmente, las oficinas administrativas junto con su respectivo estacionamiento.

La acometida principal de la refinería de sal marina bajo estudio estuvo constituida por una subestación alimentada por un suministro trifásico en alta tensión a 69 kV proveniente de la red de transmisión. Posteriormente, este nivel de tensión se redujo a niveles de media tensión: 13.8 kV y 4.16 kV.

La configuración de la subestación de la acometida es de barra simple en cada nivel de tensión, con una sola línea de llegada de 69 kV en la barra principal. La alimentación eléctrica se realizó de manera directa desde la barra principal hacia los diferentes niveles de tensión, característica propia de un sistema eléctrico radial, lo que significa que cada carga está alimentada desde una única fuente sin la posibilidad de redundancia.

Entre los equipos de transformación, se encontraron dos transformadores reductores trifásicos: el transformador T1, de tres devanados con capacidad de 15/10/5 MVA, y con niveles de tensión de 69/13.8/4.16 kV. El primario y terciario estuvieron conectados sólidamente a tierra; mientras que, el secundario estaba en configuración delta. El transformador T2, de dos devanados con capacidad de 10 MVA y niveles de tensión de 69/13.8 kV, tuvo un grupo de conexión Dyl.

Adicionalmente, la acometida contó con generación auxiliar, conformada únicamente por un generador síncrono de 7.5 MW, con un factor de potencia (F.P.) de 0.85, eficiencia (Ef) del 90%, y una velocidad de 1800 RPM. Este generador operó a un nivel de tensión de 13.8 kV y estaba ubicado dentro del área ocupada por la malla de puesta a tierra (Figura 1).



**Figura 1. Modelado en ETAP® de la acometida principal de la refinería de sal marina**

Dentro de las principales cargas asociadas al proceso de refinación en la planta, se destacan las cargas más representativas en la Tabla 2.

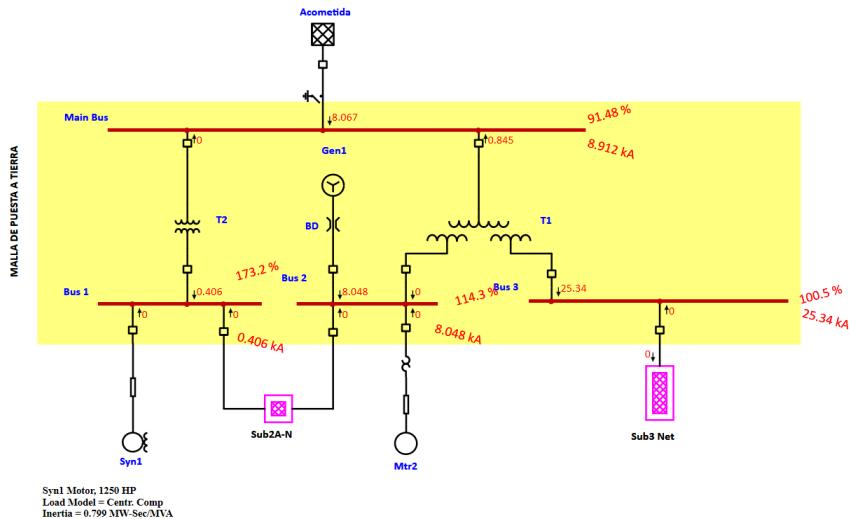
**Tabla 2. Cargas más importantes del proceso de refinación de sal marina**

Nombre	Tipo de carga	Tensión nominal (kV)	Potencia (kVA)
Mtr2	Motor de Inducción	13.8	2060
Mtr8	Motor de Inducción	4.16	1713.4
Syn1	Motor Síncrono	13.8	1170.4

Para efectuar el estudio de cortocircuito, fue necesario establecer el mayor nivel de falla monofásica a tierra en cada barra presente en la subestación (Figura 2). Tomando en cuenta el valor de potencia de cortocircuito suministrada por la red de 751.01 MVASC, proporcionado por el proveedor de servicio eléctrico local, los porcentajes de impedancia de secuencia positiva y negativa de los transformadores de potencia proporcionados por la empresa y las reactancias subtransitorias típicas para los motores y generadores. Se efectuó la simulación de cortocircuito de medio ciclo a través del módulo correspondiente en ETAP, teniendo como resultado los valores de la Tabla 3.

**Tabla 3. Resumen de estudio de cortocircuito en ETAP®**

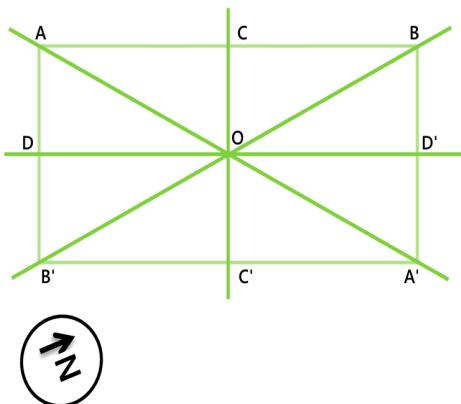
Ubicación de la falla máxima por cortocircuito	Magnitud de la falla (kA)	Relación X/R presente en barra
Bus de 69kV	8.912	37.70
Bus de 13.8kV	0.406	0.06
Bus de 13.8kV	8.048	10.71
Bus de 4.16kV	25.34	33.62



**Figura 2. Simulación de falla máxima fase-tierra en cada barra de la subestación de la acometida**

### Estudio de resistividad

En la caracterización eléctrica del terreno en la refinería de sal marina, las mediciones realizadas se llevaron a cabo con el telurómetro de la marca "AMPERIS" modelo "AMRU" el cual fue dispuesto para llevar a cabo el método Wenner de cuatro puntos sobre el área dispuesta para la acometida (Figura 3).



**Figura 3. Dirección de cada medición empleada en el método Wenner**

El método fue llevado a cabo variando tanto las direcciones como el espaciamiento de los electrodos de prueba, el cual fue de: 1 metro, 3 metros, 6 metros y 9 metros. Luego de haber agrupado, organizado e ingresado todas las mediciones obtenidas en el analizador de suelos de ETAP, estas fueron procesadas dando como resultado el modelo del suelo de dos capas que se indica a continuación (tabla 4).

**Tabla 4. Resultados del estudio de resistividad del terreno en ETAP®**

Modelo de suelo	Estratigrafía (# de capas)	Resistividad eléctrica ( $\Omega\text{-m}$ )	Espesor (m)
Doble capa	Primera capa	49.601	4.676
	Segunda capa	46.079	-

Los valores obtenidos de resistividad representan un suelo dentro de la categoría de suelos orgánicos. Asimismo, la baja resistividad obtenida se encontró relacionada también a las condiciones de salinidad debido a la particularidad del entorno. Respecto a lo anterior y tomando en consideración la relación entre la resistividad eléctrica y la corrosión del terreno establecida por Salam y Rahman [9], el terreno de la acometida de la refinería de sal marina bajo estudio se encontró en la categoría de corrosivo.

### Criterios de diseño

El diseño de la malla de puesta a tierra se fundamentó en las normas internacionales que regulan la seguridad y eficiencia de los sistemas de puesta a tierra. Se hace especial referencia a las normativas indicadas en la tabla 5 y de los criterios de diseño reflejados en la tabla 6.

**Tabla 5. Normas empleadas en los criterios de diseño de la malla de puesta a tierra**

Asociación	Número	Edición	Título	Sección	Tópico
IEEE	80	2013	Guide for Safety in AC Substation Grounding	11.1, 11.2, 11.3, 11.4, 12.5, 15.3, 16.2.5	Factores técnicos y consideraciones de diseño para mallas de puesta a tierra
IEEE	837	2014	Standard for Qualifying Permanent Connections Used in Substation Grounding	4	Selección de uniones
IEEE	142	2007	Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems	4.1.2, 4.3.1	Criterios para la resistencia y selección de componentes de puesta a tierra

**Tabla 6. Criterios de diseño para las alternativas de diseño de la malla de puesta a tierra**

Tópico	Criterio de diseño	Materiales		
		Cobre	Acero revestido con cobre	CONDUGROUND
Parámetros ambientales	Resistividad capa superficial ( $\rho$ )	2500 $\Omega \cdot \text{m}$		
	Espesor de capa superficial	0.15 m		
	Resistividad 1era capa ( $\rho_1$ )	49.601 $\Omega \cdot \text{m}$		
	Espesor 1era capa	4.676 m		
	Resistividad 2da capa ( $\rho_2$ )	46.079 $\Omega \cdot \text{m}$		
	Temperatura ambiente promedio (Ta)	27°C		
Disposición de malla	Área disponible	480m <sup>2</sup> ( 30m x 16m)		
	Profundidad de la malla	0.5m		
Parámetros eléctricos	Máxima resistencia de la malla ( $R_g$ )	5 $\Omega$		
	Corriente de cortocircuito (If)	25.34 kA		
	Tiempo de despeje de falla (tc)	0.5 sg		
	Factor de división de corrientes (Sf)	0.4019		
Conductores y uniones	Calibre del conductor	4/0 AWG	4/0 AWG	4/0 AWG
				3/4" (Por fabricante)
Electrodos	Tipo de unión	Unión exotérmica	Unión exotérmica	Unión exotérmica
	Material	Copperweld – Comercial (Acero revestido con cobre)		
	Diámetro (D)	5/8" (1.5875cm)		
Protección adicional contra la salinidad	Longitud (L)	8 pies (2.44 m)		
	Protección contra la corrosión	Protección catódica	Protección catódica	Aerosol de recubrimiento anticorrosivo de CONDUGROUND

### **Inclusión de material en librería del módulo de mallas de puesta a tierra**

Para incluir un material conductor en la librería del software ETAP®, se siguieron los pasos descritos a continuación:

#### **Paso 1: Acceder a la base de datos**

- Abrir el archivo "GRDLib.mdb" utilizando Microsoft Access.

Este archivo está ubicado, por defecto, en la ruta:

C:\ETAP 1901\Tables, aunque esta ubicación puede variar dependiendo del directorio seleccionado durante la instalación del software.

- Ubicar la tabla denominada "ConstantLibrary", que contiene las propiedades de los materiales.

#### **Paso 2: Agregar un nuevo material:**

- Adicionar una fila después del último material listado.
- Rellenar cada parámetro en las columnas correspondientes con las propiedades del nuevo material:

- a) Conductividad del Material (%)
- b) Coeficiente Térmico de Resistividad a 20 °C (1/°C)
- c) Factor K0 (°C), Temperatura de Fusión (°C)
- d) Resistividad del Conductor a Tierra a 20 °C en mW·cm
- d) Factor de Capacidad Térmica en J/cm<sup>3</sup>/°C).

**Paso 3: Guardar los cambios:**

- Guardar las modificaciones realizadas en el archivo Access.

**Paso 4: Abrir la herramienta de conversión:**

- Ejecutar la aplicación "mdb2sdfConverter", instalada por defecto con ETAP y ubicada en la ruta: C:\ETAP 1901\Tables (o la ruta correspondiente según la instalación).

**Paso 5: Configurar la conversión:**

- Seleccionar el archivo Access modificado como documento de origen.
- Especificar el documento de destino, que será el archivo utilizado internamente por ETAP® para reconocer el nuevo material.

**Paso 6: Realizar la conversión:**

- Hacer clic en "Convert" para procesar los datos.

**Paso 7: Verificación final:**

- Una vez completada la conversión, el nuevo material estará disponible en el módulo de mallas de puesta a tierra del software ETAP®.

- Modelado de las alternativas de diseño en el software ETAP

Ya habiendo establecido los criterios de diseño y la inclusión de materiales nuevos en caso de que no estuviesen disponibles en la librería de ETAP®, como fue el caso del presente estudio, se procedió con el modelado de las alternativas de diseño considerando los materiales de cobre, acero revestido en cobre y CONDUGROUND. Procedimiento representado gráficamente en la Figura 4 mediante el diagrama de flujo diseñado.

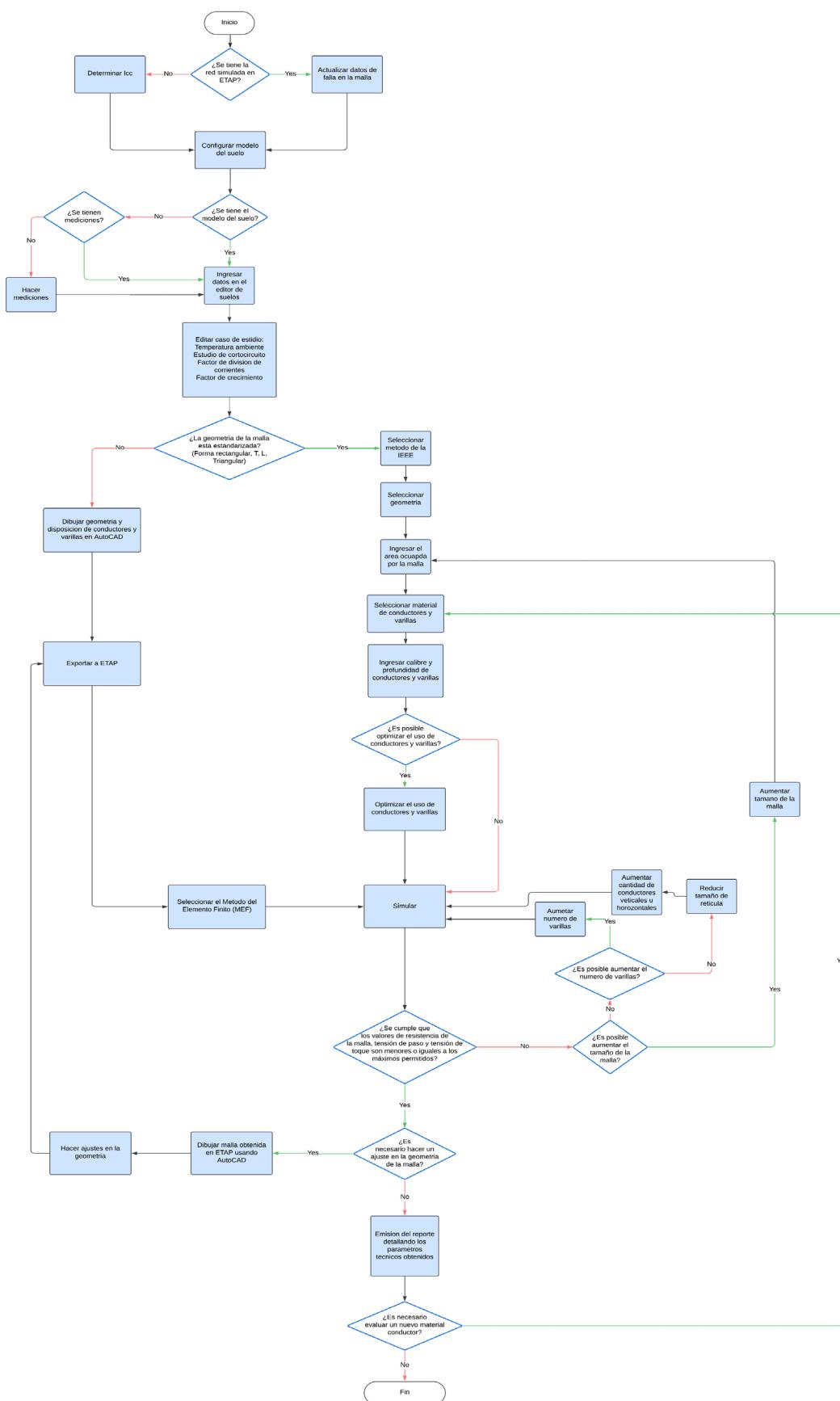


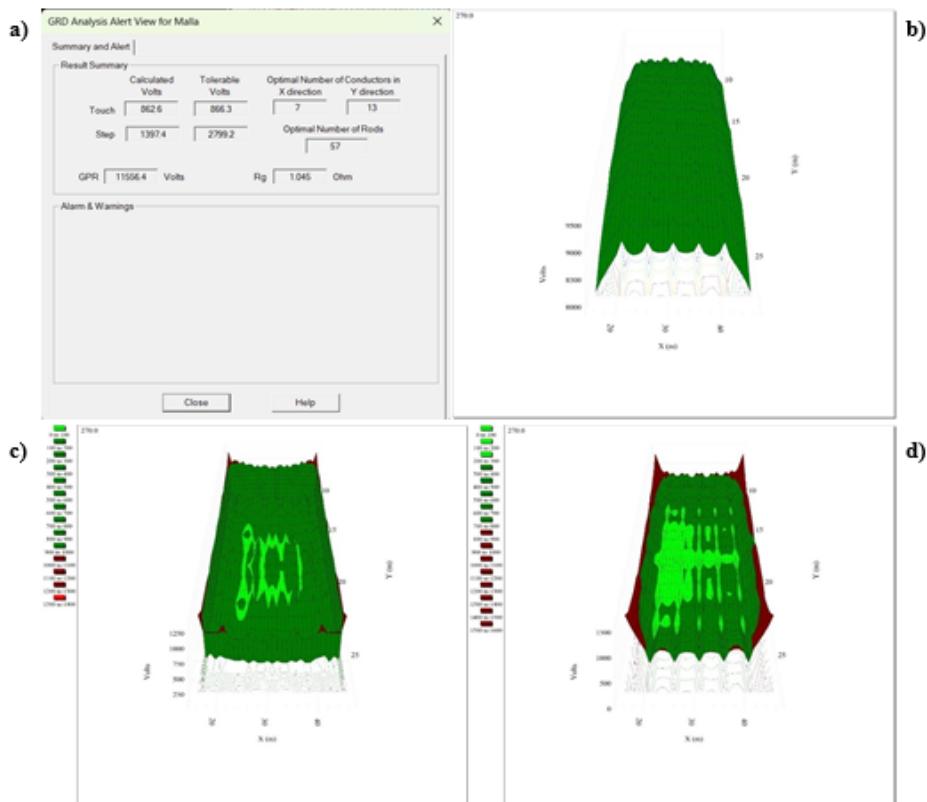
Figura 4. Diagrama de flujo para el modelado de mallas de puesta a tierra en ETAP®

El desarrollo del procedimiento descrito por el diagrama de flujo descrito en la figura 4, derivó en los siguientes resultados:

**Tabla 7. Criterios de diseño para las alternativas de diseño de la malla de puesta a tierra**

Parámetro	Cobre	Acero revestido con cobre	CONDUGROUND
Tensión de toque	862.6 V	862.6 V	862.6 V
Tensión de paso	1397.4 V	1397.4 V	1397.4 V
Resistencia de la malla	1.045Ω	1.045Ω	1.045Ω
GPR	11556.4 V	11556.4 V	11556.4 V
Cantidad de uniones exotérmicas	91 unidades	91 unidades	91 unidades
Cantidad de varillas copperweld	57 unidades	57 unidades	57 unidades
Metros de material conductor	418 mts	418 mts	418 mts

Cabe destacar, que la igualdad observada en los resultados de la resistencia de la malla ( $1.045\ \Omega$ ), el GPR (11556.4 V), la tensión de paso calculada (1397.4 V) y la tensión de toque calculada (862.6 V) se debió a que las ecuaciones empleadas por el software para cálculo de dichas magnitudes [5] no considera las propiedades específicas del material conductor, sino únicamente la cantidad total y disposición del material enterrado. Este aspecto simplificó el análisis, ya que comparar únicamente la tensión de toque máxima tolerable (866.3 V) y la tensión de paso máxima tolerable (2799.2 V) de una alternativa con sus respectivos valores calculados, garantiza que, para el caso de la presente investigación, todas las alternativas cumplan con los requisitos técnicos de seguridad establecidos (Figura 5).



**Figura 5. a) Resultados y alertas obtenidas por simulación en software ETAP, b) Gráfica del GPR de la malla, c) Gráfica de perfil de tensiones de paso, d) Gráfica de perfil de tensiones de toque**

Si bien, todas las alternativas fueron capaces de disipar la corriente máxima de falla a tierra prevista en el diseño actual (10.1852kA), no todas ofrecieron la misma holgura térmica frente a posibles incrementos futuros en los niveles de cortocircuito. Por ello, en la Tabla 8 se indica el límite de corriente de falla que es capaz de soportar cada material en el diseño actual, antes de presentar alguna alerta relacionada con aumentos de temperatura de corta duración en los conductores.

**Tabla 8. Número de veces que representa la capacidad de cortocircuito de cada material en función de la corriente de falla IF**

Material	Capacidad de cortocircuito (kA)	Capacidad de Cortocircuito (kA)
		I Falla (kA)
Cobre	43	4.2218
Acero revestido con cobre	29	2.8473
CONDUGROUND	30	2.9455

Los valores de la tabla anterior, representaron el límite máximo que cada material pudo soportar en la configuración de malla desarrollada en el diseño. Si bien, el cobre destaca por su mayor capacidad de cortocircuito respecto al valor de falla máxima de la malla, las otras alternativas también tuvieron un límite adecuado que abarcó el nivel de falla monofásica esperado en la instalación. Por ende, desde una perspectiva técnica, todas las alternativas fueron viables para su implementación en las condiciones actuales del diseño. No obstante, en búsqueda de la alternativa que brinde la mayor cobertura ante una expansión, el cobre proporcionó la mejor opción.

### Análisis económico

Con el propósito de realizar el análisis económico de las alternativas técnicas previamente evaluadas, se recopilaron cotizaciones emitidas por distintos fabricantes para los materiales considerados en los criterios de diseño. Los costos asociados a estos ítems se agruparon con el objetivo de determinar la inversión inicial requerida para cada alternativa.

Las cotizaciones se obtuvieron directamente de fabricantes especializados en conductores para puesta a tierra. Para las alternativas que emplearon conductores de cobre y acero revestido con cobre, se recopilaron los precios unitarios de los materiales necesarios: conductores, varillas copperweld, moldes y soldaduras exotérmicas. Asimismo, se obtuvo la cotización del fabricante CONDUGROUND, el cual proporcionó los precios unitarios de su conductor, moldes específicos con las entradas para el calibre solicitado, soldaduras exotérmicas y el recubrimiento anticorrosivo diseñado para este tipo de material.

Se consideró un margen de seguridad del 10% adicional en la longitud de los conductores para garantizar la disponibilidad del material frente a posibles desperdicios, errores de corte y ajustes durante la instalación. Esto llevó la longitud de diseño inicial de 418 m a una longitud ajustada de 460 m.

A continuación, se indican los costos por alternativa de acuerdo a materiales y elementos empleados:

**Tabla 9. Costos de materiales por alternativa de diseño**

Costos	Cobre	Acero revestido con cobre	CONDUGROUND
Costo total de conductor	7015.00 \$	4393.00 \$	3486.80 \$
Costo total de soldaduras y moldes	1077.00 \$	1077.00 \$	1890.53 \$
Costo total de varillas	906.30 \$	906.30 \$	906.30 \$
Adicional	-	-	36.28 \$
<b>TOTAL</b>	<b>8998.30 \$</b>	<b>6376.30 \$</b>	<b>6319.91 \$</b>

En el análisis realizado, no se consideró el costo adicional asociado a la protección catódica en las alternativas de cobre y acero revestido con cobre, ya que dicho componente no estuvo contemplado en las cotizaciones efectuadas. Sin embargo, esta omisión no afectó el resultado final, donde el CONDUGROUND se mantuvo como la alternativa con menor inversión inicial. Esto se debió a que, para esta alternativa de diseño, no se propuso el uso de protección catódica, sino la aplicación de aerosol anticorrosivo, cuyo costo sí fue incluido en el análisis.

### Análisis técnico-económico

Al momento de realizar una selección informada, es necesario integrar los aspectos técnicos de cada alternativa con los económicos. En este contexto, se emplearon Indicadores Clave de Rendimiento (KPI, por sus siglas en inglés), que son métricas cuantitativas diseñadas para evaluar y comparar el rendimiento de las alternativas según criterios específicos.

El KPI empleado se denominó como índice de costo-beneficio, el cual está definido como:

$$KPI = \frac{\text{Materiales asociados a cada alternativa} (\$)}{IF} \quad (1)$$

Este indicador proporcionó una relación directa entre el costo asociado a la inversión inicial de los materiales cotizados de cada alternativa y los kiloamperios disipados ante una falla monofásica por la malla. Un menor valor de este KPI indicó una solución más adecuada, ofreciendo una menor inversión inicial por kiloamperio disipado (Tabla 10, Figura 6).

**Tabla 10. Diferencia porcentual entre el indicador de cada alternativa de diseño**

	KPI (\$/kA)	Diferencia vs cobre (%)	Diferencia vs acero (%)	Diferencia vs CONDUGROUND (%)
<b>Cobre</b>	883.47	-	41.12%	42.38%
<b>Acero</b>	626.04	-29.14%	-	0.89%
<b>CONDUGROUND</b>	620.50	-29.76%	-0.88%	-



**Figura 6. Gráfico del desempeño de las alternativas de diseño**

Los resultados obtenidos evidenciaron que la alternativa de diseño basada en el conductor CONDUGROUND presentó el menor índice, por ende, es la alternativa que presenta un menor costo inicial por kiloamperio disipado, lo que la posiciona como la solución más adecuada desde un enfoque técnico-económico.

## Conclusiones

El sistema eléctrico de la refinería de sal marina bajo estudio presentó una configuración radial con una única línea de alimentación en nivel de tensión de 69 kV hacia la subestación reflejando una baja flexibilidad en el suministro eléctrico. Además, la configuración de barra simple estuvo presente en todos los niveles de tensión, incluyendo los de 13.8 kV y 4.16 kV, lo que refleja un bajo nivel de confiabilidad en el sistema.

El estudio de cortocircuito realizado en el módulo de ETAP evidenció que el mayor nivel de falla a tierra registrado en el sistema fue de 25.34 kA, ubicado en la barra de 4.16 kV ubicada aguas abajo del transformador T1.

El análisis de las características eléctricas y ambientales del suelo realizado con el software ETAP permitió modelar el terreno como un sistema de dos capas, lo cual simplificó el procesamiento de las mediciones obtenidas en campo por parte de la empresa.

De acuerdo con las resistividades eléctricas calculadas, el terreno de la refinería de sal marina bajo estudio se clasificó como corrosivo, debido a su baja resistividad asociada a la salinidad presente. Este factor resaltó la necesidad de incorporar elementos adicionales en el diseño de la malla de puesta a tierra, como la protección catódica en las alternativas de diseño con conductores de cobre o acero revestido con cobre, o el uso del aerosol anticorrosivo proporcionado por CONDUGROUND en la alternativa basada en su conductor especializado.

Se determinó que la corriente máxima que disiparía la malla de puesta a tierra en caso de una falla monofásica a tierra en la barra de 4.16 kV fue de 10.1852 kA, lo que representó un 40.19% del valor eficaz de la corriente simétrica de la falla máxima a tierra (25.34 kA).

Mediante el modelado de las alternativas de diseño de la malla de puesta a tierra en el software ETAP se concluyó que la resistencia de la malla, la capacidad de cortocircuito de los conductores y los parámetros de seguridad de tensiones de paso y toque se encuentran por debajo de los límites máximos permitidos según la normativa vigente y los criterios de diseño. Esto preservó condiciones seguras para el personal con un peso mínimo de 70 kg, independientemente del uso de cualquier material conductor considerado.

Si bien el software ETAP no posee una relación directa entre los métodos de la IEEE y MEF para el modelado, representando una leve limitante para diseños de sistemas de puesta a tierra, el diagrama de flujo diseñado en la presente investigación demostró ser una herramienta técnica valiosa para proyectos de sistemas de puesta a tierra debido a su integración de los métodos de IEEE y MEF, lo cual permitió establecer un procedimiento optimizado para el diseño de mallas, asegurando un uso eficiente de conductores y varillas al tiempo que se dispone de la posibilidad de desarrollar un diseño de malla irregular.

El procedimiento empleado para incluir del material CONDUGROUND a la librería del módulo de puesta a tierra en ETAP resultó igualmente aplicable para adicionar cualquier otro material conductor, siempre que se dispongan las propiedades eléctricas y térmicas establecidas en el procedimiento, lo que amplía las posibilidades de diseño en futuros proyectos.

Se demostró que la alternativa tecnológica del cobre ofreció la mayor capacidad para disipar niveles de cortocircuito, alcanzando 4.2218 veces el nivel de falla máximo esperado en la malla diseñada. Sin embargo, esta alternativa presentó el mayor costo por kiloamperio disipado (820.59\$/kA), lo que, junto con su alto costo inicial, redujo su competitividad desde una perspectiva técnico-económica, a pesar de ser el material que ofreció mayor capacidad de expansión para futuros aumentos en la capacidad de la acometida de la refinería de sal marina.

El análisis técnico-económico evidenció que la alternativa basada en el conductor CONDUGROUND resultó ser la solución más adecuada de acuerdo al índice evaluado. Esta opción, con un costo inicial de 6319.91\$ y un índice de costo-eficiencia de 620.50\$/kA, presentó el mejor desempeño técnico-económico, logrando un 42.38% mejor que el cobre y un 0.89% mejor que el acero revestido con cobre.

El material CONDUGROUND destacó por sus propiedades técnicas superiores, ya que su diseño como tira, combinado con su aleación de zinc, cobre y estaño, lo convierte en el material más maleable entre las opciones evaluadas, facilitando su instalación. Su proceso de fabricación, que incluye recubrimientos electrolíticos de cobre y estaño junto con un sello anticorrosivo, le confiere una resistencia a la corrosión seis veces mayor que la del cobre, prolongando significativamente su vida útil. Esta característica, junto con el uso de su aerosol anticorrosivo, elimina la necesidad de implementar sistemas adicionales de protección catódica, lo que refuerza su idoneidad como una alternativa práctica, eficiente y confiable para el entorno salino de la refinería bajo estudiada.

### **Agradecimientos**

En especial a la empresa BRIPCO, C.A por su apoyo técnico para el desarrollo de esta investigación, a la Universidad Rafael Urdaneta por el apoyo metodológico.

### **Referencias bibliográficas**

- [1] C. Ramírez, Subestaciones de alta y extra alta tensión, 2da edición, Colombia: Mejía Villegas S.A. 2003.
- [2] J. He., R. Zeng., & B. Zhang., Methodology and Technology for Power System Grounding. John Wiley & Sons. 2013. [En línea]. Disponible en: [doi: 10.1002/978-1-118-25500-1](https://doi.org/10.1002/978-1-118-25500-1)
- [3] ANSI/IEEE Std. 142. IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems. 2007.
- [4] D. Brosolo., & G. Máttar., “Evaluación de CONDUGROUND como material conductor alternativo al cobre para sistemas de puesta a tierra”, Trabajo Especial de Grado. Fac. de Ing. Univ. Rafael Urdaneta, Maracaibo, Vzla. 2018.
- [5] ANSI/IEEE (2013) Std. 80 “Guide for Safety in AC Substation Grounding” IEEE-SA Standards Board.
- [6] ANSI/IEEE Std 81, Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Grounding System. 2012.
- [7] ANSI/IEEE Std. 837. IEEE Standard for Qualifying Permanent Connections Used on Substation Grounding. 2014.
- [8] Código Eléctrico Nacional. CODELECTRA. (7a. Revisión). Caracas, Vzla: FONDONORMA. 2004.
- [9] A. Salam, & M. Rahman, Power Systems Grounding. Singapore: Springer Singapore. 2016. [En línea]. Disponible en: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-10-0446-9>

# Desarrollo de una red social para fomentar la conciencia ambiental en los individuos de una sociedad moderna

*Development of a social network to promote environmental awareness among individuals in a modern society*

**Alejandro J. Ávila Amesty**

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Computación.  
Maracaibo, Venezuela.

 <https://orcid.org/0009-0001-2437-0298> / Correo electrónico: [avilaalejandro177@gmail.com](mailto:avilaalejandro177@gmail.com)

**José A. Chacón Piña**

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Computación.  
Maracaibo, Venezuela.

 <https://orcid.org/0009-0003-1784-252X> / Correo electrónico: [joseandres102003@gmail.com](mailto:joseandres102003@gmail.com)

Recibido: 22/06/2025 Admitido: 07/07/2025 Aceptado: 10/07/2025

## Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo desarrollar un sistema basado en esquemas de red social para fomentar y canalizar la conciencia ambiental en la sociedad, atendiendo la necesidad de reducir la contaminación y mejorar la salud pública en el estado Zulia. La investigación combinó elementos aplicados y descriptivos con un enfoque proyectivo, utilizando técnicas no experimentales y documentales para el diseño del sistema, complementadas con la revisión documental y otras fuentes de datos para recolectar la información necesaria. El sistema se desarrolló siguiendo el ciclo de vida del desarrollo de software (SDLC) con modelos incremental e iterativo, empleando frameworks como Vue e Ionic para la interfaz, Deno para el servidor HTTP, y PostgreSQL para la base de datos. Culminó con la creación de una herramienta funcional que promueve la participación comunitaria en reciclaje y reducción de contaminación, impactando positivamente en la sociedad.

**Palabras clave:** Red social, conciencia ambiental, contaminación, reciclaje, desarrollo de software, Vue, Ionic, Deno, PostgreSQL.

## Abstract

*This special undergraduate thesis aimed to develop a system based on social network models to raise and channel environmental awareness in society, addressing the need to reduce pollution and improve public health in the state of Zulia. The research combined applied and descriptive elements with a projective approach, using non-experimental and documentary techniques for system design, complemented by documentary review and other data sources to gather the necessary information. The system was developed following the software development life cycle (SDLC) with incremental and iterative models, employing frameworks such as Vue and Ionic for the user interface, Deno for the HTTP server, and PostgreSQL for the database. It culminated in the creation of a functional tool that promotes community participation in recycling and pollution reduction, making a positive impact on society.*

**Keywords:** Social network, environmental awareness, pollution, recycling, software development, Vue, Ionic, Deno, PostgreSQL.

## Introducción

En la actualidad, los desafíos ambientales globales, especialmente en relación con el reciclaje y la contaminación, han alcanzado niveles críticos que demandan intervenciones efectivas y sostenibles. La creciente acumulación de residuos sólidos y la falta de conciencia ambiental han exacerbado la degradación del

medio ambiente, afectando tanto la calidad de vida de las comunidades como la salud pública. Estos problemas son evidentes en el estado Zulia, Venezuela, donde la insuficiente infraestructura y las prácticas inadecuadas de gestión de residuos contribuyen a una crisis ambiental preocupante.

Una red social es una estructura social formada por actores interconectados mediante relaciones definidas. Las redes sociales en línea han transformado la comunicación e interacción humana, facilitando el intercambio de información y la creación de comunidades en torno a intereses compartidos. Estas plataformas han revolucionado la difusión de contenido debido a su alcance masivo, características interactivas y su impacto sociocultural [1].

Este estudio tuvo como objetivo desarrollar una red social innovadora orientada a promover la conciencia ambiental y facilitar la participación activa de la comunidad zuliana en prácticas de reciclaje y reducción de la contaminación. La investigación se sustenta en principios de desarrollo de software y modelos de redes sociales, adoptando un enfoque metodológico que integra diseño, implementación y evaluación de la plataforma.

La relevancia de esta investigación radica en su potencial para abordar problemas ambientales locales a través de la tecnología y la educación comunitaria. Se espera que la red social no solo sensibilice a los usuarios sobre la importancia del reciclaje y la reducción de la contaminación, sino que también promueva un cambio cultural hacia prácticas más sostenibles y responsables. Además, este proyecto contribuirá al cuerpo de conocimiento en ingeniería de computación al explorar nuevas aplicaciones tecnológicas para la gestión ambiental y el desarrollo comunitario.

## Metodología

Este estudio se enmarcó en una investigación de tipo aplicada y descriptiva, con un enfoque proyectivo. La investigación aplicada se centró en la aplicación práctica de conocimientos para abordar problemas específicos, en este caso, mejorar la conciencia ambiental a través de la tecnología. Por otro lado, la investigación descriptiva permitió comprender y describir las características técnicas y funcionales del sistema propuesto, utilizando análisis detallados y modelos [2, 3].

El diseño de la investigación adoptado combinó elementos del diseño no experimental y documental. El enfoque no experimental se empleó para observar el fenómeno del desarrollo del sistema en su entorno natural, sin manipular variables intencionalmente. Esto garantizó una comprensión auténtica de su funcionamiento y eficacia. Por otro lado, el diseño documental implicó una extensa búsqueda, análisis e interpretación de datos provenientes de fuentes documentales, como estudios previos y recursos técnicos relevantes [2, 3].

Para el desarrollo de la red social se emplearon técnicas y herramientas de recolección de datos como la revisión documental y la observación [3]. La observación se basó en experiencias personales e indagaciones realizadas a través de la investigación. Estas técnicas y herramientas fueron seleccionadas cuidadosamente para asegurar que la información recopilada fuera relevante, precisa y útil para el diseño e implementación de la red social.

El desarrollo del proyecto se orientó en un ciclo incremental e iterativo. Este modelo permitió definir fases secuenciales como la definición de alcance y requisitos, análisis detallado de requerimientos, diseño del sistema, desarrollo e implementación, pruebas exhaustivas y despliegue del prototipo en un entorno real, sin limitar que en algún momento se pueda devolver a una fase anterior para ajustar, adaptar y mejorar continuamente el sistema durante su desarrollo. Cada fase se completó de manera organizada, asegurando que el sistema fuera robusto, eficiente y alineado con los requisitos establecidos.

## Resultados y discusión

En esta sección se presenta el análisis detallado del proceso de desarrollo de la plataforma de red social orientada a la conciencia ambiental en el estado Zulia. Se describen las etapas clave del proceso de desarrollo iterativo, destacando la contribución de cada ciclo al logro del objetivo principal de la investigación.

## Fase 1. Declaración del alcance y requisitos

El desarrollo inicial del alcance y requisitos para la plataforma de red social, reveló una estructura integral y funcional diseñada para promover la participación activa y la educación en prácticas sostenibles.

El primer paso consistió en definir el público objetivo de la plataforma, considerando diversos factores demográficos, socioeconómicos y de interés ambiental. Este público estuvo conformado por individuos y organizaciones locales que buscan mejorar el medio ambiente. Para ello, la plataforma debe ofrecer una interfaz fácil de usar, accesible y atractiva, de modo que los usuarios puedan interactuar con eficiencia y encontrar la información de manera rápida y sencilla.

En términos de funcionalidad, la interfaz intuitiva y accesible asegura una experiencia de usuario optimizada, facilitando la navegación y la interacción sin complicaciones. La inclusión de herramientas como el registro de usuarios, la personalización de perfiles y la capacidad de establecer conexiones entre usuarios fortalece el sentido de comunidad y colaboración, fundamentales para el éxito de la red social.

Destacaron también características específicas como la calculadora de huella de carbono y el medidor del buen impacto ambiental, herramientas educativas que permiten a los usuarios evaluar y visualizar el impacto ambiental de sus acciones cotidianas. Estas funciones no solo fomentan la conciencia ambiental, sino que también motivan a los usuarios a adoptar comportamientos más sostenibles.

La capacidad de reportar casos de contaminación y el desarrollo de un mapa interactivo de contaminación y botaderos de basura, constituyeron elementos clave para la vigilancia ambiental comunitaria. Estas herramientas promueven la identificación y resolución de problemas ambientales locales, incentivando la acción colectiva. Además, la facilitación de chats personales y grupales refuerzan la interacción social y la coordinación de esfuerzos ambientales, contribuyendo al fortalecimiento de la comunidad virtual.

La fase inicial del desarrollo reflejó una plataforma robusta y multifacética, diseñada para educar, motivar y movilizar a la comunidad hacia prácticas más sostenibles y la protección del medio ambiente en el estado Zulia. Estos hallazgos sentaron las bases para futuras etapas de implementación y evaluación del impacto de la red social en la conciencia y comportamiento ambiental de sus usuarios.

## Fase 2. Análisis de requerimientos

En esta fase se llevó a cabo un análisis detallado de los requisitos funcionales y no funcionales necesarios para el desarrollo de la plataforma de red social. Estos requisitos funcionales incluyeron el registro de usuarios, creación de perfiles, seguimiento de usuarios, mensajería y publicación de contenido. Estas funcionalidades permitieron a los usuarios registrarse, compartir contenido, interactuar con otros y comunicarse de manera privada y grupal.

Para fomentar la conciencia ambiental, se incorporaron herramientas como una calculadora de huella de carbono, un medidor del buen impacto y la capacidad de reportar casos de contaminación. Estas herramientas permiten a los usuarios evaluar y reducir su impacto ambiental, así como reportar y visualizar problemas locales a través de un mapa interactivo de contaminación y botaderos de basura [4, 5].

Además de los requisitos funcionales, se identificaron los requisitos no funcionales esenciales para la eficacia del sistema, como la seguridad, el rendimiento, la escalabilidad, la usabilidad y la compatibilidad. La plataforma garantizó la protección de datos personales mediante autenticación segura y encriptación de datos, respondió de manera rápida y eficiente, y se adaptó a un creciente número de usuarios sin pérdida de rendimiento. La interfaz es intuitiva y accesible para todos los niveles de habilidad tecnológica y compatible, con una amplia gama de dispositivos y navegadores modernos.

La plataforma utilizó Deno con Express.js para el backend, Vue con Ionic para el frontend, y PostgreSQL como base de datos, aprovechando la eficiencia de estas tecnologías modernas. El entorno de desarrollo incluyó herramientas como Visual Studio Code y Git para el control de versiones. Los servidores de desarrollo y producción se configuraron con especificaciones adecuadas para asegurar un rendimiento óptimo;

mientras que, se implementaron soluciones de seguridad robustas y servicios en la nube para escalabilidad y disponibilidad.

### **Fase 3. Elaboración del diseño de la red social**

En esta fase, se definieron las funcionalidades clave y se diseñaron los módulos necesarios para el desarrollo de la aplicación móvil [6], enfocados en promover la conciencia ambiental y fomentar la interacción social entre los usuarios. Dado que la aplicación es una red social, se priorizó la creación de herramientas que permitieran a los usuarios comprender y reducir su impacto ambiental, mientras interactúan con comunidades afines.

Un componente destacado es el cálculo de la huella de carbono [6], diseñado para proporcionar a los usuarios una estimación personalizada de sus emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Este cálculo se basó en un formulario que recogió información sobre hábitos cotidianos del usuario, como transporte, consumo de energía y patrones de compra.

Los datos fueron procesados utilizando factores de emisión específicos, categorizados en tres alcances principales:

- Emisiones directas (Alcance 1):

Incluyen el uso de vehículos personales, transporte público y viajes aéreos.

- Emisiones indirectas (Alcance 2):

Asociadas al consumo energético en el hogar, como el uso de aires acondicionados y cocinas.

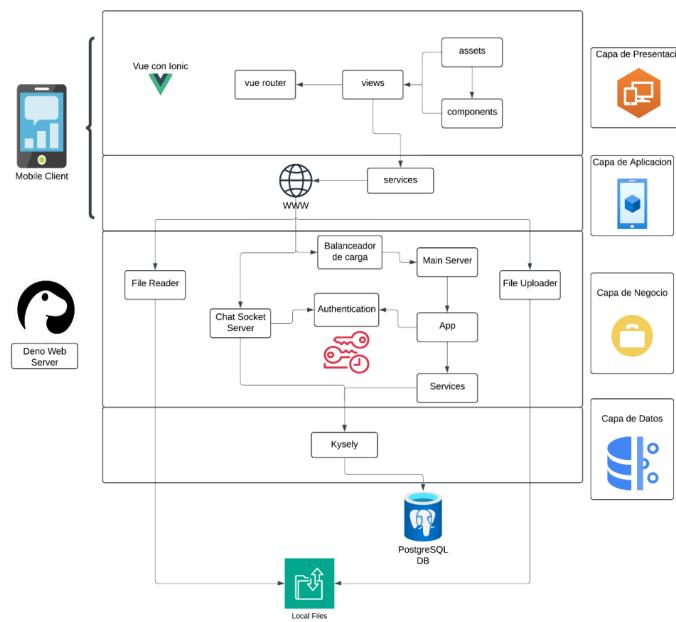
- Otras emisiones indirectas (Alcance 3):

Relacionadas con el consumo de alimentos y bienes, como carne, productos enlatados y plástico de un solo uso.

Esta funcionalidad no solo buscó crear conciencia sobre el impacto ambiental, sino que también motivó a los usuarios a adoptar prácticas más sostenibles mediante la comparación de sus huellas con promedios globales o locales.

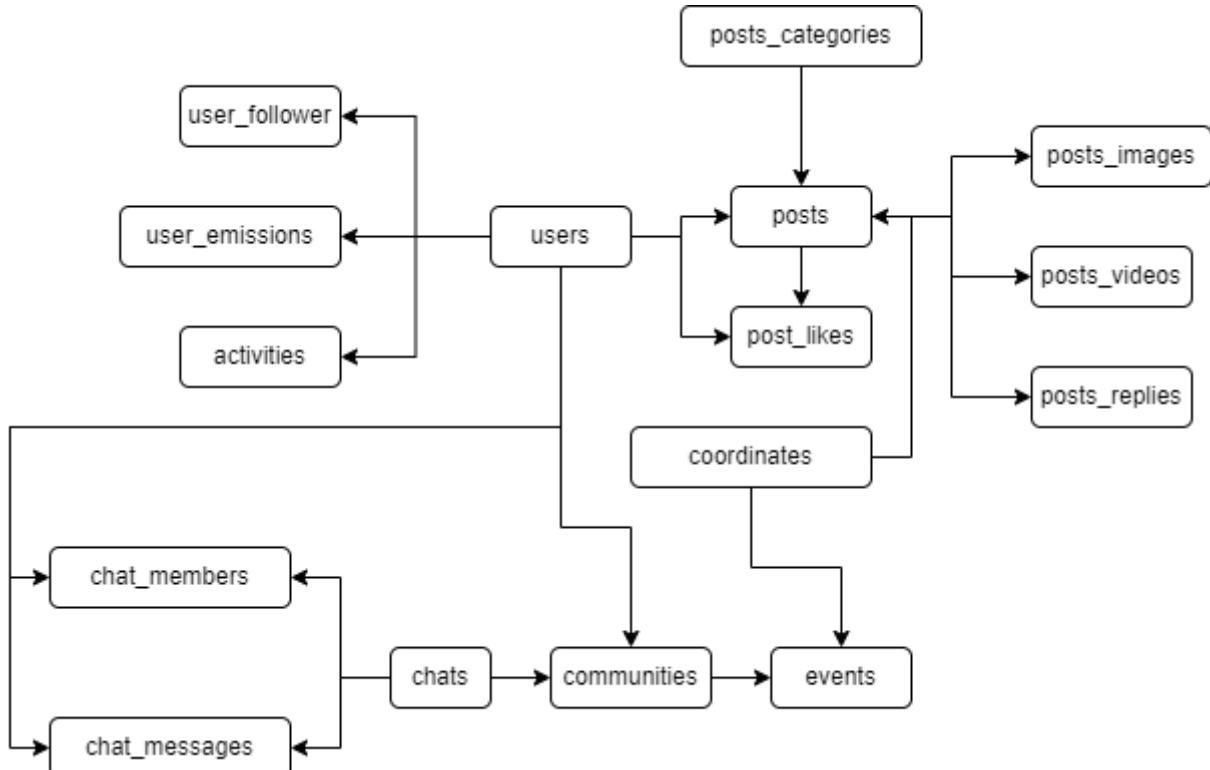
La arquitectura del sistema fue concebida con un enfoque por capas, permitiendo una organización clara de responsabilidades que simplificó tanto el mantenimiento como la evolución del software. En la Figura 1 se ilustra un esquema general de la arquitectura, destacando las tecnologías clave empleadas en el proyecto. Para la interfaz de usuario, se optó por Vue e Ionic, herramientas que garantizan un diseño adaptable y una experiencia interactiva.

En cuanto al backend, desarrollado con Deno, se implementaron subsistemas especializados para manejar funcionalidades esenciales como la autenticación, la gestión de usuarios y el soporte de chats en tiempo real a través de sockets. La seguridad en las sesiones fue respaldada por el uso de JWT (JSON Web Tokens), lo que reforzó la protección de los datos sensibles. Asimismo, se resaltó la integración con la base de datos PostgreSQL, gestionada a través del Query Builder Kysely, lo que aseguró un manejo de datos eficiente, confiable y escalable.



**Figura 1. Diagrama de Arquitectura del sistema.**

La representación de los componentes y entidades del proyecto a través del diagrama de arquitectura, sirvió como punto de partida para el diseño del modelo de datos del sistema (Figura 2). Se utilizó un enfoque relacional para estructurar los datos, asegurando tanto la integridad como la eficiencia en el manejo de la información. Este diseño se desarrolló con especial énfasis en la gestión de posts.



**Figura 2. Diagrama de Modelo de Datos.**

Este modelo de datos relacional se complementa y detalla en el diagrama de entidad-relación (DER) representado en la Figura 3. En dicho diagrama se especificaron cuidadosamente los campos de cada tabla, incluyen información como el tipo de dato. Además, se destacaron las llaves primarias y foráneas, definiendo con precisión las relaciones y dependencias entre las diferentes entidades del sistema.

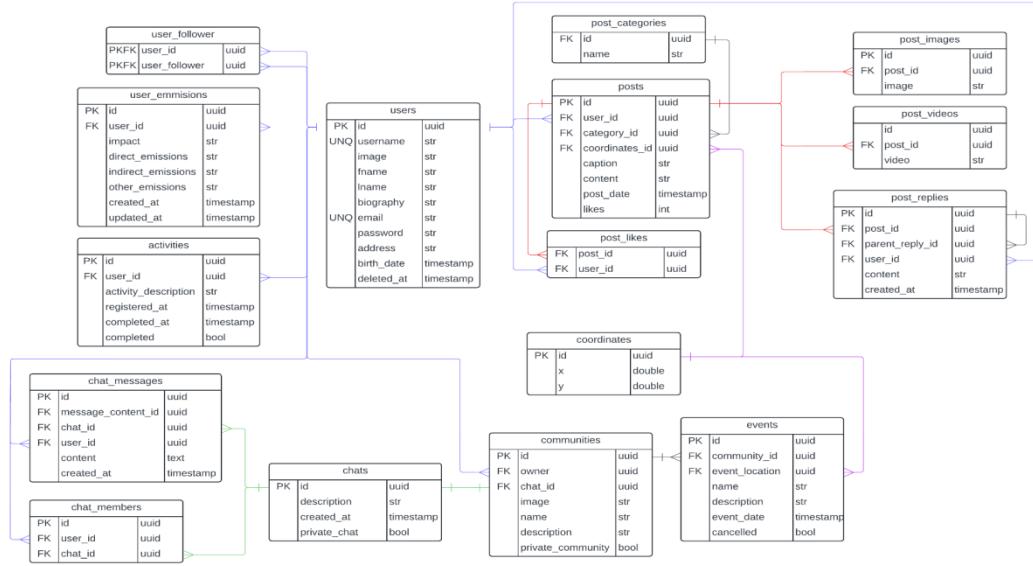


Figura 3. Diagrama de Entidad Relación.

En el diseño de la aplicación, los mockups (Figura 4) se agruparon en módulos que abarcaron las principales funcionalidades de la plataforma. Cada módulo buscó proporcionar una experiencia de usuario intuitiva y eficiente, enfocada en promover prácticas sostenibles y la interacción comunitaria.

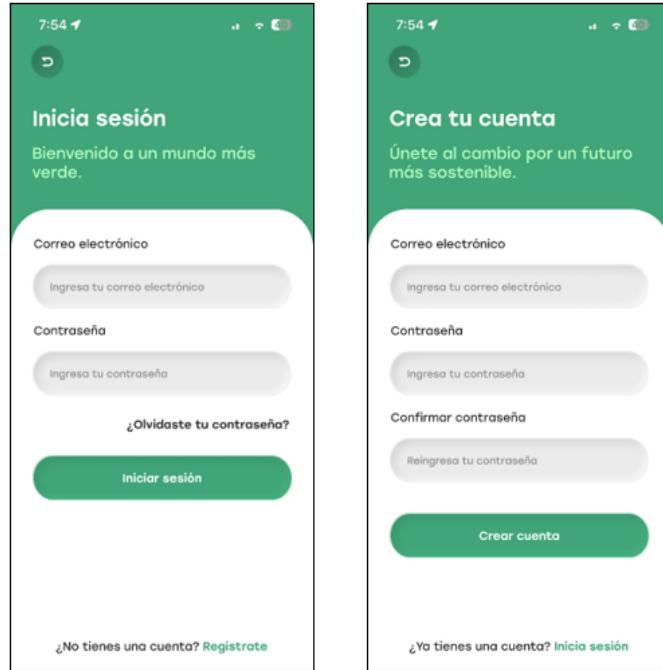
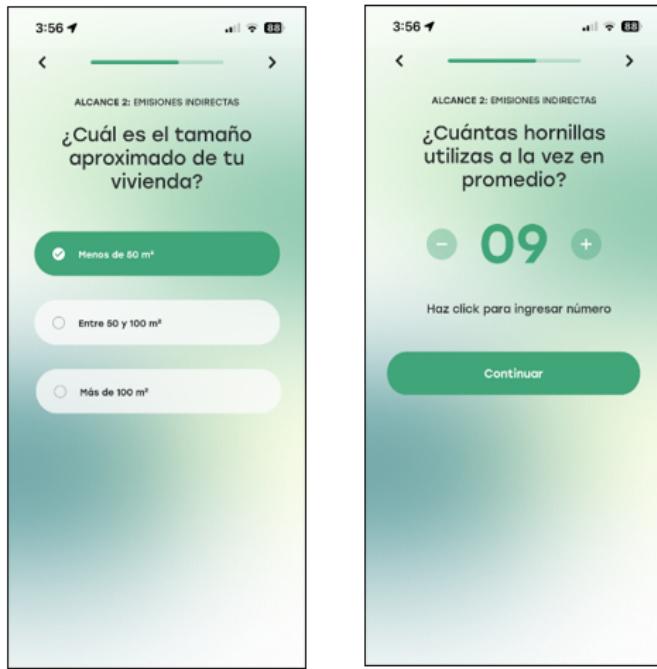


Figura 4. Mockups del módulo de Autorización

El módulo de autorización incluyó las pantallas de inicio de sesión y registro. La pantalla de inicio de sesión se centró en ofrecer un acceso seguro y eficiente a los usuarios, con un encabezado que da la bienvenida

mediante un mensaje motivador, seguido de campos de entrada para el correo electrónico y la contraseña. En la parte inferior, se encuentran opciones clave como la recuperación de contraseña y un botón destacado para iniciar sesión. Además, se incluyó un mensaje que invita al registro para nuevos usuarios. Por su parte, la pantalla de registro permite a los usuarios crear una cuenta con facilidad. El formulario incluyó campos para ingresar el correo electrónico, la contraseña y su confirmación, acompañados de placeholders que orientaron sobre la información requerida.



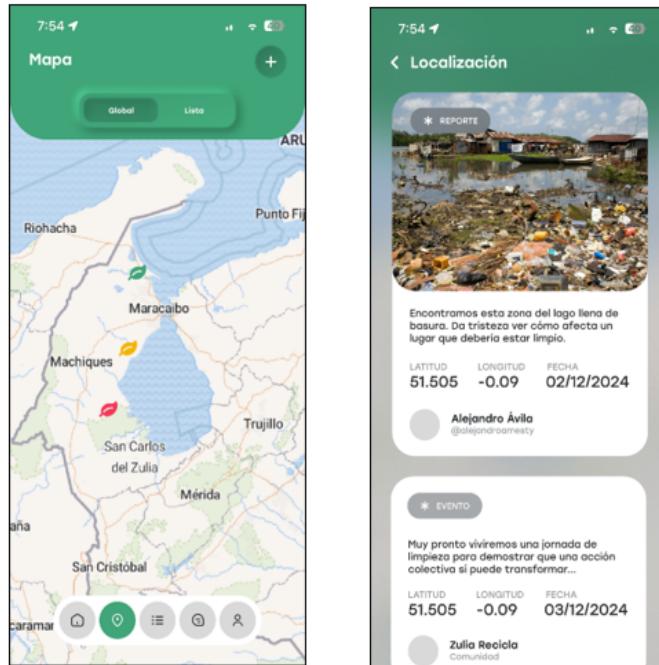
**Figura 5. Mockups del módulo de Cálculo de huella de carbono**

Este módulo ayudó a los usuarios a calcular su impacto ambiental (Figura 5) a través de un cuestionario dividido en tres alcances: emisiones directas, indirectas y otras. Cada sección incluyó una barra de progreso que indicó el avance, el alcance actual y la pregunta correspondiente. Las opciones de respuesta incluyeron botones de selección única o campos numéricos. La navegación se realizó mediante flechas o botones de continuar, dependiendo del tipo de pregunta. Este diseño garantizó una experiencia clara y enfocada para calcular la huella de carbono personal.



**Figura 6. Mockups del módulo de Home**

El módulo de inicio (Figura 6) fue diseñado para brindar una experiencia personalizada, con un encabezado que incluyó el nombre de la aplicación y un acceso rápido a la búsqueda. Los usuarios pudieron alternar entre dos feeds: "Descubre", que muestra contenido reciente y popular, y "Siguiendo", enfocado en publicaciones de amigos. Cada publicación resaltó el nombre del creador, su ícono, interacciones disponibles y una vista previa atractiva, asegurando una navegación atractiva y funcional.



**Figura 7. Mockups del módulo de Mapa**

El módulo de mapa (Figura 7) permitió explorar y gestionar ubicaciones relacionadas con reportes y eventos. En la vista de mapa global, los usuarios pueden alternar entre las opciones de "Mapa global" y "Lista", visualizando marcadores que indican eventos, reportes o ambos. Los colores de los marcadores permitieron

identificar rápidamente la información. Al hacer clic en un marcador, se accedió a la pantalla de localización, donde se detalló la información asociada a esa ubicación, como reportes y eventos registrados. Además, la creación de eventos se simplificó al interactuar con el mapa o directamente desde la pantalla de localización.

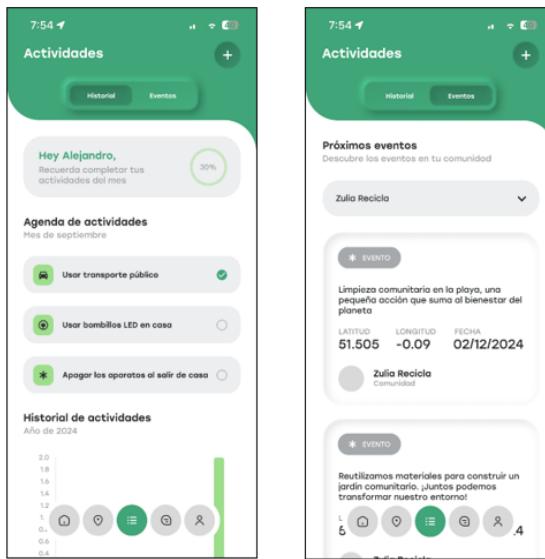


Figura 8. Mockups del módulo de Actividades

El módulo de actividades (Figura 8) organizó el progreso del usuario en prácticas ambientales a través de dos apartados: historial y eventos. En el historial, se mostró el progreso mensual con gráficos y una lista de actividades registradas, que los usuarios pueden marcar como completadas. Por otro lado, los eventos futuros fueron organizados según las comunidades, permitiendo explorar actividades relevantes con información clara sobre su ubicación, fecha y organizadores.

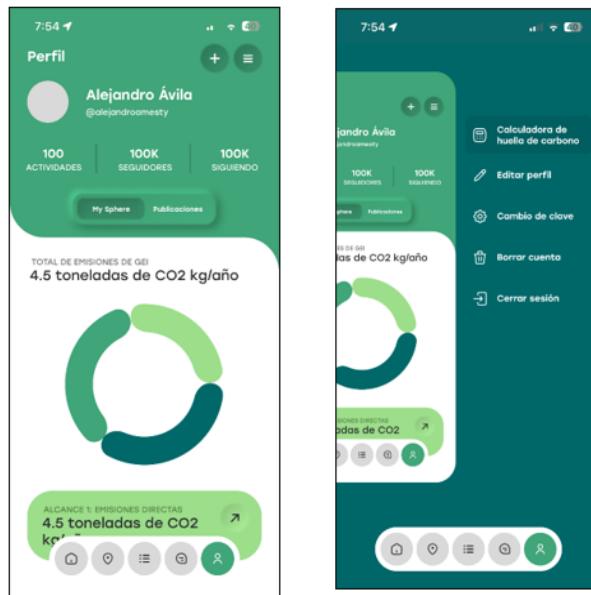


Figura 10. Mockups del módulo de Perfil.

El módulo de chats (Figura 9) facilitó la comunicación entre los usuarios con dos apartados principales: amigos y comunidades. En cada apartado, se presentaron vistas previas de conversaciones, que incluyeron íconos, nombres y últimos mensajes enviados, manteniendo una estructura consistente. Al acceder

a una conversación específica, la pantalla de chat mostró los mensajes de forma cronológica y permitió enviar mensajes mediante un campo de entrada ubicado en la parte inferior, optimizado para su uso con el teclado.

El módulo de perfil (Figura 10) ofreció una vista detallada de la información personal y las estadísticas del usuario. Incluyó un gráfico circular que mostró la distribución de las emisiones de gases de efecto invernadero y una sección de publicaciones propias. El menú lateral del perfil proporcionó accesos rápidos a funcionalidades clave como recalcular la huella de carbono, editar el perfil o gestionar la cuenta. Este diseño buscó centralizar la información y ofrecer un acceso rápido a herramientas de personalización.

#### **Fase 4. Desarrollo de la red social**

Durante la fase de desarrollo, se lograron hitos importantes al cumplir con las metas establecidas en las etapas de análisis y diseño. Este período fue esencial para convertir las ideas conceptuales y los diseños en elementos funcionales. Las tareas se abordaron de manera ordenada, siguiendo una secuencia lógica que permitió una ejecución fluida y sin contratiempos.

Para asegurar un manejo organizado y fluido de las tareas, se utilizó Trello como herramienta principal. Esto permitió una asignación efectiva de responsabilidades, brindando transparencia en el progreso de cada tarea y promoviendo la colaboración entre los miembros del equipo. Gracias a este enfoque, todas las actividades se completaron dentro del tiempo establecido.

Se adoptó una estructura de carpetas bien definida para el desarrollo del frontend y del backend, lo cual favoreció la organización del código, la mantenibilidad y el trabajo colaborativo. La aplicación de enfoques como el Modelo-Vista-Controlador y el Diseño Guiado por el Dominio, permitió establecer una arquitectura modular y escalable, alineada con los objetivos del proyecto.

#### **Fase 5. Realización de pruebas para asegurar el funcionamiento de la aplicación**

Esta fase tuvo un mayor enfoque en el backend, ya que aquí es donde la lógica y la gestión de datos ocurre. Las pruebas del backend tuvieron su propia clasificación para fácilmente poder filtrar entre las pruebas correspondientes. El formato de las pruebas automatizadas del backend fue:

{tipo del test}: {modulo} - {método (http o función) }:{/ruta} - {acción}

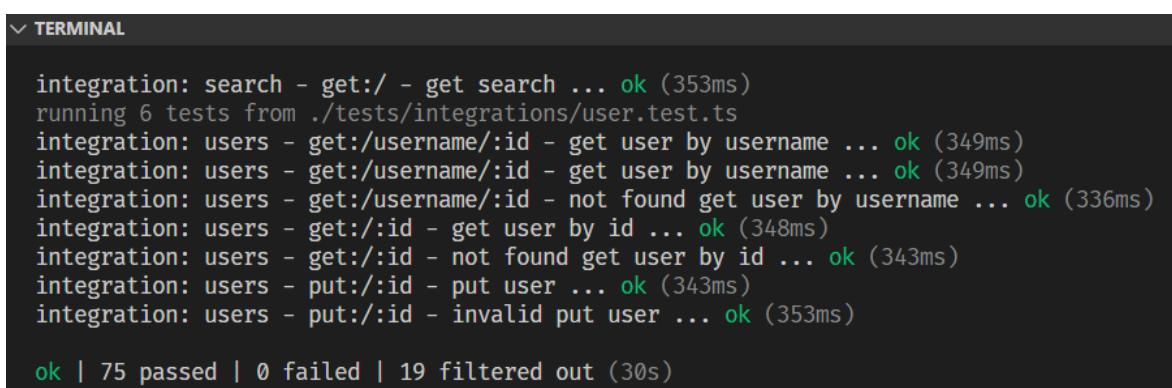
Ejemplos de pruebas fueron:

integration: auth - post:/login – valid

unit: typeChecker - verifyTypes - verify that password is incorrect

#### **Pruebas de integración**

En el desarrollo del proyecto, las pruebas de integración fueron esenciales para validar la interacción entre diferentes componentes del sistema. Estas pruebas buscaron detectar problemas relacionados con la comunicación entre módulos y aseguraron el cumplimiento de los flujos de trabajo completos (Figura 13).



```

TERMINAL

integration: search - get:/ - get search ... ok (353ms)
running 6 tests from ./tests/integrations/user.test.ts
integration: users - get:/username/:id - get user by username ... ok (349ms)
integration: users - get:/username/:id - get user by username ... ok (349ms)
integration: users - get:/username/:id - not found get user by username ... ok (336ms)
integration: users - get:/:id - get user by id ... ok (348ms)
integration: users - get:/:id - not found get user by id ... ok (343ms)
integration: users - put:/:id - put user ... ok (343ms)
integration: users - put:/:id - invalid put user ... ok (353ms)

ok | 75 passed | 0 failed | 19 filtered out (30s)
  
```

**Figura 11. Log de pruebas de integración.**

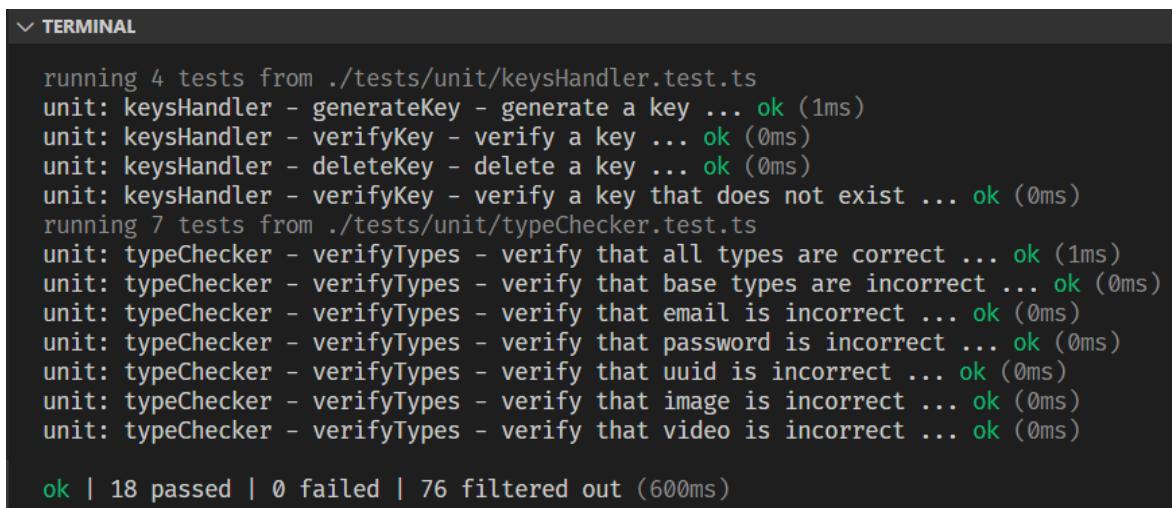
En el log presentado en la figura anterior, se evidenció que se ejecutaron pruebas bajo el prefijo “integration:”, lo cual dejó claro que están diseñadas específicamente para evaluar las interacciones entre diferentes endpoints de la API.

Flujo probado: Cada prueba ejecutó un flujo que involucró la interacción de varias capas del backend, como:

- Rutas que reciben solicitudes HTTP.
- Validación de datos entrantes.
- Comunicación con servicios internos y bases de datos.

## Pruebas de Unidad

En el desarrollo del proyecto, las pruebas unitarias constituyeron una parte esencial para garantizar que cada componente del sistema funcionara de manera independiente y según lo esperado. Estas pruebas se centraron en validar el comportamiento de funciones o módulos individuales, asegurando que la lógica interna de cada unidad fuera robusta y cumpla con los requisitos especificados.



```

  ✓ TERMINAL

    running 4 tests from ./tests/unit/keysHandler.test.ts
    unit: keysHandler - generateKey - generate a key ... ok (1ms)
    unit: keysHandler - verifyKey - verify a key ... ok (0ms)
    unit: keysHandler - deleteKey - delete a key ... ok (0ms)
    unit: keysHandler - verifyKey - verify a key that does not exist ... ok (0ms)
    running 7 tests from ./tests/unit/typeChecker.test.ts
    unit: typeChecker - verifyTypes - verify that all types are correct ... ok (1ms)
    unit: typeChecker - verifyTypes - verify that base types are incorrect ... ok (0ms)
    unit: typeChecker - verifyTypes - verify that email is incorrect ... ok (0ms)
    unit: typeChecker - verifyTypes - verify that password is incorrect ... ok (0ms)
    unit: typeChecker - verifyTypes - verify that uuid is incorrect ... ok (0ms)
    unit: typeChecker - verifyTypes - verify that image is incorrect ... ok (0ms)
    unit: typeChecker - verifyTypes - verify that video is incorrect ... ok (0ms)

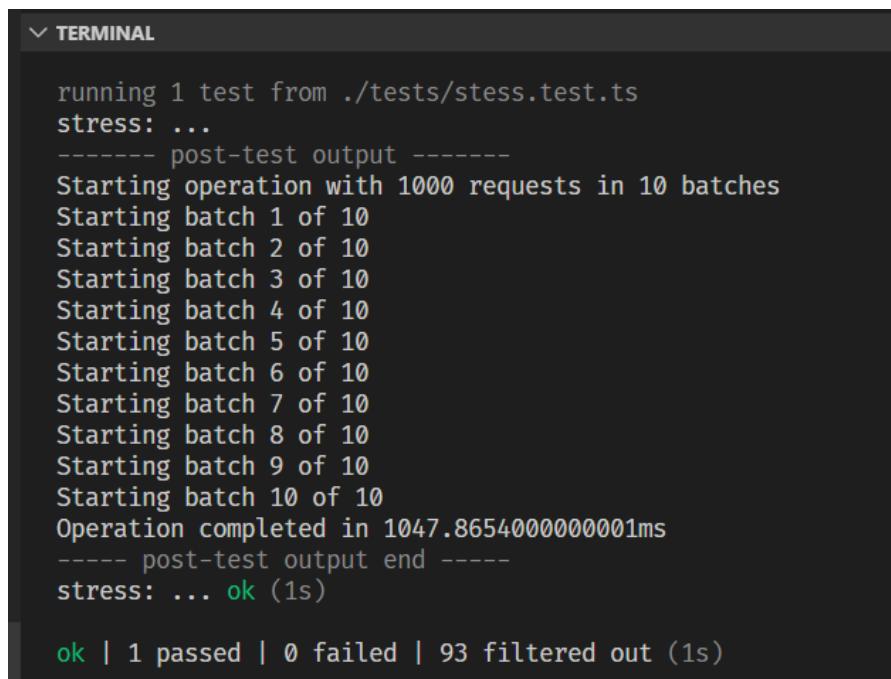
    ok | 18 passed | 0 failed | 76 filtered out (600ms)
  
```

Figura 12. Log de pruebas de unidad.

El log proporcionado en la Figura 14 mostró la ejecución de un total de 18 pruebas unitarias, organizadas en diferentes archivos de prueba, cada uno enfocado en un módulo o función específica del backend.

En la fase de pruebas de estrés, el objetivo principal fue evaluar el rendimiento del sistema bajo condiciones de carga elevada. Estas pruebas fueron fundamentales para identificar cuellos de botella, límites de capacidad y puntos de fallo potenciales. En este caso, se ejecutó una prueba que simuló múltiples solicitudes concurrentes para realizar un login sencillo, evaluando la estabilidad y respuesta del sistema frente a una carga considerable.

El log mostró la ejecución de una prueba de estrés específica, identificada por el prefijo “stress:”. La prueba realizó un total de 1000 solicitudes, divididas en 10 lotes, lo que permitió observar el comportamiento del sistema al procesar cargas significativas de manera simultánea.



```

running 1 test from ./tests/stess.test.ts
stress: ...
----- post-test output -----
Starting operation with 1000 requests in 10 batches
Starting batch 1 of 10
Starting batch 2 of 10
Starting batch 3 of 10
Starting batch 4 of 10
Starting batch 5 of 10
Starting batch 6 of 10
Starting batch 7 of 10
Starting batch 8 of 10
Starting batch 9 of 10
Starting batch 10 of 10
Operation completed in 1047.8654000000001ms
----- post-test output end -----
stress: ... ok (1s)

ok | 1 passed | 0 failed | 93 filtered out (1s)
  
```

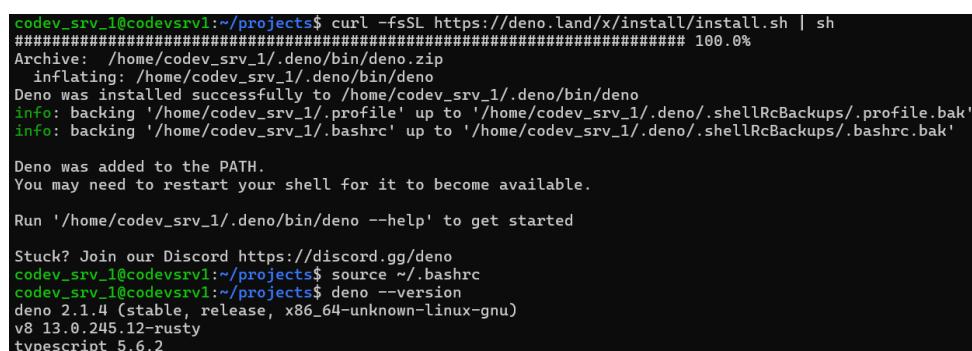
Figura 13. Log de pruebas de estrés.

El sistema completó las 1000 solicitudes en 1047.0865 ms (poco más de un segundo), lo cual reflejó un desempeño eficiente bajo esta carga específica.

### Fase 6. Despliegue de prototipo

El despliegue del prototipo se llevó a cabo en un servidor de producción modelo HP ProLiant DL360p Gen8, equipado con dos procesadores Intel® Xeon® E5-2670 de ocho núcleos cada uno, soportando hasta 32 hilos en total. Este servidor contó con una memoria RAM de 94 GiB, de los cuales 6,2 GiB están en uso y 87 GiB están disponibles, lo que garantizó un rendimiento adecuado para la ejecución del sistema. En cuanto al almacenamiento, contuvo un disco principal de 98 GiB, con 15 GiB utilizados y 78 GiB disponibles. El servidor operó bajo el sistema Ubuntu Server, una plataforma segura, estable y optimizada para aplicaciones de producción. Con esta infraestructura, se aseguró la capacidad necesaria para soportar de manera eficiente el sistema implementado, así como las pruebas de rendimiento y estrés realizadas.

El proceso comenzó con la actualización del servidor, asegurando que todos los paquetes esenciales estuvieran al día, lo cual fue crucial para evitar vulnerabilidades y garantizar la estabilidad del entorno. A continuación, se instaló el software necesario, como el descomprimidor Unzip y el entorno de ejecución Deno, que fue fundamental para la ejecución del backend, así como los paquetes adicionales como PostgreSQL y Git, los cuales se validaron para confirmar su correcta instalación (Figura 16).



```

codev_srv_1@codevsrv1:~/projects$ curl -fsSL https://deno.land/x/install/install.sh | sh
#####
Archive: /home/codev_srv_1/.deno/bin/deno.zip
  inflating: /home/codev_srv_1/.deno/bin/deno
Deno was installed successfully to /home/codev_srv_1/.deno/bin/deno
info: backing '/home/codev_srv_1/.profile' up to '/home/codev_srv_1/.deno/.shellRcBackups/.profile.bak'
info: backing '/home/codev_srv_1/.bashrc' up to '/home/codev_srv_1/.deno/.shellRcBackups/.bashrc.bak'

Deno was added to the PATH.
You may need to restart your shell for it to become available.

Run '/home/codev_srv_1/.deno/bin/deno --help' to get started

Stuck? Join our Discord https://discord.gg/deno
codev_srv_1@codevsrv1:~/projects$ source ~/.bashrc
codev_srv_1@codevsrv1:~/projects$ deno --version
deno 2.1.4 (stable, release, x86_64-unknown-linux-gnu)
v8 13.0.245.12-rusty
typescript 5.6.2
  
```

Figura 14. Instalación de Deno desde la terminal.

La base de datos fue configurada en PostgreSQL, creando una nueva base de datos que sirve de soporte para el sistema. Con el entorno preparado, se clonó el repositorio del proyecto desde GitHub, y posteriormente se instalaron las dependencias necesarias para que la aplicación pudiera ejecutarse en el servidor de producción. La estructura de la base de datos se migró, asegurando que todos los cambios estructurales estuvieran alineados con los requerimientos del sistema.

Para asegurar un entorno seguro y eficiente, se configuró un archivo de variables de entorno donde se incluyeron las credenciales y configuraciones necesarias para la operación del backend en el servidor. El siguiente paso fue la creación de un servicio con systemd que gestionó el backend, permitiendo que la aplicación se ejecutara de manera continua y eficiente incluso después de reinicios del servidor. Después de habilitar y verificar el servicio, se configuraron los puertos necesarios para permitir el acceso a la aplicación desde redes externas.

Una vez configurado el entorno de producción, se realizaron varias pruebas para verificar su correcto funcionamiento. Estas pruebas incluyeron simulaciones en la misma red, pruebas desde una IP externa y una comparación de rendimiento entre el entorno local y el servidor desplegado. En cuanto a las pruebas de estrés, se compararon los tiempos de respuesta entre ambos entornos, demostrando una mejora significativa en la eficiencia del servidor desplegado. El resultado de la prueba realizada en el entorno local, mostró un tiempo de operación de 1037.0501 ms; mientras que, en el servidor desplegado, el tiempo fue considerablemente menor, con un resultado de 818.027995 ms, lo que reflejó una mejora del 21% en el tiempo de respuesta. Esto confirmó que el servidor estaba preparado para manejar la carga esperada de tráfico de manera eficiente (Figura 17).

```
● deno-app.service - Deno Backend App
   Loaded: loaded (/etc/systemd/system/deno-app.service; enabled; preset: enabled)
   Active: active (running) since Thu 2025-01-02 21:58:29 UTC; 1h 16min ago
     Main PID: 30921 (deno)
        Tasks: 47 (limit: 115834)
       Memory: 1.0G (peak: 1.0G)
          CPU: 59.165s
        CGroup: /system.slice/deno-app.service
                └─30921 /home/codev_srv_1/.deno/bin/deno run -A --unstable-worker-options /home/codev_srv_1/projects/ecosp>

ene 02 21:58:30 codevsrv1 deno[30921]: Upload file server running on http://localhost:4002/
ene 02 21:58:30 codevsrv1 deno[30921]: Main server worker listening on port 8019
ene 02 21:58:30 codevsrv1 deno[30921]: Main server worker listening on port 8020
ene 02 21:58:30 codevsrv1 deno[30921]: Main server worker listening on port 8021
ene 02 21:58:30 codevsrv1 deno[30921]: Main server worker listening on port 8022
ene 02 21:58:30 codevsrv1 deno[30921]: Main server worker listening on port 8023
ene 02 21:58:30 codevsrv1 deno[30921]: Socket server listening on localhost:4003
ene 02 21:58:30 codevsrv1 deno[30921]: Main server worker listening on port 8024
ene 02 21:58:30 codevsrv1 deno[30921]: Main server worker listening on port 8026
ene 02 21:58:30 codevsrv1 deno[30921]: Main server worker listening on port 8025
lines 1-20/20 (END)
```

Figura 15. Instalación de Deno desde la terminal.

En cuanto al despliegue de la aplicación móvil, el proceso comenzó con la configuración de un entorno en el Ionic Dashboard (Figura 18), donde se registró la aplicación y se vincularon las variables necesarias para su funcionamiento. Posteriormente, se configuró el entorno de compilación para generar el archivo APK, seleccionando la plataforma Android y el build stack adecuado. Una vez configurado, el proceso de generación del APK se realizó en tiempo real, lo que permitió obtener el archivo final que podría ser instalado en dispositivos o subido a la tienda de aplicaciones.

En resumen, el despliegue del prototipo fue un proceso meticuloso que involucró la actualización y configuración del servidor de producción, la validación y creación de la base de datos, la instalación de dependencias, y la ejecución de pruebas que validaron la estabilidad y optimización del sistema en el entorno de producción. Además, la generación del archivo APK permitió que la aplicación móvil estuviera lista para ser distribuida.

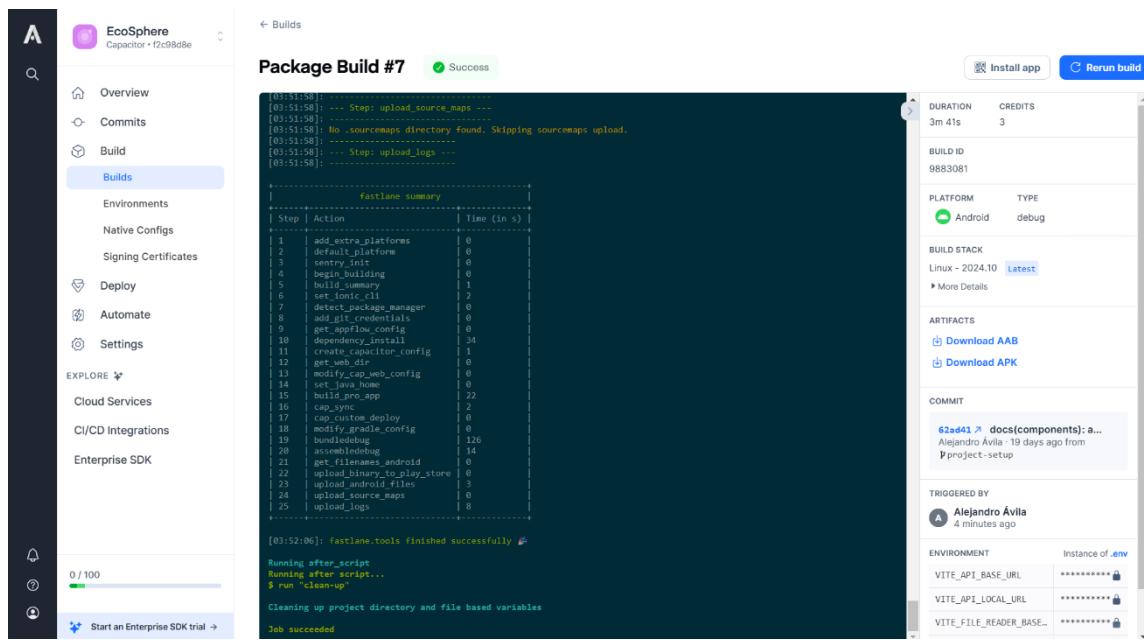


Figura 16. Generación de APK a través de Ionic Dashboard.

## Conclusiones

El desarrollo de la red social orientada a fomentar la conciencia ambiental representa una propuesta innovadora que combina tecnología y sostenibilidad para generar impacto social positivo. A través de un diseño intuitivo, la aplicación permitió a los usuarios calcular su huella de carbono y visualizar cómo sus hábitos afectan al medio ambiente, promoviendo un cambio hacia prácticas más responsables. Además, la plataforma fomentó la interacción entre personas con intereses comunes en la sostenibilidad, fortaleciendo una comunidad comprometida con el cambio positivo.

Desde el aspecto técnico, se adoptaron herramientas modernas para garantizar una arquitectura robusta, escalable y eficiente. La integración de un frontend ágil, un backend bien estructurado y una base de datos sólida, complementada con pruebas exhaustivas, aseguró la calidad y la estabilidad del sistema. Este enfoque no solo facilita la experiencia del usuario, sino que también establece una base sólida para futuras mejoras y expansiones.

Para maximizar el potencial de la aplicación, se recomiendan varias actualizaciones orientadas a enriquecer la experiencia del usuario y ampliar su funcionalidad. Entre estas, destaca la implementación de un sistema de logros y badges que motive la participación activa, la incorporación de noticias ambientales y consejos prácticos, y el desarrollo de una herramienta para medir la reducción de la huella de carbono basada en actividades realizadas. Asimismo, una sección que recopile visualmente las actividades sostenibles de los usuarios a lo largo del tiempo podría fomentar un compromiso continuo, mientras que un espacio dedicado a la promoción de productos ecológicos conectará a los usuarios con marcas responsables.

Estas recomendaciones buscan fortalecer la conexión entre tecnología y sostenibilidad, garantizando que la aplicación evolucione para satisfacer las necesidades de sus usuarios y ampliar su impacto positivo. Con este enfoque, la red social no solo facilita un cambio individual, sino que contribuye a construir una sociedad más consciente y comprometida con el cuidado del planeta.

## Referencias bibliográficas

- [1] Cambridge University Press. (n.d.). Mobile application. Cambridge Dictionary. [En línea]. Disponible en: <https://dictionary.cambridge.org/us/dictionary/english/mobile-application>

- [2] H. Hütt Herrera, “Las redes sociales: una nueva herramienta de difusión”. Reflexiones, Vol. 91, No. 2, pp. 121–128. 2012. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/729/72923962008.pdf>
- [3] J. Hurtado de Barrera, Metodología de la investigación holística, Tercera edición: Fundación Sypal, Caracas, Venezuela. 2000. [En línea]. Disponible en: <https://ayudacontextos.wordpress.com/wp-content/uploads/2018/04/jacqueline-hurtado-de-barrera-metodologia-de-investigacion-holistica.pdf>
- [4] F. G. Arias, El Proyecto de investigación, Sexta edición: Editorial Episteme, Caracas, Venezuela. 2012. [En línea]. Disponible en: <https://abacoenred.org/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigaci%C3%B3n-F.G.-Arias-2012-pdf-1.pdf>
- [5] Ministerio del Medio Ambiente (MMA) de Chile. (n.d.). Huella de carbono. MMA. [En línea]. Disponible en: <https://mma.gob.cl/cambio-climatico/cc-02-7-huella-de-carbono/>
- [6] ClimateTrade. (n.d.). ¿Cómo calcular y compensar su propia huella de carbono? ClimateTrade. [En línea]. Disponible en: <https://climatetrade.com/es/como-calcular-y-compensar-su-propia-huella-de-carbono/>

# **Efecto de la adición de un reductor de viscosidad en crudo pesado de la Región Occidental Venezolana**

*Effect of a viscosity reducer on heavy crude oil from Venezuela's Western Region*

**Gabriela A. Molero-Lagos**

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería Química, Escuela de Ingeniería Química. Maracaibo, Venezuela.

 <https://orcid.org/0009-0009-1744-316X> | Correo Electrónico: [gabamolero@gmail.com](mailto:gabamolero@gmail.com)

**Lorenzo A. Hernández-Cárdenas**

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería Química, Escuela de Ingeniería Química. Maracaibo, Venezuela.

 <https://orcid.org/0009-0000-2877-4831> | Correo Electrónico: [lorenzohcardenas10@gmail.com](mailto:lorenzohcardenas10@gmail.com)

**Charles A. Gutiérrez-Mendoza**

Universidad del Zulia, Facultad de Ingeniería Química, Escuela de Ingeniería Química. Maracaibo, Venezuela.

 <https://orcid.org/0009-0005-4651-6082> | Correo Electrónico: [charsagm@gmail.com](mailto:charsagm@gmail.com)

Recibido: 19/06/2025 Admitido: 06/07/2025 Aceptado: 11/07/2025

## **Resumen**

Este estudio evaluó el efecto de las relaciones crudo-diluente y la aplicación de un viscorreductor en la reducción de viscosidad de crudos pesados extraídos en los años 2023 y 2024 del campo Petro Urdaneta. Con un enfoque analítico y explicativo, se utilizó un diseño experimental. Se caracterizaron propiedades fisicoquímicas, como: viscosidad, gravedad API, y contenido de agua y sedimentos en crudos pesados y ligeros. Las diluciones, preparadas con crudos extraídos en el año 2024 por su mayor pureza, incluyeron relaciones de diluente de 33 %, 20 %, 10 % y 0 %, con dosis de viscorreductor de 0, 500, 1000, 1500 y 2000 ppm. Como resultado, la dilución al 20 % con 1500 ppm de viscorreductor logró una reducción de viscosidad similar a la dilución convencional del 33 %, pero con menor uso de diluente. La mayor reducción, 83,69 %, se alcanzó con 2000 ppm en una dilución al 33 %. Los resultados evidencian que es posible optimizar la eficiencia operativa y reducir costos con menores volúmenes de diluente. El estudio sugiere explorar diluciones entre 33 % y 20 % para aplicaciones industriales.

**Palabras clave:** Crudo pesado, Reductor de viscosidad, Diluente, Viscosidad, Gravedad API.

## **Abstract**

*This study evaluated the effect of variable crude-diluent ratios and the application of viscosity reducers on the viscosity reduction of heavy crude oils extracted in the years 2023 and 2024 from the Petro Urdaneta field. The research, conducted with an analytical and explanatory approach at an integrative level, used an experimental design. Physicochemical properties were characterized, including viscosity as a function of temperature, API gravity, as well as water and sediment content, in both heavy and light crude oils. The dilutions studied were prepared using crude samples extracted in the year 2024 due to their higher degree of purity. Dilutions were prepared with diluent ratios of 33 %, 20 %, 10 %, and 0 %, along with viscosity reducer doses of 0, 500, 1000, 1500, and 2000 ppm. As result, 20 % dilution with 1500 ppm of viscosity reducer achieved a viscosity reduction comparable to the conventional 33 % dilution but with less diluent usage. The highest reduction, 83.69 %, was obtained with 2000 ppm of viscosity reducer in a 33 % dilution. These results demonstrate that significant viscosity reductions can be achieved using lower volumes of diluent, optimizing operational efficiency and reducing costs. The study recommends further exploration of diluent ratios between 33 % and 20 % for industrial applications.*

**Key words:** Heavy crude oil, Viscosity reducer, Diluent, Viscosity, API Gravity.

## Introducción

La reducción de la viscosidad de crudos pesados y extrapesados representa un desafío crucial para la industria petrolera, especialmente en un contexto de creciente demanda energética mundial impulsado por la urbanización, el desarrollo industrial y cambios en los estilos de vida. Aunque las energías renovables avanzan, el petróleo sigue siendo esencial en la generación de electricidad y como combustible industrial, destacando la importancia de aprovechar los crudos no convencionales, que constituyen el 75 % de las reservas globales [1]. Estos crudos, caracterizados por su alta viscosidad debido a su composición rica en asfálfenos y parafinas, plantean dificultades operativas en su extracción, transporte y refinación, elevando los costos de producción [2]. En Venezuela, donde el 88 % de las reservas probadas son crudos pesados y extrapesados, la alta viscosidad afecta la productividad y rentabilidad de su industria petrolera [3]. Aunque se han implementado estrategias como el calentamiento de tuberías y el uso de diluyentes, éstas presentan limitaciones significativas en costos y eficacia, subrayando la necesidad de alternativas innovadoras como aditivos viscorreductores [4].

Estudios previos han demostrado la eficacia de combinaciones de aditivos y diluyentes para reducir la viscosidad: Cordero y Sucre [5] lograron una reducción completa de viscosidad con el producto EM-24 y el diluyente Mesa 30; Abarca, Guzmán-Beckham y Castillo [6] destacaron el efecto del VRX-02 con nafta en un pozo petrolero de Ecuador; y Lam-Maldonado et al. [2] evidenciaron la efectividad de mejoradores de flujo y control de temperatura.

Basándose en estos antecedentes, la presente investigación tuvo como propósito evaluar el efecto de diferentes proporciones de crudo y diluyente, junto a un aditivo viscorreductor, en la viscosidad del crudo de Petro Urdaneta, utilizando análisis fisicoquímicos, experimentos controlados de reducción de viscosidad y análisis integrales para desarrollar una formulación óptima y funcional.

## Materiales y métodos

La presente investigación tuvo un enfoque analítico y explicativo, empleando pruebas de laboratorio bajo un diseño experimental. A continuación, se presenta una descripción detallada de las fases de la investigación, en función de los objetivos de la misma.

### Fase 1: Determinación de viscosidades de las muestras de crudo a distintas temperaturas

Para determinar las viscosidades de las muestras de crudo, se empleó un viscosímetro Brookfield DV-1 Prime, siguiendo los lineamientos de la norma ASTM-D2983-22 [7]. En este estudio, sin embargo, no se utilizaron las condiciones estándar de prueba entre 5 y -40 °C, sino temperaturas más representativas de las condiciones operativas del crudo.

El proceso experimental comenzó con la preparación de las muestras. Se agregaron 80 mL de crudo a un vaso precipitado de 100 mL asegurando que el fluido cubriera completamente la muesca de inmersión de la aguja del viscosímetro. Se seleccionó la aguja adecuada y se configuró la velocidad de rotación en revoluciones por minuto (RPM) en función de las propiedades del fluido. Las lecturas de viscosidad se registraron una vez que los valores se stabilizaron, a un tiempo de entre dos y cinco minutos. Para medir la viscosidad a diferentes temperaturas, las muestras se precalentaron utilizando una plancha de calentamiento y se verificaron las temperaturas con un termómetro. Una vez alcanzada la temperatura deseada, se realizaron las mediciones siguiendo el procedimiento ya descrito. Posteriormente, los valores obtenidos fueron utilizados para construir curvas de viscosidad frente a temperatura mediante la herramienta “Excel”, complementadas con el ajuste de regresión exponencial para determinar ecuaciones que describieran el comportamiento del crudo frente a la temperatura.

### Fase 2: Determinación de las gravedades API de los crudos

Para determinar las gravedades API, se utilizó un método basado en gravimetría, bajo lo expuesto en la norma ASTM-D1217-12 [8]. En lugar de emplear un picnómetro, se utilizó un cilindro graduado de 25

mL de peso conocido. El procedimiento consistió en medir el peso del cilindro vacío utilizando una balanza analítica. Luego, se añadieron 10 mL de crudo al cilindro y se volvió a medir el peso, determinándose el peso del volumen de crudo. Con estos valores, se calculó la densidad del crudo a una temperatura constante de 21,5 °C. La densidad se obtuvo dividiendo la masa del crudo por su volumen; mientras que, la gravedad específica se determinó dividiendo la densidad del crudo entre la densidad del agua a 21 °C (0,9977 g/cm<sup>3</sup>). Posteriormente, se calculó la gravedad API utilizando la fórmula estándar:

$$\text{API} = \frac{141,4}{\text{GE}} - 131,5$$

Donde:

GE= Gravedad específica (Adimensional).

### **Fase 3: Determinación del contenido de agua y sedimentos de las muestras de crudo**

El contenido de agua y sedimentos fue medido siguiendo el procedimiento descrito en la norma ASTM-D 4007-22 [9]. El proceso comenzó con la preparación de diluciones al 50 % de crudo y xileno, en probetas de punta cónica de 15 mL. Estas probetas fueron colocadas en la centrifugadora (Damon/IEC Division IEC Clinical Centrifuge) durante 50 minutos a una velocidad de 4000 revoluciones por minuto (RPM). Tras este proceso, el agua y los sedimentos depositaron en el fondo de las probetas, pudiendo ver su contenido en el crudo a través de la escala graduada de la probeta.

### **Fase 4: Preparación de las diluciones de crudo**

Para preparar las diluciones de crudo se estableció un volumen total de 500 mL por mezcla, con diferentes concentraciones de diluente: 33 %, 20 %, 10 %, y 0 %. El volumen de crudo pesado fue medido al añadir a un vaso precipitado el peso requerido de crudo en función de su densidad. Una vez medido, se transfirió a un vaso precipitado limpio de 500 mL. Posteriormente, se midió el volumen de diluente de la misma manera, y este fue añadido al vaso precipitado que contenía el crudo pesado. Para lograr una mezcla homogénea, el crudo y el diluente se mezclaron continuamente con una varilla de vidrio durante 2 minutos. Finalmente, la viscosidad de cada una de las diluciones fue medida siguiendo el procedimiento descrito previamente en la Fase 1, a temperatura de laboratorio.

### **Fase 5: Aplicación del reductor de viscosidad a las diluciones**

Se aplicaron diferentes concentraciones del producto, siendo estas: 500, 1000, 1500 y 2000 ppm. Las cantidades de viscorreductor fueron medidas utilizando una micropipeta calibrada. El viscorreductor se añadió a las diluciones en el vaso precipitado. Tras la adición, se agitó la mezcla con una varilla de vidrio durante al menos tres minutos. Una vez homogenizadas las muestras, se procedió a medir la viscosidad de cada dilución tratada con viscorreductor bajo el mismo procedimiento de la Fase 1.

### **Fase 6: Análisis de contenido sobre la gráfica resultante**

Se analizó la relación ideal entre la proporción de diluente y dosis de viscorreductor para identificar su impacto en la viscosidad del crudo, buscando la combinación óptima que supere la eficacia del método convencional de dilución al 33 % con crudo liviano. Los resultados se presentan en una gráfica que permitió una interpretación visual de las variaciones en la viscosidad según las diferentes combinaciones probadas.

## **Resultados**

A continuación, se detallan los principales resultados obtenidos, destacando los hallazgos más relevantes, el impacto cuantitativo de las pruebas realizadas y la manera en que estos datos responden a los

objetivos planteados. Este apartado sirve como base para la discusión y el análisis crítico de la investigación, proporcionando una visión clara y estructurada de los logros alcanzados.

## 1. Caracterización de las muestras de crudo

Este estudio incluyó la determinación de la viscosidad dinámica a temperatura ambiente, la variación de la viscosidad con la temperatura, la gravedad API y el contenido de agua y sedimentos.

### a. Determinación de la viscosidad a temperatura ambiente

La Tabla 1 presenta los valores de viscosidad de las muestras de crudo a temperatura ambiente y constante, lo cual corresponde a 21,5 °C.

**Tabla 1. Viscosidades dinámicas de muestras de crudo a temperatura constante.**

Muestras		Viscosidad (P)	% Rotación	RPM	Spindle
1	Pesado	159,97	70,7	30	64
	Liviano	4,85	97,1	60	62
2	Pesado	1740	72,6	2,5	64
	Liviano	2,63	82,6	20	61

En la muestra de 2023, la viscosidad dinámica del crudo pesado fue de 159,97 P; mientras que, en 2024 alcanzó los 1740 P. Esta diferencia se explica por los puntos de extracción: la muestra de 2023 fue recolectada antes de un separador de agua, lo que permitió que una porción de agua permaneciera en el crudo, reduciendo su densidad y viscosidad. En cambio, la muestra de 2024, tomada después del separador, estaba libre de agua, resultando en un crudo más pesado. Este cambio resalta la influencia de los procesos de separación en las propiedades del crudo. Por otro lado, el crudo liviano mostró una tendencia opuesta. La viscosidad en la muestra de 2023 fue de 4,85 P, y en 2024 disminuyó a 2,63 P. Este descenso podría deberse a un mayor contenido de hidrocarburos ligeros en la muestra más reciente.

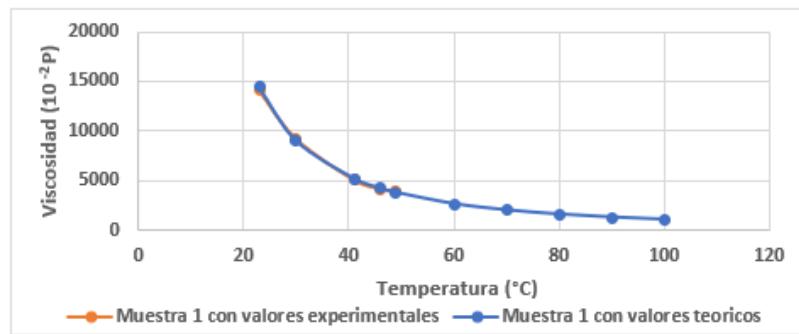
Al comparar los resultados con los reportados por Carima y Nova [10], se observa que la viscosidad del crudo pesado de Campo Boscán, que fue de 639,46 P, es inferior a la muestra 2 (1740 P) y superior a la muestra 1 (159,97 P) en este estudio. Sin embargo, las diferencias pueden atribuirse a la procedencia de las muestras y a la temperatura de medición (21,5 °C en este estudio). Si se ajustara a la misma temperatura (25 °C), las diferencias en viscosidad podrían ser aún mayores. Además, al comparar con los resultados de Carbonó [11], quien reportó una viscosidad de 2238,87 P para otro crudo de Campo Boscán, se destacan las variaciones entre los crudos del mismo campo.

### b. Determinación de la viscosidad variando la temperatura

La muestra 1 de crudo pesado recolectada en 2023 presentó una viscosidad dinámica inicial de 141,37 P a 21,5 °C. Conforme la temperatura aumentó, la viscosidad disminuyó notablemente, alcanzando un valor de 38,72 P a 50 °C (Tabla 2). Este comportamiento se explica por la reducción de las fuerzas intermoleculares que ocurre al incrementar la energía térmica.

**Tabla 2. Viscosidades del crudo pesado proveniente de la muestra 1 obtenidos experimentalmente variando la temperatura.**

Temperatura (°C)	Viscosidad (P)	RPM	Spindle	% Rotación
23	141,37	30	64	80,0
30	92,50	50	64	89,9
41	50,81	100	64	85,8
46	41,69	100	64	74,5
49	38,72	60	63	69,0



**Figura 1. Viscosidad en función de la temperatura del crudo pesado de la Muestra 1 correspondientes a los crudos pesados según los valores experimentales y teóricos.**

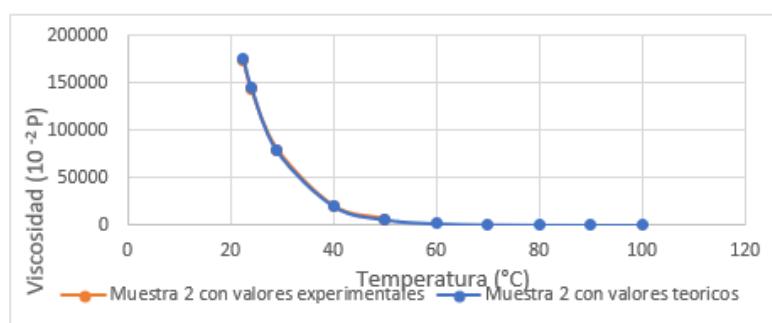
El modelo de regresión exponencial aplicado a los valores registrados permitió predecir los valores de viscosidad dentro del rango estudiado y extrapolar valores para temperaturas no medidas experimentalmente, con errores porcentuales menores al 5 %. La validez del ajuste confirma que la viscosidad del crudo pesado de la muestra 1 sigue un comportamiento térmico consistente (Figura 2).

La muestra 2 de crudo pesado recolectada en 2024 presentó una viscosidad dinámica inicial significativamente mayor, alcanzando 1740 P a 22,5 °C. Conforme la temperatura aumentó, se observó una disminución drástica en la viscosidad, que descendió a 57,29 P a 50 °C (Tabla 3). Estos resultados evidencian que, el control térmico puede ser una herramienta clave para mejorar la fluidez de este tipo de crudo.

Al igual que con la muestra 1 de crudo pesado, los datos experimentales fueron ajustados a un modelo matemático de regresión exponencial, determinando un rango teórico para el comportamiento del crudo (Figura 4) y observando un comportamiento acorde para la muestra.

**Tabla 3. Viscosidades del crudo pesado proveniente de la muestra 2 obtenidos experimentalmente variando la temperatura.**

Temperatura (°C)	Viscosidad (P)	RPM	Spindle	% Rotación
22,5	1740	2,5	64	75,0
24	1430	3,0	64	87,0
29	798,60	50	64	72,6
40	195,62	100	64	95,5
50	57,29	100	63	65,9



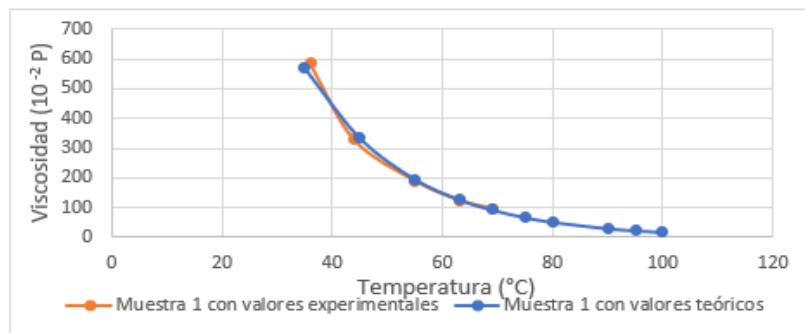
**Figura 2. Viscosidad en función de la temperatura del crudo pesado de la Muestra 2 correspondientes a los crudos pesados según los valores experimentales y teóricos.**

La muestra 1 de crudo liviano recolectada en el 2023 presentó una viscosidad inicial de 5,85 P a 36 °C. Se observó que, medida que la temperatura aumentó la viscosidad disminuyó significativamente, alcanzando un valor de 0,96 P a 69 °C (Tabla 4), debido a la reducción de las fuerzas intermoleculares propias de los constituyentes del crudo.

Los datos experimentales obtenidos fueron nuevamente ajustados mediante un modelo matemático de regresión exponencial, lo cual, permitió predecir con bajo porcentaje de error (< 5 %) los valores de viscosidad dentro del rango estudiado y extrapolar valores para temperaturas fuera de este intervalo (Figura 6).

**Tabla 4. Viscosidades del crudo liviano proveniente de la muestra 1 obtenidos experimentalmente variando la temperatura.**

Temperatura (°C)	Viscosidad (P)	RPM	Spindle	% Rotación
36	5,85	60	62	97,1
44	3,28	60	62	77,9
55	1,90	100	62	63,5
63	1,25	100	62	41,5
69	0,96	100	62	32,4



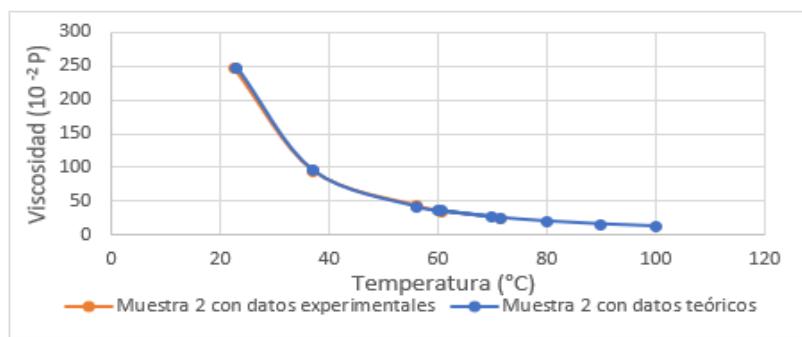
**Figura 3. Viscosidad en función de la temperatura del crudo liviano de la Muestra 1 correspondientes a los crudos pesados según los valores experimentales y teóricos.**

La muestra 2 de crudo liviano recolectada en 2024 presentó una viscosidad inicial de 2,47 P a 22,5 °C, significativamente menor que la viscosidad inicial de la muestra 1. Conforme la temperatura aumentó, la viscosidad disminuyó notablemente, alcanzando un valor de 0,24 P a 71,5 °C (Tabla 5). Este hallazgo confirma que la muestra 2 presenta una fluidez superior en comparación con la muestra 1.

Estos resultados plantean que las condiciones de extracción y los cambios en la composición del crudo entre 2023 y 2024 afectan directamente sus propiedades reológicas. El modelo de regresión exponencial aplicado a los datos de la muestra 2 también mostró un error porcentual menor al 5 %, lo que valida su precisión para describir el comportamiento de la viscosidad en función de la temperatura (Figura 8).

**Tabla 5. Viscosidades del crudo pesado proveniente de la muestra 2 obtenidos experimentalmente variando la temperatura.**

Temperatura (°C)	Viscosidad (P)	RPM	Spindle	% Rotación
22,5	2,47	20	61	82,6
37	0,95	50	61	79,4
56	0,42	100	61	70,9
60,5	0,34	100	61	58,2
50	57,29	100	63	65,9



**Figura 4. Viscosidad en función de la temperatura del crudo liviano de la Muestra 2 correspondientes a los crudos pesados según los valores experimentales y teóricos.**

Al comparar los resultados obtenidos en este estudio con los de Carima y Nova [10], se observa un comportamiento similar en la reducción de viscosidad de los crudos pesados de las muestras 1 y 2, ya que reportaron una viscosidad inicial de 639,46 P a 25 °C para un crudo de Campo Boscán, con una reducción del 95,58 % al elevar la temperatura a 70 °C. En este trabajo, la muestra 1 experimentó una reducción del 72,61% de 21,5 a 49 °C, y la muestra 2 una reducción del 96,68 % de 21,5 a 50 °C, mostrando un comportamiento comparable.

Un análisis similar con los resultados de Carbonó [11], quien reportó una viscosidad inicial de 2238,87 P a 25 °C para otro crudo de Campo Boscán, mostró una disminución del 91 % al elevar la temperatura a 70 °C, alcanzando 209,89 P. Aunque la reducción fue menor que en otros estudios, también resalta la sensibilidad de los crudos pesados al aumento de temperatura. Se evidencia entonces que los crudos analizados presentan una reducción significativa en la viscosidad al incrementar la temperatura.

### c. Determinación de °API

El crudo pesado presentó una disminución en la gravedad API, de 15,74° en 2023 a 11,26° en 2024, indicando que el crudo se volvió más pesado en el periodo más reciente. En contraste, el crudo liviano mostró una tendencia opuesta, con un aumento de 26,60° en 2023 a 30,43° en 2024 (Tabla 6).

**Tabla 6. Gravedades API de muestras de crudo a temperatura constante.**

Muestras		API
1	<b>Pesado</b>	15,74
	<b>Liviano</b>	26,60
2	<b>Pesado</b>	11,26
	<b>Liviano</b>	30,43

Carima y Nova [10] determinaron la gravedad API de un crudo de Campo Boscán, obteniendo un valor de 13° con una viscosidad de 639,46 P, similar a los resultados obtenidos en este estudio para las muestras 1 y 2, con gravedades API de 15,74 y 11,26, y viscosidades de 15996 y 1740 P, respectivamente. Esto confirma que ambos crudos presentan características parecidas al ser clasificados como pesados.

En comparación con el crudo estudiado por Carbonó [11], con una gravedad API de 13,8° y una viscosidad de 2238,87 P, los resultados muestran que, aunque la gravedad API es similar a la de Carima y Nova [10], la viscosidad de este crudo es considerablemente más alta que las muestras 1 y 2, lo que resalta la variabilidad entre crudos de un mismo campo petrolero y valida los resultados obtenidos.

#### d. Determinación de contenido de agua y sedimentos

En 2023, el crudo pesado contenía un 10 % de agua y un 28 % de sedimentos, mientras que el crudo liviano tenía un 1,5 % de agua y un 8 % de sedimentos. Estas cifras indican una presencia significativa de contaminantes en las muestras iniciales. Sin embargo, las muestras de 2024 mostraron una mejora notable en el crudo pesado, ya que no se encontró agua ni sedimentos. Por el contrario, el crudo liviano presentó un aumento considerable en el contenido de sedimentos, alcanzando el 40 %, lo que resalta la necesidad de implementar estrategias de tratamiento antes del procesamiento para garantizar la calidad del crudo (Tabla 7).

**Tabla 7. Contenido de agua y sedimentos de muestras de crudo a temperatura constante**

		Muestras	% Agua	% Sedimentos
1	Pesado	10	28	
	Liviano	1,5	8	
2	Pesado	0	0	
	Liviano	0	40	

Carima y Nova [10] determinaron un 30 % de agua y sedimentos en un crudo pesado de Campo Boscán, similar al 38 % encontrado en la muestra 1 de este estudio. Los crudos livianos de las muestras 1 y 2 mostraron contaminantes del 9,5 % y 40 %, respectivamente. Sin embargo, la muestra 2 del crudo pesado, extraído después de un proceso de separación, no mostró contaminantes, mostrando el impacto del tratamiento previo.

Por otro lado, el crudo pesado estudiado por Carbonó [11] presentó solo un 10 % de contaminantes, mucho menos que los resultados de Carima y Nova [10] y la muestra 1, lo que podría deberse a diferencias en las condiciones de extracción o tratamiento preliminar, evidenciando la variabilidad de los crudos pesados del mismo campo petrolero.

En función del contenido de agua de las muestras, se seleccionaron las muestras 2 para ser sometidas a la fase de prueba con los reductores de viscosidad, ya que no poseen contenido de agua.

#### 2. Evaluación de viscorreductor y su impacto en la viscosidad del crudo pesado

En la dilución del 33 %, actualmente utilizada en el campo Petro Urdaneta, el crudo pesado presentó una viscosidad inicial de 150,89 P. La adición de 2000 ppm de viscorreductor logró reducir esta viscosidad a 24,61 P, lo que representó una disminución del 83,69 % (Tabla 9).

**Tabla 9. Variación de viscosidad de dilución con 33 % de diluente con respecto a la adición de viscorreductor.**

Proporción	ppm	Viscosidad (P)	RPM	Spindle	% Rotación	% Disminución
33 %- Diluente	0	150,89	20	64	85,6	0
	500	86,19	30	64	85,4	42,88
	1000	64,05	60	64	86,4	57,55
	1500	40,29	100	63	82,3	73,30
	2000	24,61	100	63	75,3	83,69

En la dilución del 20 %, con una viscosidad inicial de 487,45 P, la adición de 2000 ppm de viscorreductor redujo la viscosidad a 87,56 P, lo que equivale a una disminución del 82,04 % (Tabla 10). Aunque los valores iniciales fueron más altos que en la dilución al 33 %, los resultados finales indican que es posible mantener una eficiencia similar utilizando menos diluente.

**Tabla 10. Variación de viscosidad de dilución con 20 % de diluente con respecto a la adición de viscorreductor.**

Proporción	ppm	Viscosidad (P)	RPM	Spindle	% Rotación	% Disminución
20 %- Diluente	0	150,89	20	64	85,6	0
	500	86,19	30	64	85,4	42,88
	1000	64,05	60	64	86,4	57,55
	1500	40,29	100	63	82,3	73,30
	2000	24,61	100	63	75,3	83,69

En la dilución al 10 %, con una viscosidad inicial de 1028,45 P, la adición de 2000 ppm de viscorreductor logró una reducción del 77,11 %, alcanzando un valor final de 235,37 P (Tabla 11). Aunque este nivel de reducción fue menor que en las diluciones con mayores porcentajes de diluente, los resultados sugieren que el viscorreductor sigue siendo una herramienta efectiva para mejorar la fluidez incluso con cantidades reducidas de diluente.

**Tabla 11. Variación de viscosidad de dilución con 10 % de diluente con respecto a la adición de viscorreductor.**

Proporción	ppm	Viscosidad (P)	RPM	Spindle	% Rotación	% Disminución
10 %- Diluente	0	1028,45	0,5	64	87	0
	500	701,78	1	64	85,3	31,76
	1000	495,88	2,5	64	83,5	51,78
	1500	290,91	10	64	88,4	71,71
	2000	235,37	20	64	94,5	77,11

En la dilución al 0 %, la viscosidad inicial fue extremadamente alta, alcanzando los 2458,45 P. Con la adición de 2000 ppm de viscorreductor, la viscosidad se redujo a 753,31 P, lo que representó una disminución del 69,36 % (Tabla 12). Esta reducción no fue suficiente para alcanzar niveles manejables, lo que evidencia que el uso de diluente es esencial para optimizar la efectividad del viscorreductor.

**Tabla 12. Variación de viscosidad de dilución con 0 % de diluente con respecto a la adición de viscorreductor.**

Proporción	ppm	Viscosidad (P)	RPM	Spindle	% Rotación	% Disminución
0 %- Diluente	0	2458,45	0,2	64	82,1	0
	500	1975,04	0,5	64	80,7	19,66
	1000	1468,77	2,5	64	72,6	40,26
	1500	971,73	10	64	79,5	60,47
	2000	753,31	12	4	81,5	69,36

En el estudio de Cordero y Sucre [5], por medio de la aplicación de 2000 ppm de aditivo junto a un 30 % de diluente, se logró una reducción en la viscosidad de hasta 100 % a partir de una viscosidad inicial de 351,83 P. Mientras que en la investigación de Cordero y Sucre [5] se utilizaron temperaturas 26,6 °C, en el estudio presente la temperatura fue de 21,5 °C, lo que genera una reducción menos pronunciada desde el valor inicial, pudiendo ser un factor auxiliar para la distinción en los porcentajes de reducción.

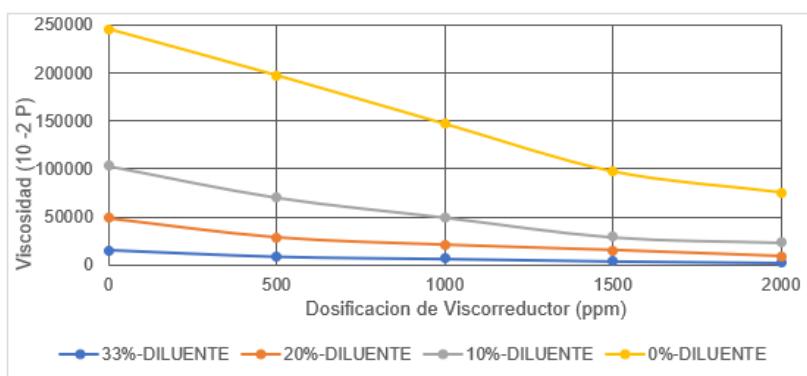
Por otro lado, Abarca et al. [6] redujeron la viscosidad de un crudo de 8,19 P a 3,18 P (reducción del 61 %) a 40 °C, usando 1000 ppm de viscorreductor y 3 % de nafta como diluente. Este porcentaje es inferior al de Cordero y Sucre [5] y al del presente estudio, lo que también resalta la influencia significativa de la temperatura y la dosificación de aditivos en el comportamiento reológico del crudo.

Adicionalmente, el estudio de Zhu et al. [12], logra una disminución del 25 % desde una viscosidad inicial de 120 P, con 600 ppm de viscorreductor y 20 % de keroseno como diluente. A 70 °C, la reducción fue del 64 %, destacando que el aumento de temperatura y el uso de diluentes más ligeros, como el keroseno.

### 3. Selección óptica de la combinación diluente-aditivo

La Figura 9, detalla que inicialmente, 500 ppm de viscorreductor generan una disminución pronunciada en la viscosidad, con porcentajes de reducción decrecientes a medida que aumenta la dosificación debido a la saturación de la mezcla.

En diluciones del 33 % y 20 %, una dosificación de 1500 ppm logra reducciones aceptables antes de que la eficiencia del aditivo disminuya. En diluciones menores (10 % y 0 %), la funcionalidad del viscorreductor también es adecuada hasta 1500 ppm, pero los valores de viscosidad finales no son óptimos para producción y transporte.



**Figura 9. Comportamiento de viscosidad con respecto a la adición de viscorreductor para cada dilución**

Con base en estos hallazgos, es viable reducir el diluente de 33 % a 20 % al usar entre 1500 ppm de viscorreductor, ya que se logró una viscosidad similar a la obtenida solo con la proporción convencional de diluente.

La investigación de Abarca et al. [6] encontró una dosificación óptima de viscorreductor a 700 ppm con un 3 % de nafta, y al aumentar la dosificación a 1000 ppm, la reducción en la viscosidad no mejoraba considerablemente. En comparación, el presente estudio utilizó 1500 ppm de viscorreductor, más del doble de la dosis reportada por el autor [6], y un 20 % de diluente, significativamente mayor que el 3 % utilizado en el estudio citado. Además, las pruebas se realizaron a temperaturas diferentes: 40 °C en el estudio de Abarca et al. [6], frente a 21,5 °C en el presente trabajo, lo que también influyó en la viscosidad del crudo. Los resultados de Abarca et al. [6] mostraron una reducción de viscosidad del 50 % con su formulación, a 40 °C, mientras que en este estudio se alcanzó una reducción del 68,86 % con 1500 ppm de viscorreductor a 21,5 °C, lo que refleja un mejor desempeño en términos relativos.

Por otro lado, en el estudio de Zhu et al. [12], se utilizó 600 ppm de viscorreductor con 20 % de keroseno a 70 °C, logrando una reducción de viscosidad del 64 %. Estos resultados también indicaron que temperaturas superiores a 70 °C disminuían la efectividad del viscorreductor, y dosis más altas de aditivo no producían reducciones significativas adicionales.

Mientras que, en los trabajos de Abarca et al. [6] y Zhu et al. [12] se usaron dosis menores de viscorreductor y diluentes diferentes (nafta y keroseno), el presente estudio utilizó una mayor cantidad de aditivo y temperaturas más bajas, logrando mayores reducciones en la viscosidad, lo que sugiere un mejor desempeño del aditivo bajo las condiciones de prueba, particularmente; el porcentaje de diluente, la temperatura de prueba y la composición del crudo pesado.

## Conclusiones

La viscosidad dinámica de la muestra 1 fue sensiblemente menor que la de la muestra 2. Esta última exhibió una gravedad API inferior, confirmando su mayor densidad y su clasificación como crudo pesado. Asimismo, presentó valores reducidos de contenido de agua y sedimentos, lo que indica una fracción hidrocarbonada de mayor pureza. Por estas características, la muestra 2 se seleccionó como crudo patrón para la evaluación del aditivo viscorreductor.

El viscorreductor mostró una alta capacidad de abatimiento viscoso en todas las diluciones analizadas. Las formulaciones con mayores fracciones másicas de diluente (33 % y 20 %) alcanzaron las viscosidades finales más bajas; la mezcla al 33 % junto con 2000 ppm de aditivo logró la máxima eficiencia, con una reducción del 83,69 %. En los sistemas con 10 % y 0 % de diluente se observaron descensos apreciables; sin embargo, las viscosidades finales se mantuvieron superiores a 100 P a 25 °C, lo que evidencia la necesidad operativa de incorporar diluente para cumplir los requisitos de transporte por oleoducto.

La formulación con 20 % de diluente y 1500 ppm de viscorreductor proporcionó un abatimiento de viscosidad equiparable al logrado mediante el método convencional de adicionar 33 % de crudo liviano, evidenciando un margen sustancial para optimizar el consumo de diluente sin comprometer la movilidad del crudo pesado.

## Referencias bibliográficas

- [1] J. Muñoz, “Crudos pesados: la realidad del sector hidrocarburos de Colombia”. Revista de Universidad Industrial de Santander, Vol. 184, No. 8, pp. 42-45. 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.virtualpro.co/editoriales/20170501-ed.pdf>
- [2] M. Lam-Maldonado., N. Díaz., Y. Aranda-Jiménez., E. Arvizu., J. A. Melo-Banda., J. F. Perez-Sánchez., E. Suarez-Dominguez, “Extra heavy crude oil viscosity and surface tension behavior using a flow enhancer and water at different temperatures conditions”. Heylion, Vol. 9, No. 12, pp. 1-9. 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844022034089>
- [3] PDVSA. Producción. 2016. [En línea]. Disponible en: [http://www.pdvsa.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=8822&Itemid=1197&lang=es](http://www.pdvsa.com/index.php?option=com_content&view=article&id=8822&Itemid=1197&lang=es)
- [4] R. Martínez-Palou., M. L. Mosqueira., B. Zapata-Rendón., E. Mar-Juárez, C. Bernal-Huicochea., J. C. Clavel-López, “Transportation of heavy and extra-heavy crude oil by pipeline: A review”. Journal of Petroleum Science and Engineering, Vol. 75, No. 3, pp. 274-282. 2011. [En línea]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0920410510002640>
- [5] E. Cordero E., M. Sucre, “Evaluación del producto EM-24 como reductor de viscosidad en crudos pesados a nivel de laboratorio”. Trabajo Especial de Grado. Univ. de Oriente, Venezuela. pp. 9-75. 2021. [En línea]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/346688918\\_Evaluación\\_del\\_producto\\_EM24\\_como\\_reductor\\_de\\_viscosidad](https://www.researchgate.net/publication/346688918_Evaluación_del_producto_EM24_como_reductor_de_viscosidad)
- [6] A. Abarca., L. Guzmán-Beckmann., J. Castillo, “Estudio del efecto de reductores de viscosidad en crudo pesado. Revista Tecnológica ESPOL, Vol. 32, No. 1, pp. 13-21. 2020. [En línea]. Disponible en: <https://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/739>
- [7] ASTM International. ASTM D2983-22 Standard test method for low-temperature viscosity of lubricants measured by Brookfield viscometer. 2022. [En línea]. Disponible en: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/112980/49709d08697842b5a1fafb1f13a92562/ASTM-D2983-22.pdf>
- [8] ASTM International. ASTM D1217-12 Standard test method for density and relative density (specific gravity) of liquids by Bingham pycnometer. 2012. [En línea]. Disponible en: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/82746/a7ce4cb7dc4c4d59b6775b39dc583876/ASTM-D1217-12.pdf>

[9] ASTM International. ASTM D4007-22 Standard test method for water and sediment in crude oil by the centrifuge method (laboratory procedure). 2022. [En línea]. Disponible en: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/114051/ef5005e0c27140abb9dcc36e81c529c6/ASTM-D4007-22.pdf>

[10] M. Carima., C. Nova, “Evaluación del efecto de la aplicación de solventes sobre la viscosidad de crudos pesados provenientes de Campo Boscán”. Trabajo Especial de Grado. Univ. Rafael Urdaneta, Venezuela, pp. 8-137. 2014. [En línea]. Disponible en: <https://uru.insiemp.com/educa/biblio/2101-14-07732.pdf>

[11] N. Carbonó, “Evaluación de la utilización de aceites usados de vehículos automotores en la reducción de viscosidad de crudos pesados”. Trabajo Especial de Grado. Univ. Rafael Urdaneta, Venezuela, pp. 66-86. 2018. [En línea]. Disponible en: <https://uru.insiemp.com/educa/biblio/2101-18-13501.pdf>

[12] L. Zhu., Y. Wang., S. Wang., T. Huo., X. Jing., A. Li., D. Xia, “High viscosity-reducing performance oil-soluble viscosity reduction agents containing acrylic acid ester as monomer for heavy oil with high asphaltene content. Journal of Petroleum Science and Engineering, 163, pp. 37-45. 2017. [En línea]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/322148637\\_High\\_viscosity-reducing\\_performance\\_oil-soluble\\_viscosity\\_reduction\\_agents\\_containing\\_acrylic\\_acid\\_ester\\_as\\_monomer\\_for\\_heavy\\_oil\\_with\\_high\\_asphaltene\\_content](https://www.researchgate.net/publication/322148637_High_viscosity-reducing_performance_oil-soluble_viscosity_reduction_agents_containing_acrylic_acid_ester_as_monomer_for_heavy_oil_with_high_asphaltene_content)

# **Sistema de información geográfica para la gestión de activos en Laboratorios de Materiales y Suelos de una universidad privada venezolana**

*Geographic information system for asset management in Soil and Materials Laboratories of a Venezuelan private university*

**Luis J.J González-Madrid**

Universidad Rafael Urdaneta, Decanato de Posgrado e Investigación, Maestría en Gerencia de Mantenimiento. Maracaibo, Venezuela.

 <https://orcid.org/0009-0009-0956-2177> | Correo electrónico: [luis.gonzalez.81053@uru.edu](mailto:luis.gonzalez.81053@uru.edu)

**Abel A. González-Beltrán**

Universidad del Zulia, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Geodésica. Maracaibo, Venezuela

 <https://orcid.org/0009-0007-8478-8091> | Correo electrónico: [abangobe@gmail.com](mailto:abangobe@gmail.com)

Recibido: 18/06/2025 Admitido: 23/06/2025 Aceptado: 00/00/0000

## **Resumen**

Esta investigación propuso el desarrollo de un sistema de información geográfica (SIG) para mejorar la gestión de activos en los Laboratorios de Materiales y Suelos de una universidad privada venezolana. El objetivo general fue desarrollar un SIG que permitiera la identificación, visualización y análisis espacial de activos, mediante la recolección de datos de ubicación, condiciones y detalles técnicos para facilitar una toma de decisiones informada y una planificación estratégica del mantenimiento. Utilizando técnicas cualitativas y cuantitativas, se implementaron herramientas como ArcGIS ArcMap y ArcGIS Online para la recopilación, validación y almacenamiento de datos detallados. El proceso metodológico incluyó el diseño de flujos de trabajo eficientes para la recopilación y almacenamiento de datos, la integración de herramientas SIG en línea y la implementación de un panel de gestión para observar alertas tempranas. Se demostró la eficacia del SIG para la gestión integral de los activos, mejorando la eficiencia operativa y la accesibilidad de la información. Además, se identificaron áreas para futuras mejoras, como la resolución de desajustes entre diferentes versiones de software. Esta investigación proporciona un modelo valioso y adaptable para la gestión de activos en entornos académicos.

**Palabras clave:** Sistema de información geográfica, gestión de activos, laboratorios, flujos de trabajo, panel de gestión.

## **Abstract**

*This research proposed the development of a geographic information system (GIS) to improve asset management in the Materials and Soil Laboratories of a private Venezuelan university. The general objective was to develop a GIS that would allow for the identification, visualization, and spatial analysis of assets by collecting location, condition, and technical details data to facilitate informed decision-making and strategic maintenance planning. Using qualitative and quantitative techniques, tools such as ArcGIS ArcMap and ArcGIS Online were implemented for the collection, validation, and storage of detailed data. The methodological process included the designing efficient workflows for data collection and storage, integrating online GIS tools, and implementing a management dashboard to observe early alerts. It was demonstrated the effectiveness of the GIS for comprehensive asset management, improving operational efficiency and information accessibility. Additionally, areas for future improvements were identified, such as resolving discrepancies between different software versions. This research provides a valuable and adaptable model for asset management in academic environments.*

**Keywords:** geographic information system, asset management, laboratories, workflows, management dashboard

## Introducción

La gestión eficiente de activos en Laboratorios de Materiales y Suelos dentro del ámbito universitario, representa un desafío crucial. Mantener estos activos en óptimas condiciones es fundamental para asegurar la calidad de la investigación y la enseñanza. Sin embargo, la falta de un sistema integral de gestión de activos basado en tecnologías de información geográfica (SIG) dificulta la identificación, visualización y análisis espacial de los mismos. Esta carencia conlleva a una toma de decisiones limitada, una planificación reactiva de mantenimiento y subutilización de recursos, lo que impacta negativamente en la eficiencia operativa y la vida útil de los activos.

En la literatura, diversos estudios han destacado el avance de las tecnologías de información geográfica que han transformado la gestión de activos en diversos sectores. Quevedo y Romero [1] en su investigación, generaron un sistema de reporte y gestión geográfica de incidencias, que resultó fundamental para el diseño de aplicaciones web y móviles utilizando bases cartográficas SIG, mediante un enfoque práctico y accesible que permitió recopilar datos y garantizar su actualización en tiempo real. Por su parte, Medina, Cantuca y Bautista [2], en su estudio de implementación de metodologías para la gestión de activos, proporcionaron información valiosa en el ámbito de la gestión de activos, ofreciendo un enfoque estructurado y comprobado para la gestión de proyectos, adaptable a las especificaciones del laboratorio.

En la investigación de Ruz [3], sobre el diseño y propuesta de un dashboard para el control de gestión del departamento de estudios de una empresa constructora, se ofrecen las bases para el diseño y propuesta de un dashboard para el control de la gestión, demostrándose la sinergia entre los softwares utilizados. Los trabajos de Barrera [4] y Rojas [5], destacan la importancia del mantenimiento en la gestión de activos, la identificación de factores a estudiar y su relevancia, así como la propuesta del uso de documentos, hojas de inspección y diagramas de flujo, como base aplicable a la gestión de activos del laboratorio.

A la luz de estos hallazgos, es evidente que la implementación de SIG adaptados a las necesidades de Laboratorios de Materiales y Suelos sigue siendo limitada, lo que genera una brecha en la investigación. Este vacío se propone abordar mediante el desarrollo de un SIG destinado a la gestión eficiente de activos en laboratorios universitarios, lo que no solo optimizará los procesos internos del laboratorio, sino que también servirá como caso de estudio relevante para otras instituciones y organizaciones.

Esta investigación se planteó como objetivo, desarrollar un sistema de información geográfica para la gestión de activos en Laboratorios de Materiales y Suelos de una universidad privada venezolana. Para ello, se llevaron a cabo actividades específicas como la selección de tecnologías SIG adecuadas, el diseño de flujos de trabajo eficientes, la integración de datos en tiempo real con plataformas SIG, y la creación de paneles de gestión para la observación de alertas y datos en tiempo real.

## Metodología

El enfoque adoptado en esta investigación es un enfoque mixto, buscando proponer soluciones a problemas específicos mediante la exploración, descripción y explicación de fenómenos relevantes para la gestión de activos universitarios, así como para comprender detalladamente las especificaciones y necesidades de los activos del laboratorio.

Para llevar a cabo este estudio, se siguió una investigación de tipo descriptiva y proyectiva y un diseño de investigación no experimental, de campo y transeccional. Se empleó el diseño no experimental dado que no se manipularon directamente variables independientes ni se controlaron las condiciones del entorno; en cambio, se observaron y describieron fenómenos tal y como se presentaron en su contexto natural, sin intervenir de manera activa. Además, se utilizó el diseño de campo para realizar el inventario de los equipos y maquinarias del Laboratorio de Materiales y Suelos, recolectando datos directamente del entorno donde se encuentran los activos. Del mismo modo, se adoptó el diseño transeccional para recolectar datos, capturando la situación específica del laboratorio en un periodo determinado [6].

La unidad de análisis en esta investigación se centró en los activos individuales del Laboratorio de Materiales y Suelos de la universidad, los cuales fueron seleccionados de acuerdo a criterios como la relevancia para las labores de investigación y enseñanza, la frecuencia de uso y los costos, entre otros factores. Los activos fueron considerados como unidades separadas para su análisis y gestión dentro del sistema de información geográfico.

Para la recolección de datos, se utilizó la observación directa estructurada y la observación documental. Se implementaron formularios para recolectar la información de los activos y se utilizó el documento de Excel y ArcGIS como instrumentos para recopilar y analizar datos. Estas herramientas permitieron obtener una visión completa y detallada de los activos del laboratorio, así como sus necesidades y características.

Para llevar a cabo la recopilación, validación y almacenamiento de datos detallado de los activos del Laboratorio de Materiales y Suelos, se revisaron los procesos actuales de recopilación de datos en el laboratorio y se identificaron las necesidades de información específicas para la gestión de activos. Luego se establecieron protocolos de validación de datos para garantizar su precisión y se seleccionó la plataforma para el almacenamiento de los datos. Posteriormente, se estableció un flujo de trabajo eficiente utilizando las herramientas SIG online. Mediante una investigación documental, se seleccionó la herramienta SIG en línea más adecuada para el laboratorio, luego se diseñó un flujo de trabajo que integró la herramienta SIG seleccionada con los procesos existentes en el laboratorio, y se configuró una herramienta SIG en línea para adaptarla a las especificaciones del laboratorio.

Una vez configurada la integración entre la herramienta SIG en línea y ArcGIS online, se desarrolló un protocolo para la actualización automática de datos en tiempo real y se crearon mapas y visualizaciones de los datos utilizando ArcGIS online. Además, se capacitó al personal del laboratorio en la gestión de datos en ArcGIS online.

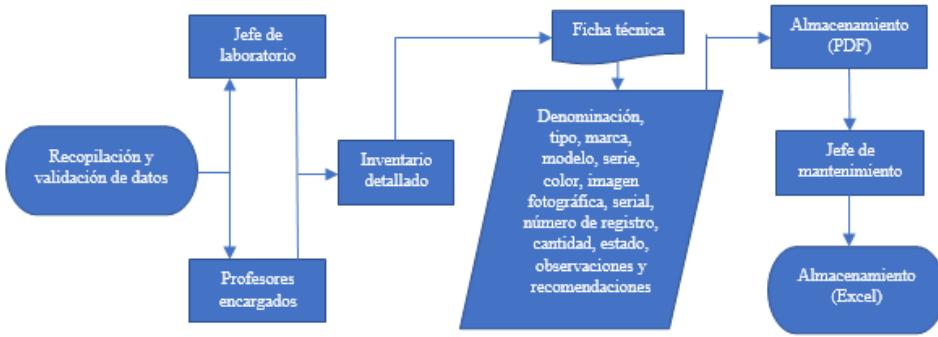
Finalmente, en lugar de utilizar el dashboard de ArcGIS online, debido a las limitaciones de la licencia de desarrollador gratuita, se optó por el uso de la plataforma de Google para generar un formulario de registro de uso y estado de equipos del Laboratorio de Materiales y Suelos. Este formulario permitió visualizar en tiempo real los datos recopilados a través de un dashboard integrado, realizando un seguimiento a los indicadores críticos que establecieron las alertas tempranas y también la exportación de la información mediante una hoja de cálculo.

Es importante considerar algunas limitaciones encontradas en la investigación relacionadas con la disponibilidad y accesibilidad a la información de los activos del laboratorio, al desarrollo e implementación del sistema de información geográfica enfrentando desafíos técnicos como problemas de compatibilidad entre plataformas, las restricciones de recursos informáticos o limitaciones en la capacidad de procesamiento de la información, las limitaciones de las licencias gratuitas para el uso de aplicaciones web; así como también, los cambios en el entorno del laboratorio, la adquisición de nuevos equipos o la modificación de procesos de trabajo. Para solventar esos escollos, se llevaron a cabo revisiones continuas del proceso de investigación, para identificar y abordar cualquier desafío o limitación encontrada.

## **Resultados y discusión**

Durante el diseño de un flujo de trabajo eficiente para la recopilación, validación y almacenamiento de datos detallados de los activos del Laboratorio de Materiales y Suelos, se observó que actualmente existe una metodología establecida para recolectar información de los activos y su verificación directa. El jefe de laboratorio mantiene un inventario detallado, donde la información de los equipos es suministrada mediante observación directa por parte del jefe de laboratorio y los profesores encargados del manejo de los equipos durante las clases, esta documentación incluyó fichas técnicas que poseen datos de los activos como: denominación, tipo, marca, modelo, serie, color, imagen fotográfica, serial del equipo, número de registro, cantidad, estado, observaciones y recomendaciones. Estos datos se almacenaron en plantillas PDF, las cuales

son compartidas con el jefe de mantenimiento de la universidad, estos datos fueron posteriormente archivados en una hoja de cálculo para poder ser analizados, como se muestra en la Figura 1.



**Figura 1. Flujo de trabajo para la recopilación y validación de los datos**

Con este flujo de trabajo se evidenció el estado de los equipos y mediante el análisis de los mismos, se pudo obtener una visión general del estado del laboratorio. En la Tabla 1, se presenta el inventario de equipos del laboratorio.

**Tabla 1. Inventario de los equipos del laboratorio**

Nº	DENOMINACION	TIPO	MARCA	MODELO	SERIE	COLOR
1	TESTER CBR	MARSHALL	CONTROLS	NULL	B29-B31	GRIS Y NEGRO
2	MAQUINA DE COMPRENSIÓN	NULL	CIVITECH	50 -Q90C14	NULL	AZUL MARINO
3	TAMIZADORA ELECTRICA	ELECTRICA	INTERMATIC	NULL	NULL	AZUL CLARO
4	BALANZA HIDROSTATICAS	MANUAL	NULL	NULL	NULL	AZUL
5	BALANZA	4000GR/800GR	OHAUS	17VDC	NULL	BEIGE
6	BALANZA	BALANZA DE PRECISIÓN 6KG d=0,1gr.	ADAM	CBW	6H	GRIS
7	CAZUELA DE CASAGRANDE	3KG	HUMBOLDT MTG.	60656	NULL	NEGRO
8	HORNO PARA ENSAYOS DE PAV. Y SUELOS.	DIGITAL	QUINCY	NULL	NULL	MARRON
9	MAQUINA DE LOS ANGELES	MANUAL	ABQUALITY	NULL	NULL	AZUL
10	MAQUINA PARA COMPRESIÓN DE CILINDROS	NULL	SOILTEST	CT-726	NULL	MARRON
11	PENETROMETRO DE CONO	MANUAL	CONTROLS	NULL	BS 1377	BEIGE NEGRO
12	PERMEAMETRO DE CARGA CONSTANTE	NULL	CONTROLS	NULL	NULL	BEIGE
13	HORNO	NULL	SOILTEST	Evenston	NULL	GRIS
14	HORNO	NULL	SOILTEST	Evenston	NULL	GRIS
15	HORNO	NULL	SOILTEST	Evenston	NULL	GRIS
16	TROMPO PARA MEZCLAR CONCRETO	MANUAL	NULL	NULL	NULL	AMARILLO

Nº	DENOMINACION	TIPO	MARCA	MODELO	SERIE	COLOR
17	MAQUINA DE SOLDAR	NULL	NULL	NULL	NULL	GRIS
18	BALANZA DE PESAJE	BALANZA ELECTRONICA DE PRESIÓN	OHAUS	I10	III/IIIIL	GRIS
19	FUENTE DE PODER	DE 110-120V	STAVOL SVC-350	NULL	NULL	GRIS
20	DIAL 1" x 0,001"	PARA ENSAYO DE CBR	NULL	NULL	NULL	BLANCO NEGRO
21	MECHERO.	MANUALES	BUNSEN	NULL	NULL	COBRE
22	MECHERO.	MANUALES	BUNSEN	NULL	NULL	COBRE
23	VISCOCIMETRO	VIDRIO	CANNON	16804	0016	NULL
24	TEODOLITO	ELECTRONICO	TOPCON	DT-209	DT-200	AMARILLO NEGRO
25	TEODOLITO	ELECTRONICO	TOPCON	DT-209	DT-200	AMARILLO NEGRO
26	TEODOLITO	ELECTRONICO	TOPCON	DT-209	DT-200	AMARILLO NEGRO
27	TEODOLITO	ELECTRONICO	TOPCON	DT-209	DT-200	AMARILLO NEGRO
28	NIVEL	AUTOMATICO	TOPCON	AT-G6	NULL	AMARILLO
29	NIVEL	AUTOMATICO	TOPCON	AT-G7	NULL	AMARILLO
30	NIVEL	AUTOMATICO	TOPCON	AT-G8	NULL	AMARILLO
31	NIVEL	MANUAL	WILD	NT-001	NULL	GRIS
32	PLANIMETRO	MECÁNICO	SALMOIRAGHI	NULL	NULL	GRIS
33	PLANIMETRO	ELECTRONICO	TOPCON PLACOM	NULL	NULL	GRIS ROJO
34	PLANIMETRO	ELECTRONICO	TOPCON PLACOM	NULL	NULL	GRIS ROJO
35	PLANIMETRO	ELECTRONICO	TOPCON PLACOM	NULL	NULL	GRIS ROJO
36	TEODOLITO	MECÁNICO	BREIHAUPT	NULL	NULL	GRIS
37	TERMOMETRO	50°C	FRANCE	IMM48	NULL	BLANCO
38	TERMOMETRO	110°C	ASTM	NULL	B4	AMARILLO
39	TERMOMETRO	47°C	ASTM	NULL	B22	AMARILLO
40	MEZCLADOR DE TEJIDOS Y EMULSIONES	METALICO	ULTRA TURRAX	JANKE & KUNKEL	TP18/1021	AZUL
41	CONTADOR	METALICO	VEEDER ROOT	NULL	NULL	GRIS NEGRO
42	DIAL INDICADOR	METALICO	AGD GROUP 2	NULL	NULL	NEGRO BLANCO
43	ULTRASONIDO	ELECTRICO	TESTER	NULL	NULL	GRIS BLANCO

Del total de los 168 activos del laboratorio, en la Tabla 1 se pueden observar los 43 equipos pertenecientes al mismo.

Tabla 2. Estado de los equipos del laboratorio

Estado de los equipos	Porcentaje (%)
Activos	44%
Inactivos	56%

Se observa en la Tabla 2 una mayor proporción de equipos inactivos dentro del laboratorio, debido al desgaste, averías, antigüedad, y falta de mantenimiento, entre otros factores.

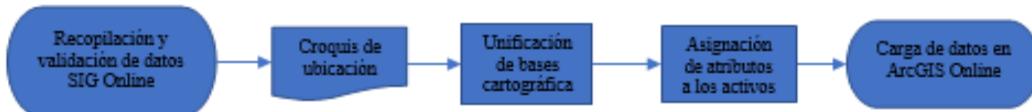
**Tabla 3. Recomendaciones para los equipos inactivos**

Estado de los equipos	Porcentaje (%)
Reparar	38%
Reemplazar	62%

Se puede observar en la Tabla 3, que la recomendación para la mayoría de los equipos es reemplazarlos, dando prioridad a equipos críticos y reemplazar aquellos obsoletos. Además de los datos observados, también se apreció que no existe una codificación interna de los activos en la universidad.

El flujo de trabajo implementado en el laboratorio permitió identificar de manera precisa el estado de los activos del mismo, proporcionando una base sólida para la planificación del mantenimiento y la toma de decisiones, esto asegura una gestión más eficiente y efectiva de los recursos. Los resultados obtenidos reflejan la realidad a la que se enfrenta el laboratorio, con desafíos relacionados con el desgaste, averías y antigüedad de los equipos. Por otro lado, la alta tasa de inactividad sugiere la necesidad de una estrategia de gestión de activos más robusta, que incluya programas de mantenimiento preventivo y correctivo, junto con la creación de un sistema de codificación que permita facilitar el seguimiento de los activos.

A continuación, se presenta el flujo de trabajo para la recopilación, validación y almacenamiento de los datos con la herramienta SIG Online, específicamente ArcGIS (Figura 2), para la gestión de los datos de los activos del laboratorio, de manera eficiente.



**Figura 2. Flujo de trabajo para la recopilación y validación de los datos en SIG Online**

El primer paso del flujo de trabajo consistió en la creación de un croquis detallado donde se presentó la ubicación precisa de cada activo dentro del laboratorio, el cual se utilizó como base para la georreferenciación de los activos en el sistema SIG, luego se unificaron todas las bases cartográficas de la universidad dentro de la herramienta ArcGIS ArcMap de escritorio, permitiendo de esta forma, localizar y georreferenciar con precisión el Laboratorio de Materiales y Suelos, dentro del campus universitario (Figura 3).



**Figura 3. Base cartográfica unificada del campus universitario**

Cada activo del laboratorio fue agregado a su ubicación correspondiente dentro del ArcMap, lo cual aseguró que todos los activos se encontraran correctamente posicionados en el mapa en base al croquis de ubicación. También se creó una tabla de atributos con los datos de los activos con su nombre, tipo, marca, modelo, serie, color, serial, registro, cantidad, estado e imagen, en la cual se cargaron los datos correspondientes a cada activo; mientras que, las fotos de los activos se almacenaron en la nube mediante una cuenta de Google Drive, lo que facilitó cargar las imágenes como enlaces dentro de la tabla de atributos (Figura 4).

Table														
EQUIPOS_LAB_MAT_SUE														
FID	Shape *	Id	NOMBRE	TIPO	MARCA	MODELO	SERIE	COLOR	SERIAL	REGISTRO	CANTIDAD	ESTADO	IMAGEN	
96	Point	0	TEODOLITO	ELECTRONICO	TOPCON	DT-209	DT-200	AMARILLO-NEG	098649	1	MALESTADO	<a href="https://drive.google.com/file/d/1b6g2wIMM1g0Exh5n">https://drive.google.com/file/d/1b6g2wIMM1g0Exh5n</a>		
97	Point	0	TEODOLITO	ELECTRONICO	TOPCON	DT-209	DT-200	AMARILLO-NEG	099364	1	MALESTADO	<a href="https://drive.google.com/file/d/1BvPPCDVny9/bdZ">https://drive.google.com/file/d/1BvPPCDVny9/bdZ</a>		
98	Point	0	TEODOLITO	ELECTRONICO	TOPCON	DT-209	DT-200	AMARILLO-NEG	099308	1	BUEN ESTAD	<a href="https://drive.google.com/file/d/1fbTTTCJUKbyUOI">https://drive.google.com/file/d/1fbTTTCJUKbyUOI</a>		
99	Point	0	NIVEL	AUTOMATICO	TOPCON	AT-G6		AMARILLO	B10311	1	BUEN ESTAD	<a href="https://drive.google.com/file/d/174Ab5QfxvVm3Ky">https://drive.google.com/file/d/174Ab5QfxvVm3Ky</a>		
100	Point	0	NIVEL	AUTOMATICO	TOPCON	AT-G6		AMARILLO	B10310	1	BUEN ESTAD	<a href="https://drive.google.com/file/d/177e4FHRhA0tZv">https://drive.google.com/file/d/177e4FHRhA0tZv</a>		
101	Point	0	NIVEL	AUTOMATICO	TOPCON	AT-G6		AMARILLO	B10308	1	BUEN ESTAD	<a href="https://drive.google.com/file/d/1crz2M0t1fjkhpJk">https://drive.google.com/file/d/1crz2M0t1fjkhpJk</a>		
102	Point	0	MANUAL	WILD		NT-001		GRIS		1	BUEN ESTAD	<a href="https://drive.google.com/file/d/1zyBDY7mkyWCS">https://drive.google.com/file/d/1zyBDY7mkyWCS</a>		
103	Point	0	CINTA METRICA	FIBRA DE VIDRIO 50M	TRIPER			NARANJA		1	BUEN ESTAD	<a href="https://drive.google.com/file/d/1GQzvC3u3SVYREa">https://drive.google.com/file/d/1GQzvC3u3SVYREa</a>		
104	Point	0	CINTA METRICA	FIBRA DE VIDRIO 50M	TRIPER			NARANJA		1	MALESTADO	<a href="https://drive.google.com/file/d/1UhK95uLcs54-B_kq">https://drive.google.com/file/d/1UhK95uLcs54-B_kq</a>		
105	Point	0	CINTA METRICA	FIBRA DE VIDRIO 50M	TRIPER			NARANJA		1	MALESTADO	<a href="https://drive.google.com/file/d/16MUReA7gQo_A">https://drive.google.com/file/d/16MUReA7gQo_A</a>		
106	Point	0	MIRAS ESTADIMETRICAS	VERTICALES DE 5M	TOPCON		90386	BLANCO-ROJO		3	BUEN ESTAD	<a href="https://drive.google.com/file/d/1zgHP_9nStpl3ZT">https://drive.google.com/file/d/1zgHP_9nStpl3ZT</a>		
107	Point	0	INVFI NF MANDO	MANUAL	WILD			GRIS		2	BUEN ESTAD	<a href="https://drive.google.com/file/d/1tP7KmP9hvrev">https://drive.google.com/file/d/1tP7KmP9hvrev</a>		

Figura 4. Tabla de los atributos de los activos

Con todos los activos y sus datos detallados cargados en ArcGIS ArcMap de escritorio, se creó una cuenta de desarrollador en la página de ArcGIS Online, lo cual permitió transferir las capas de información creadas en la versión de escritorio a la plataforma online, obteniendo una visualización y gestión más accesible y dinámica de los datos (Figura 5).

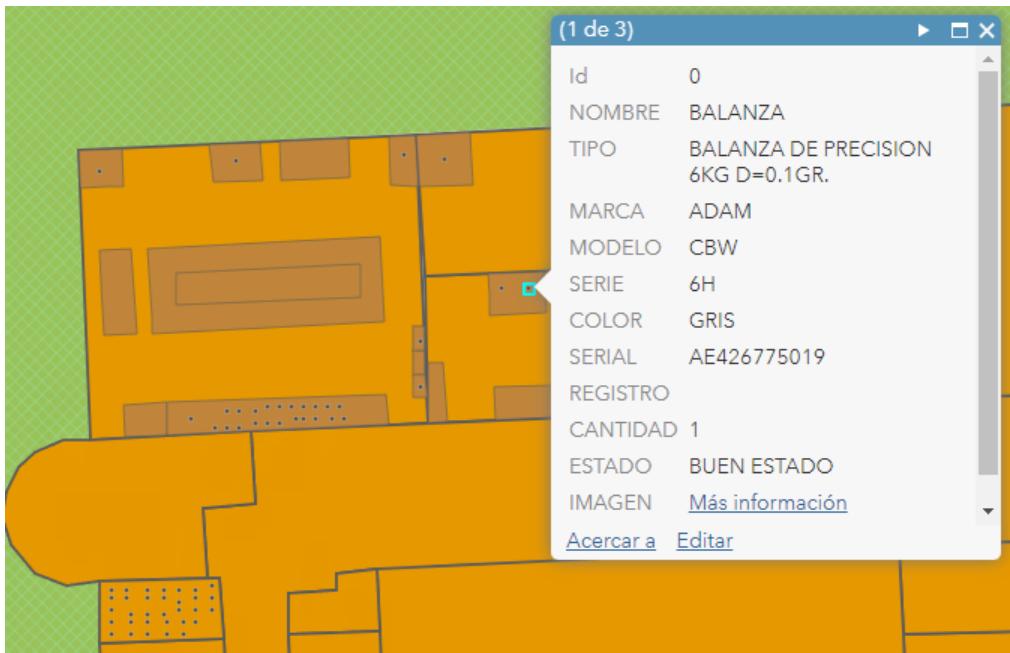


Figura 5. Visualización de los activos dentro del ArcGIS Online

El flujo de trabajo establecido ayudó a obtener una gestión integral y actualizada de los activos del laboratorio, facilitando la toma de decisiones y el mantenimiento preventivo. La integración de datos en ArcGIS Online proporcionó una plataforma accesible para todos los involucrados en la gestión del laboratorio, asegurando que la información esté disponible y sea fácilmente actualizada.

Durante el periodo de desarrollo de esta investigación, se iniciaron labores de reacondicionamiento del laboratorio, lo que causó que muchos activos se encontraran almacenados en depósitos temporales, esto implicó que al finalizar estas labores fue necesario actualizar sus ubicaciones en ArcGIS Online para

reflejar su posición final en el laboratorio. Adicionalmente, se observó una diferencia en la resolución entre el ArcGIS ArcMap de escritorio y ArcGIS Online, la versión de escritorio posee una resolución más alta y esto causó ligeros desajustes en la ubicación de algunos puntos al trasferir los datos en la versión online, pero estos desajustes se mantuvieron dentro de un rango aceptable para las labores del laboratorio y no afectaron significativamente la precisión requerida para la gestión de los activos (Figura 6).



Figura 6. Comparación de las resoluciones del ArcGIS de escritorio y el Online

Al tener toda la información cargada dentro del ArcGIS Online se generó un formulario digital llamado “Registro de Uso y Estado de Equipos del Laboratorio de Materiales y Suelos” mediante Google forms (Figura 7). Este formulario tuvo como propósito fundamental, que los profesores del laboratorio documentaran el uso de los equipos y actualizaran su estado después de cada sesión práctica, permitiendo así, una recopilación de datos en tiempo real que facilitó el monitoreo continuo y actualizado del estado de los activos.

Figura 7. Visualización del formulario en dispositivos Android y ordenadores

El formulario fue diseñado para documentar de manera detallada y precisa información crítica, tanto de aspectos operativos como de las condiciones de cada equipo antes y después de cada sesión de uso. Entre las preguntas incluidas se tuvieron, la información del profesor (nombre y apellido), permitiendo una trazabilidad del uso por responsable; fecha de uso y hora de inicio y fin, para establecer el tiempo de uso de cada equipo; identificación del equipo utilizado, incluyendo nombre, tipo, marca, modelo y número de serie,

facilitando el seguimiento individual de cada activo; la condición del equipo al inicio y estado después del uso, para identificar si el equipo muestra problemas recurrentes o si está funcionando correctamente; descripción detallada de defectos o fallos encontrados y observaciones adicionales para permitir una evaluación más profunda de cada equipo en caso de averías; y la posibilidad de agregar una fotografía del equipo, lo cual complementa visualmente el reporte, contribuyendo a una verificación visual de posibles daños.

La implementación del formulario digital facilitó el flujo de información y mostró mejoras en la trazabilidad y gestión de los equipos del laboratorio. Al comparar esta metodología con la documentación en papel o bases de datos desactualizadas, se observó una mejora significativa en la precisión y disponibilidad de datos, debido a que la información se registró y almacenó instantáneamente. A pesar de estos beneficios, también se identificaron limitaciones, tales como la dependencia de la conectividad a internet para el correcto funcionamiento del formulario y la posibilidad de pérdida de datos, si el formulario no se completa de manera adecuada. Para abordar estas limitaciones, se recomendó considerar una plataforma con mayor integración de datos, o el uso de aplicaciones que permitan la recopilación de datos offline, almacenándolos temporalmente hasta restablecer la conexión.

Para generar el dashboard que permita la observación de los datos capturados a través del formulario, se utilizó el visualizador de respuestas de Google forms, el cual provee una interfaz gráfica que facilita el análisis intuitivo y detallado de la información, mediante una visualización general de respuestas (Figura 8). Este, muestra un resumen de la cantidad total de formularios llenados, permitiendo conocer el número de registros realizados en un periodo determinado, facilitando el control y seguimiento de la frecuencia de uso de los equipos y picos de actividad.

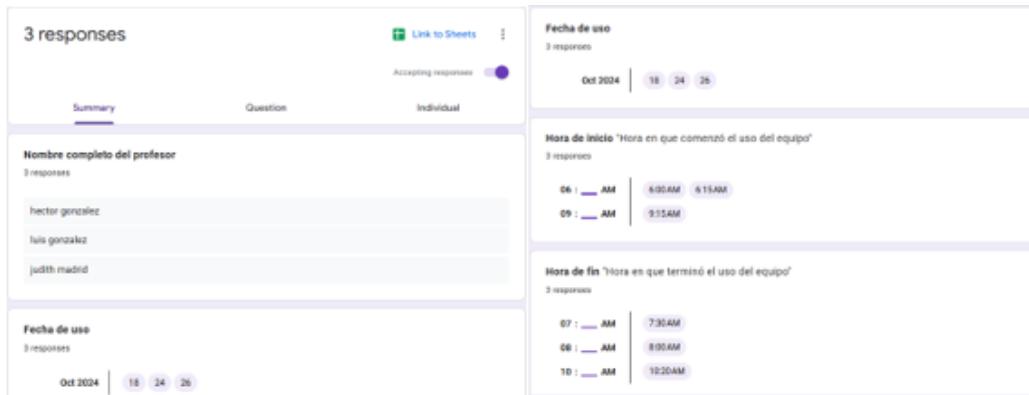


Figura 8. Visualización general de respuestas

Adicionalmente, se proporcionó una representación gráfica de los equipos utilizados (Figura 9), lo cual permitió identificar aquellos que tienen un uso más intensivo, siendo esta información crucial para priorizar el mantenimiento de equipos críticos y la toma de decisiones informadas respecto a la rotación y distribución de activos dentro del laboratorio.

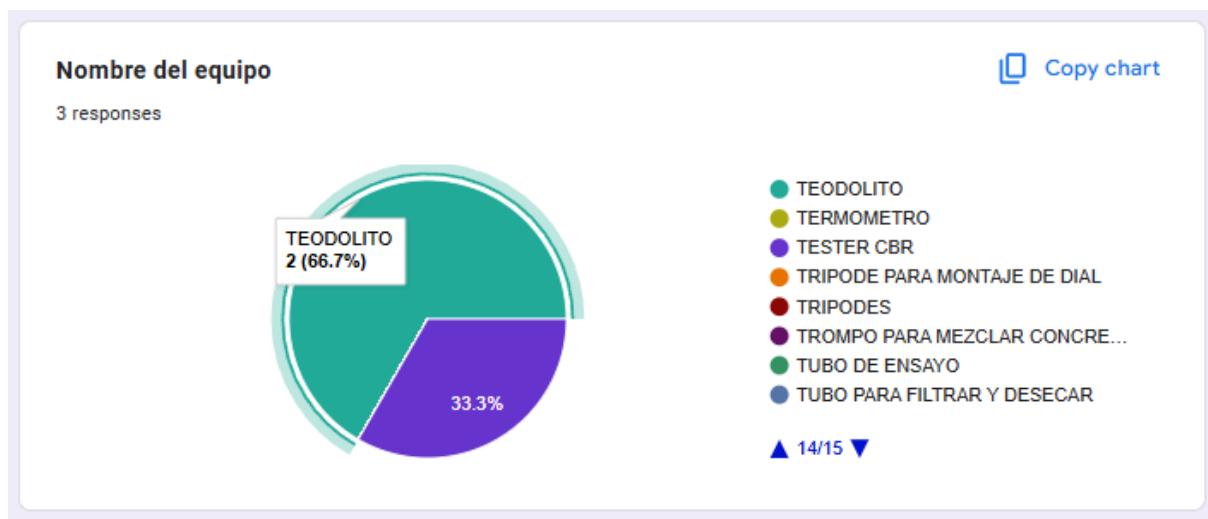


Figura 9. Gráfico de distribución por equipos

De igual forma, se obtuvieron gráficos (Figura 10) que permitieron comparar la condición inicial y final de los equipos, lo cual ayuda a identificar tendencias de deterioro o identificar equipos con problemas recurrentes, sugiriendo posibles intervenciones preventivas o correctivas, lo cual contribuirá a minimizar el tiempo de inactividad de los equipos.



Figura 10. Condiciones previas y posteriores de los equipos

El panel permitió visualizar las respuestas individuales de cada pregunta del cuestionario, permitiendo un análisis detallado de cada respuesta suministrada, esta función es de mucha utilidad, ya que permite identificar los tipos específicos de fallas en los equipos, además de ayudar al seguimiento de los reportes, facilitando un análisis individual y mejorando la trazabilidad del uso y reporte de problemas (Figura 11).

Descripción de defectos o fallos (s... defect...)

12 of 14

Descripción de defectos o fallos (si los hubiera) "Si el equipo presenta defectos, describelos brevemente"

el equipo presento un tornillo aislado

1 response

las baterias de agotaron

1 response

**Figura 11. Análisis detallado por respuestas**

La capacidad de descarga de todas las respuestas en hojas de cálculo, proporciona una ventaja significativa al permitir realizar el análisis offline más avanzado y personalizado de los datos, como tendencias a lo largo del tiempo, agrupaciones de fallas recurrentes, análisis de frecuencia de uso por equipo, y otros estudios que requieran un procesamiento más detallado (Figura 12).

Timestamp	Nombre completo del profesor	Fecha de uso	Hora de inicio	Hora en que comenzó el uso	Hora de fin	Hora en que terminó el uso del	Nombre del equipo	Tipo de equipo "si aplica"	Marca
1 10/25/2024 9:22:35	hector gonzalez	26/10/2024	6:00:00 a. m.		8:00:00 a. m.		TEODOLITO	ELECTRONICO	TOPO
2 10/25/2024 19:25:40	luis gonzalez	24/10/2024	6:15:00 a. m.		7:30:00 a. m.		NIVEL	AUTOMATICO	TOPO
3 10/25/2024 19:28:10	judith madrid	18/10/2024	9:15:00 a. m.		10:20:00 a. m.		TEODOLITO	ELECTRONICO	TOPO

**Figura 12. Exportación de datos en Excel**

La implementación del visualizador de respuestas de Google forms, mostró ser una herramienta accesible y útil para el análisis y monitoreo en tiempo real de los datos de uso y estado de los equipos. Una limitación importante de esta implementación es la falta de personalización y opciones avanzadas en comparación con un dashboard de ArcGIS Online. La visualización del Google forms es básica y no permite personalizaciones complejas, para mejorar esto en futuras investigaciones es recomendable evaluar opciones que permitan integrar este formulario con otras plataformas de visualización que contribuyan a generar notificaciones automáticas ante cambios en el estado de los activos.

## Conclusiones

Se estableció una metodología para la recolección de información, donde el jefe de laboratorio y los profesores responsables mantuvieron una documentación de los activos del laboratorio a través de fichas técnicas almacenadas en plantillas PDF y, posteriormente, analizadas en hojas de cálculo. También se observó la ausencia de una codificación interna para los activos, lo que complicó su seguimiento y gestión. Estos hallazgos demostraron la necesidad urgente de implementar estrategias de gestión de activos más robustas, incluyendo programas de mantenimiento preventivo y correctivo, junto a la creación de un sistema de codificación interna.

Se logró crear un flujo de trabajo que permitió agregar los datos de los activos del laboratorio dentro de la base cartográfica del campus universitario, contribuyendo a una gestión más accesible y dinámica de los activos y facilitando la actualización de los datos involucrados en la gestión de laboratorio. Las implicaciones de estos hallazgos destacan la importancia de utilizar herramientas SIG para una gestión eficiente de activos, sugiriendo que futuras investigaciones podrían explorar la integración de más funciones avanzadas de SIG y el uso de tecnologías emergentes para mejorar aún más la precisión y eficiencia de la gestión de activos. Debido a las labores de reacondicionamiento del laboratorio se requirió de una actualización en el ArcGIS Online de los activos al finalizar estas labores, también se observó una diferencia de resolución entre el ArcGIS ArcMap de escritorio y ArcGIS Online, causando ligeros desajustes en la ubicación de puntos, las cuales deberán ser abordadas en futuras implementaciones, para asegurar la precisión y eficiencia de la gestión de activos. De tal manera que, el flujo de trabajo implementado proporcionó una base sólida para la gestión eficiente de los activos del laboratorio.

Se generó una estrategia efectiva para la recopilación de datos en tiempo real en el laboratorio para la gestión de activos, permitiendo crear un registro confiable de las condiciones de los mismos. Este proceso también contribuyó a una planificación de mantenimiento más estructurada, lo cual es crítico para mejorar la vida útil de los equipos y garantizar su disponibilidad. Para investigaciones futuras, se recomienda explorar el uso de plataformas SIG en combinación con formularios en línea para una integración más completa, considerando también la posibilidad de desarrollar aplicaciones móviles especializadas que simplifiquen el proceso de registro y minimicen la posibilidad de errores de ingreso manual.

El uso del visualizador de Google forms para tener un panel de gestión de activos en el Laboratorio de Materiales y Suelos demostró ser una solución práctica y funcional que cumplió los requerimientos de monitoreo y análisis básico en tiempo real. Aunque esta herramienta tuvo limitaciones en términos de personalización avanzada, proporcionó una base sólida y accesible para la gestión de activos en entornos académicos, permitiendo el seguimiento continuo de los equipos y facilitando la planificación del mantenimiento.

Los resultados demostraron que la implementación de un SIG mejora significativamente la gestión de los activos del laboratorio, permitiendo una recopilación, validación y almacenamiento de datos detallados de manera eficiente y precisa mediante la integración de herramientas como ArcGIS ArcMap, ArcGIS Online y Google forms, optimizando la toma de decisiones y el mantenimiento preventivo, mediante una visión integral y actualizada de los activos, garantizando que la información sea accesible y fácilmente actualizable, aunque también se requiere una mejora continua y ajustes para optimizar el sistema y abordar las limitaciones identificadas, por lo que esta investigación sienta un precedente valioso para la gestión de activos en entornos académicos, ofreciendo un modelo replicable y adaptable a otros contextos similares.

## Referencias bibliográficas

- [1] Y. Quevedo, M. Romero, “Sistema de reporte y gestión geográfica de incidencias CILUZ (Campus Inteligente de la Universidad del Zulia)”. Universidad del Zulia 2023.
- [2] M. Medina, W. Cantuca, F. Bautista, “Implementación de metodología para la gestión de activos aplicada a la empresa IMCO soluciones SAS”. Trabajo de Grado, Univ. Piloto de Colombia, Fac. Cs. Sociales y Empresariales, Bogotá, Colombia, 2018. [En línea]. Disponible en: <http://polux.unipiloto.edu.co:8080/00004398.pdf>
- [3] G. Ruz, “Diseño y propuesta de un dashboard para el control de gestión del Departamento de Estudios de la Empresa Constructora BELTEC”. Tesis de Ing. Civil Industrial, Univ. Universidad Andrés Bello, Viña del Mar, Chile, 2019. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.unab.cl/xmlui/handle/ria/10943>
- [4] D. Barrera, “Mantenimiento y su importante rol en la gestión de activos dentro de una empresa del sector de la construcción de infraestructura vial”. Tesis Esp. en Gestión de activos, Univ. Antioquia, Fac. Ingeniería, Medellín, Colombia. 2022. [En línea]. Disponible en: <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/server/api/core/bitstreams/b3e1661d-d342-4901-b82a-a20776c84fbc/content>

[5] C. Rojas, “Diseño de un sistema de gestión de mantenimiento para la empresa laboratorio óptico topex S.A.”. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 2017.

[6] J. Arias, J. Holgado, T. Tafur, M. Vásquez, “Metodología de la investigación: El método ARIAS para realizar un proyecto de tesis”. Primera edición. Perú: Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi, Perú S.A.C. 2022. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.35622/inudi.b.016>

# **Plan de implementación de mantenimiento productivo total para una fábrica de helados cremosos del estado Táchira, Venezuela**

*Total productive maintenance implementation plan for an ice cream factory in Táchira State, Venezuela*

**Yoliger S. Delgado-Labrador**

Universidad Rafael Urdaneta, Decanato de Posgrado e Investigación, Maestría en Gerencia de Mantenimiento. Maracaibo, Venezuela.

 <https://orcid.org/0009-0007-0650-0662> | Correo electrónico: [yoligersarahy2@gmail.com](mailto:yoligersarahy2@gmail.com)

**Fernando I. Inciarte-González**

Universidad Rafael Urdaneta, Decanato de Posgrado e Investigación, Maestría en Gerencia de Mantenimiento. Maracaibo, Venezuela.

 <https://orcid.org/0009-0009-6415-9022> | Correo electrónico: [finciarte@gmail.com](mailto:finciarte@gmail.com)

Recibido: 18/06/2025 Admitido: 08/07/2025 Aceptado: 00/00/0000

## **Resumen**

En el contexto actual, donde la industria es cada día más competitiva, es importante adoptar filosofías que permitan generar la mayor rentabilidad a las empresas, y a su vez, mantener un buen clima organizacional. Es por ello que en el presente trabajo se propone un plan de mantenimiento productivo total (TPM) en una fábrica de helados cremosos del estado Táchira, Venezuela. Para ello, se diagnosticó el estado actual del Departamento de Mantenimiento, a través de encuestas que midieron el conocimiento y aplicación de las buenas prácticas de trabajo, se estudiaron las principales causas de las pérdidas de producción, así como también se evaluaron los factores internos y externos que intervienen en la puesta en marcha del plan. También se plasmaron los pasos necesarios para el fortalecimiento de cada pilar del TPM, siendo de gran importancia la capacitación del personal y la creación de estándares de mantenimiento y seguridad. Como resultado, se obtuvo un plan detallado para la implementación del mantenimiento productivo total en la empresa Inversiones La Cascada C.A, donde se estima que su ejecución requerirá de un tiempo estimado de 26 semanas, para lo cual es necesario que se involucren todas las partes interesadas, a fin de alcanzar el éxito durante su futura puesta en marcha.

**Palabras clave:** Mantenimiento productivo total, Plan de mantenimiento, Gestión de mantenimiento, Fábrica de helados, TPM.

## **Abstract**

*In the current context, where the industry is increasingly competitive, it is important to adopt philosophies that allow companies to generate maximum profitability while maintaining a positive organizational climate. Therefore, this paper proposes a Total Productive Maintenance (TPM) plan for a soft-serve ice cream factory in Táchira, Venezuela. To this end, the current state of the Maintenance Department was diagnosed through surveys that measured knowledge and application of good work practices. The main causes of production losses were studied, and the internal and external factors involved in the plan's implementation were evaluated. The necessary steps to strengthen each TPM pillar were also outlined, with staff training and the creation of maintenance and safety standards being of great importance. As a result, a detailed plan was obtained for the implementation of total productive maintenance at Inversiones La Cascada C.A. It is estimated that its execution will require an estimated 26 weeks. This requires the involvement of all stakeholders to ensure successful implementation.*

**Keywords:** Total productive maintenance, Maintenance plan, Maintenance management, Ice cream factory, TPM.

## Introducción

Según Amendola [1], el término mantenimiento productivo total (TPM) fue definido en primera instancia por el Instituto Japonés de Ingenieros de Plantas en 1971, implementándose inicialmente en la industria automotriz. Un TPM, se basa en implantar el mantenimiento autónomo por parte de los operarios de máquinas e instalaciones, con el objetivo de crear una cultura estimulante y motivadora que fomente el trabajo en equipo y la motivación del personal.

La importancia de esta investigación radica en la necesidad de adoptar técnicas y herramientas de trabajo que faciliten los procesos del Departamento de Mantenimiento de las empresas manufactureras, impactando positivamente en áreas como finanzas, logística y producción. Un TPM combate las principales debilidades de una organización permitiendo aumentar la eficiencia de los equipos, disminuir los tiempos de ocio y pérdidas materiales, entre otros.

En investigaciones recientes, Anaya [2], diseñó una propuesta de TPM, donde aportó técnicas y procedimientos para la detección de las fortalezas y debilidades de los trabajadores frente a los pilares de la metodología, dando como resultado un plan maestro de acciones. Mientras que, Moreira [3], analizó el contexto actual del área de estudio, y aplicó las fases de preparación, introducción, implantación y consolidación del TPM, para mejorar la eficiencia, disponibilidad y productividad después de su implementación.

El principal desafío de esta filosofía, es lograr la participación de todos los miembros de la organización en las labores de mantenimiento, requiriendo la aceptación y la comprensión de todas las partes para superar la resistencia al cambio y alcanzar una implementación efectiva.

A nivel regional, las características económicas y demográficas pueden plantear retos adicionales en la gestión de mantenimiento, como la disponibilidad de recursos y la logística. En el caso de Inversiones La Cascada C.A., una empresa de helados cremosos en Táchira, se enfrentan desafíos especiales debido a la poca disponibilidad en el sector, de personal capacitado para planificar y ejecutar las actividades de mantenimiento a equipos de refrigeración y congelación.

En esta línea de ideas, la falta de un plan de mantenimiento puede llevar a problemas como la reducción de la vida útil de los activos, alta rotación de personal, costos excesivos y gestión ineficiente del Departamento de Mantenimiento. Sin duda, esto sustenta la necesidad de proponer un plan de mantenimiento productivo total para el proceso productivo de una fábrica de helados cremosos del estado Táchira, que incluya un diagnóstico del estado actual de las actividades de mantenimiento, los métodos necesarios para su implementación y el diseño final del plan.

## Metodología

La investigación realizada tuvo un enfoque mixto, de acuerdo a Hernández, Fernández y Baptista [4], ya que se recolectaron datos cuantitativos sobre métricas clave de desempeño, como tiempo de inactividad de la máquina y porcentajes de desperdicio, junto con datos cualitativos sobre la percepción de los empleados acerca de los procesos, productos y mantenibilidad, y además, sobre la cultura organizacional relacionada con TPM. Por otro lado, según Hurtado [5] la investigación se corresponde con el tipo descriptiva, puesto que busca caracterizar el contexto operacional de la empresa, y también posee un enfoque holístico proyectivo, debido a que el alcance del tema es una propuesta que no va a llegar a la fase de aplicación.

En cuanto al diseño de la investigación, es importante destacar que es no experimental, puesto que no se manipulan las variables. Del mismo modo, según Hurtado [5] el diseño es transeccional y de campo, ya que los datos se recopilaron por observación directa de la realidad de la empresa en un momento dado. La unidad de análisis estudiada según Hurtado [5], fue el proceso productivo de Inversiones La Cascada C.A., dado que se van a generar conclusiones con base en los procesos asociados a las ocho líneas de producción, en donde laboran 54 empleados. El procedimiento a seguir en esta investigación consta de tres fases, en la Figura 1 se muestra el desglose general de actividades y su correspondencia con los objetivos planteados.

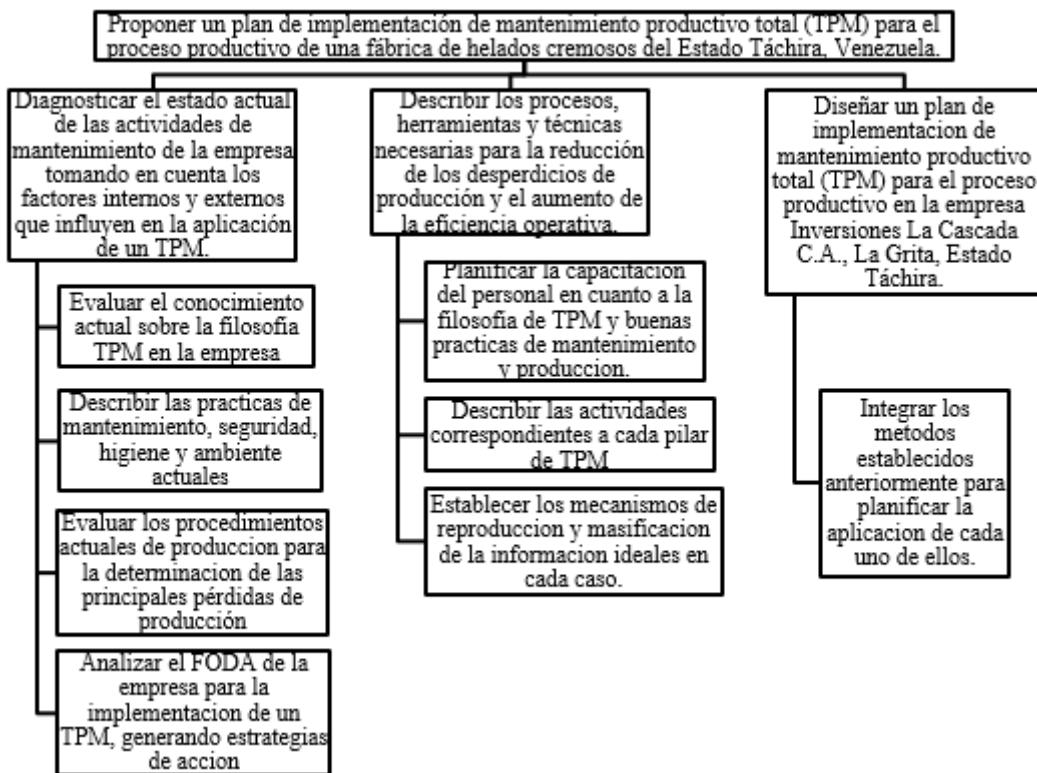


Figura 1. Diagrama de desglose de actividades

En cuanto a la primera fase, correspondiente al diagnóstico de la situación actual, se utilizaron varios instrumentos para su prosecución. En primer lugar, de acuerdo a lo establecido por Hernández, Fernández y Baptista [4], se realizó una encuesta que buscó indagar sobre el conocimiento y nivel de ejecución de los conceptos relacionados a los ocho pilares de TPM. Esta encuesta fue aplicada a seis técnicos de mantenimiento, cinco jefes de departamento y 15 operadores de maquinarias, para un total de 26 encuestas respondidas. La encuesta constó de 10 secciones principales, con un total de 76 ítems distribuidos como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Secciones de la encuesta para el diagnóstico de estado actual

Nº	Sección	Ítems
1	Aspectos gerenciales	10
2	Mejora enfocada	5
3	Mantenimiento autónomo	9
4	Mantenimiento planeado	6
5	Capacitación de personal	6
6	Prevención de mantenimiento	5
7	Mantenimiento de calidad	5
8	Mantenimiento de áreas de soporte	5
9	Seguridad, higiene y ambiente	5
10	Filosofía 5S	20

En segundo lugar, la encuesta se sustentó con la observación directa, según lo indicado por Hurtado [5]. Mediante una recopilación fotográfica se determinó la disposición de los objetos, limpieza de áreas de trabajo, así como también el funcionamiento de los equipos y buenas prácticas de trabajo. En tercer lugar, se realizó

una revisión documental de los informes de producción, mantenimiento y calidad [5], con el fin de establecer las causas más comunes de desperdicios y productos no conformes, utilizando un diagrama de Pareto. Por último, se establecieron áreas de mejora a través de un FODA, en el cual se identificaron los factores internos: fortalezas y debilidades, y factores externos: oportunidades y amenazas, según lo establecido por Sánchez [6].

La información recopilada sirvió para tener una idea acerca de los pilares de TPM que presentaron mayor deficiencia, y con ello poder abordar efectivamente la fase dos de esta metodología, la cual correspondió a la descripción de los métodos para disminuir las deficiencias de producción relacionadas con el mantenimiento; para lo cual, en primera instancia se planteó un programa de capacitación para el personal de la empresa, donde se detallaron los temas a tratar, beneficiarios, responsables y fechas tentativas, así como también, la técnica utilizada y la duración de cada sesión.

En segunda instancia, se describieron los planes a cumplir en cada uno de los ocho pilares de un TPM. Con este fin se crearon tablas de trabajo donde se indica la actividad a cumplir, el responsable, los recursos necesarios, la frecuencia y el tiempo para su ejecución. Finalmente, se formalizaron los canales para la masificación de la información que surja durante la implementación, siendo necesario usar métodos formales como correos electrónicos, informales como mensajes directos, e impersonales como carteleras informativas y charlas grupales. Concluyendo con la fase tres, donde se integraron todas las actividades previas en un plan de mantenimiento productivo total.

## Resultados

En este apartado se presentan los resultados del trabajo realizado, abarcando desde el diagnóstico de la situación actual hasta la presentación del plan de mantenimiento productivo total integrado.

### Diagnóstico de la situación actual

Luego de aplicar la encuesta diseñada para indagar acerca del conocimiento de las diferentes aristas que engloban un TPM y el nivel de aplicación de los mismos, se realizó un promedio aritmético de las respuestas y se obtuvieron los resultados reflejados en la Figura 1, en la que se puede apreciar que se estableció como meta un 50% de conocimiento y solo dos de las categorías lograron este nivel de aceptación, siendo éstas la prevención del mantenimiento (50,66%) y la categoría relacionada con seguridad, higiene y ambiente (53,33%).

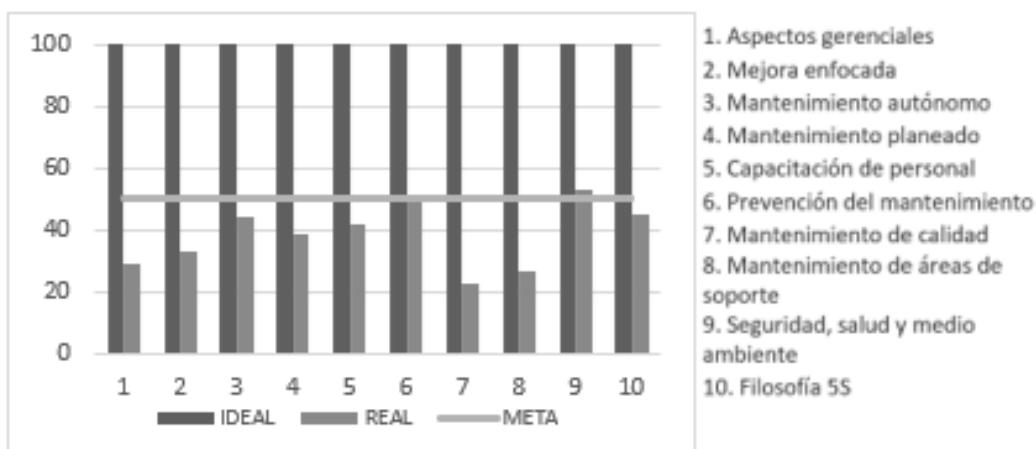


Figura 1. Diagnóstico de situación actual de la empresa

Por otra parte, el resto de las categorías presentaron grandes deficiencias, siendo las más afectadas las referentes a los conocimientos gerenciales sobre TPM (29,33%), mejora enfocada (33,33%), mantenimiento de calidad (22,66%) y mantenimiento de áreas de soporte (26,67%). Esto se debió a que la mayoría de

mantenimientos efectuados en la empresa corresponden a mantenimientos correctivos y rutinarios, por lo que el conocimiento acerca del TPM es bastante pobre, y no existe una adecuada capacitación del personal.

Específicamente, dentro de la categoría referente a la Filosofía 5S, la cual es una metodología definida por Montilla [7], existe una subdivisión en donde se aprecia la misma tendencia, en la que se conocen los conceptos, pero no se multiplica la información ni se aplica correctamente, obteniendo los siguientes resultados: clasificar 50%, ordenar 40%, limpiar 55%, estandarizar 31,66%, y disciplina 48,33%.

Esto hace evidente que incluso, cuando los trabajadores poseen gran disposición a mantener las áreas en buen estado, existe falta de orientación, motivación y estructura para llevar a cabo las actividades. De tal forma que, es necesario aplicar planes que eleven el conocimiento técnico, teórico y práctico sobre las mejores prácticas dentro del Departamento de Mantenimiento y su relación con la producción, que involucren desde la gerencia hasta el personal de apoyo.

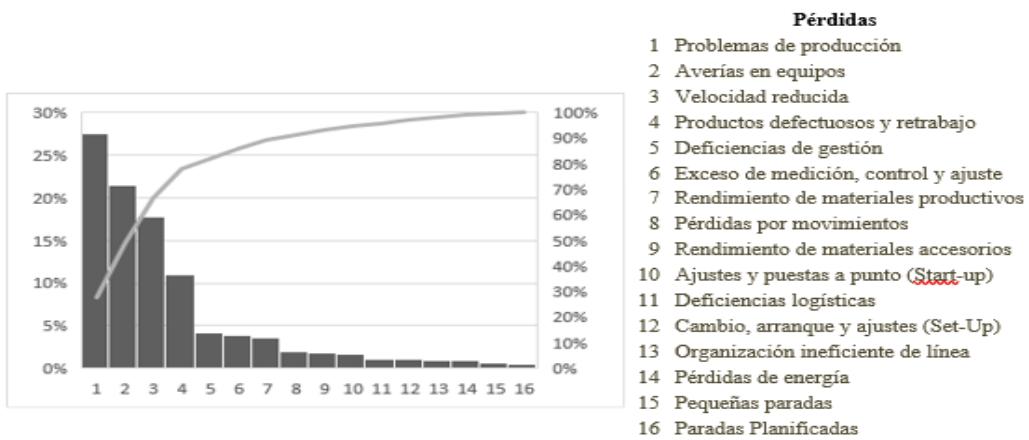
Asimismo, se realizó una recopilación fotográfica que soporta y es congruente con los resultados previos, un resumen se presenta en la Figura 2, en donde se puede apreciar que las áreas están limpias, pero no están debidamente clasificadas y estandarizadas, según el uso de cada una de ellas, observándose también objetos fuera de lugar.



**Figura 2. Recopilación fotográfica estado de áreas de trabajo**

Por otra parte, al realizar la revisión de los historiales de equipos y reportes de producción se clasificaron las pérdidas de producción en 16 grandes categorías identificadas en la Figura 3, así como lo indica Shupingahua [8], quien evaluó el impacto económico de las mismas y su incidencia en tiempo improductivo; para esto se ordenaron de mayor a menor, con la finalidad de detectar cuáles eran las que tenían más impacto.

De esta forma, se puede apreciar claramente que los problemas durante la producción (27,61%), las averías de equipos (21,45%), la operación de los mismos a velocidad reducida (17,78%) y los productos defectuosos y retrabajo (11%), siendo estos últimos, cremas de reprocesso, empaques mal sellados, producto fuera de especificaciones u otros; son los que tienen mayor incidencia en las pérdidas de producción (Figura 3).



**Figura 3. Diagrama de Pareto: Pérdidas que afectan la productividad de la empresa**

De esta manera, se cumple claramente el principio de 80-20 propuesto por Pareto, siendo en este caso un 25% de las causas, las que producen el 77,84% de las consecuencias. Este análisis es importante ya que fortalece los resultados previos, indicando que las mayores falencias se encuentran en la estandarización de los procesos y la mejora de los planes de mantenimiento.

### Análisis FODA

Con base en los datos recopilados, se realizó un análisis FODA, donde se plantearon los problemas que afectan actualmente la productividad de la empresa, así como también las herramientas y cualidades que se poseen para lograrlo, dando como resultado la Tabla 2. Es evidente, que los factores humanos son de especial importancia para que un TPM pueda implementarse correctamente, debido a que el personal debe sentirse motivado y en disposición de lograr los cambios necesarios. Es por ello, que debe incluirse dentro del plan la motivación del personal para que se involucren y apropien de los cambios generados.

**Tabla 2. Análisis FODA para TPM de Inversiones La Cascada**

MATRIZ FODA	Factores internos	FORTALEZAS	DEBILIDADES
		<ol style="list-style-type: none"> <li>Compromiso de la gerencia</li> <li>Recursos para aplicación de mejoras</li> <li>Personal comprometido</li> <li>Buena reputación empresarial</li> <li>Equipos de trabajo adecuados</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>No hay softwares especializados</li> <li>Resistencia al cambio</li> <li>Alta rotación del personal operativo</li> <li>Gestión de calidad deficiente</li> <li>Mecanismos de recompensa deficientes</li> </ol>
OPORTUNIDADES	Estrategias FO	Estrategias DO	
1. Aspectos climáticos óptimos 2. Baja competencia local 3. Acceso a importación de materias primas 4. Acceso a nuevas tecnologías 5. Posibilidad de innovación en productos	F4 O2 Aumentar producción aprovechando la buena reputación y la baja competencia F5 O3 Mejorar la calidad de los productos importando la materia prima adecuada para la maquinaria disponible	D1 O4 Implementar un software de gestión adaptado a la empresa D4 O5 Mejorar los productos en base a los requerimientos del mercado	
AMENAZAS	Estrategias FA	Estrategias DA	
1. Escaso personal de adiestramiento en la zona 2. Mala eficiencia energética 3. Situación país no es motivante 4. Ubicación geográfica poco estratégica para logística 5. Cultura local	F1 A1 Aprovechar el compromiso de la gerencia para fomentar adiestramiento con facilitadores externos F3 A2 Planificar la producción en base al aprovechamiento de las horas productivas	D5 A3 Optimizar los mecanismos de recompensa para motivar al personal D2 A5 Fomentar el mejoramiento continuo del personal para hacerles entender los beneficios de las mejores prácticas de trabajo.	

Adicionalmente, se puede apreciar que se establecieron estrategias haciendo uso de los factores internos y externos, observando que el TPM se ajusta en gran medida a las necesidades de la empresa, debido a que es una filosofía que busca la capacitación y empoderamiento del personal, y en adición a ello se cuenta con suficientes recursos para ponerlo en práctica.

### **Procesos, herramientas y técnicas necesarias para mejorar eficiencia operativa**

De modo general, se identificaron los recursos necesarios para la implementación del plan, dentro de los que se encuentran: sala de conferencias, acta de conformación, contrataciones y consultoría, material audiovisual, proyectores y sistemas de evaluación.

#### **Plan de actividades preliminares**

En las fases preliminares, el plan engloba la declaración oficial por parte de la alta gerencia sobre el inicio del plan, la promoción del TPM entre los trabajadores y levantamiento de información; definición de las personas involucradas en el proceso, como es el caso del líder del proyecto TPM, quien debe poseer características de líder nato y que genere confianza y motivación entre los demás participantes; conformación de los comités integrados por pilares y grupos funcionales por áreas de producción, y personal de contacto con otros departamentos de apoyo. Por otro lado, se debe realizar la definición del plan de capacitaciones, entrenamiento y desarrollo del personal periódicamente y la sensibilización frente al TPM. Este plan tiene una duración estimada de seis semanas.

#### **Plan de 5S**

En este caso, el plan 5S tiene un tiempo estimado de 19 semanas con el fin de volverse parte de la rutina de cada trabajador, el cual se subdivide como se muestra a continuación:

**Clasificar:** La finalidad es promover que todos los insumos estén ordenados bajo un criterio de priorización según su uso, para ello se propone la elaboración de un listado de los artículos, equipos, herramientas y materiales necesarios para las actividades operativas, clasificación de elementos según su uso, naturaleza o propósito y desechar todo lo que no sea de utilidad en las tareas del área, con ayuda de las denominadas “tarjetas rojas” (Tabla 3).

**Tabla 3. Contenido de la tarjeta roja para clasificar**

Tarjeta roja		Nº		
Nombre del artículo				
Tipo de artículo	Materia prima	Motivo	Inservible	
	Herramienta		No es necesario	
Máquina			Material contaminante	
Equipo			Revisar artículo	
Utensilio			Eliminar	
Producto terminado			Transferir a otra área	
Ubicación				
Cantidad				
Responsable				

**Ordenar:** En este caso se pretende promover el orden de las áreas de trabajo, bajo criterios de fácil acceso y manipulación, es por ello que se propone determinar las áreas de trabajo con su respectiva ubicación de materiales para el proceso, delimitar los espacios de paso continuo de personas y equipos, y la divulgación de estas actividades a los demás trabajadores. Esto se realiza bajo estándares internacionales, donde el amarillo corresponde a celdas de trabajo, el azul, verde y negro se corresponden con la materia prima, trabajos en proceso y productos terminados respectivamente; el rojo para productos defectuosos o de eliminación y rojo con blanco, corresponde a zonas que deben permanecer libres por motivos de seguridad y normativa.

**Limpieza:** Con ello se busca garantizar espacios y zonas de trabajo limpias, para esto se realiza la identificación de agentes contaminantes, se incita la limpieza como parte del proceso productivo y que debe realizarse antes, durante y después de las actividades de rutina. Con este fin, debe tenerse disponible suficientes materiales e insumos de limpieza diariamente.

**Estandarización:** Se refiere a realizar la documentación de procesos necesaria para estandarizar la metodología de las anteriores S; es decir, generar diagramas de flujo, manuales de trabajo y listas de verificación que permitan asegurar la correcta implementación de los pasos anteriores.

**Mejora continua:** En esta etapa se verifica constantemente la aplicación de las primeras 4S y se hacen evaluaciones constantes que permitan asegurar el compromiso del personal y eliminar las desviaciones con el debido proceso para asegurar la disciplina en esta filosofía.

### **Plan de mejoras enfocadas**

En este plan, se destaca la socialización de las principales causas de pérdidas de producción por equipo a la cuadrilla de trabajo, se aplican técnicas de troubleshooting para el diagnóstico y resolución de problemas, la implementación de dispositivos de monitoreo de parámetros de operación para consulta de operador, reunión semanal de grupos funcionales para analizar fallas, averías y pérdidas; validación de paros por turnos, divulgación de eficiencia operacional, Pareto de fallas y diagrama de comunicación de mantenimiento y producción para el reporte de averías de las áreas. Para lograr esto, se requieren recursos específicos como folletos, documentación técnica, AMEF y evidencias de fallas, en un tiempo estimado de seis semanas.

### **Plan de mantenimiento autónomo**

Para este particular, se planea un contacto directo entre operador y mantenimiento, y se propone la identificación de rutas de inspección y limpieza, elaboración y divulgación de procedimientos de operación y mantenimiento, validación e implementación de listas de verificación pre-operacionales, equipos en operación y detenidos, rutas y reportes de inspección por áreas con equipos en operación, equipos detenidos, lubricación y novedades, rotulación de equipos, identificación de puntos de lubricación con características técnicas de grasa y cantidades, identificación de variables de operación y auditorias de mantenimiento autónomo. Los recursos necesarios para este plan, son manuales, instructivos e informes técnicos de los equipos, así como también equipos de cómputo, a desarrollar en un tiempo estipulado de ocho semanas para su prosecución.

### **Plan de mantenimiento preventivo y correctivo**

Este plan incluye la definición de comité de intervenciones, divulgación del plan de mantenimiento por equipo y de los indicadores de operación y mantenimiento, cumplimiento de actividades correctivas y preventivas, aplicación de técnicas predictivas, planificación de mediciones y ajuste de los equipos, seguimiento a equipos y variables en alerta, gestión de la información, monitoreo de condiciones, consolidación de data de equipos, definición de método de análisis de criticidad y reporte de novedades en los equipos. Para este fin, se requiere de manuales, instructivos, informes técnicos y diagramas de flujo de los equipos, y se planea llevarlo a cabo en ocho semanas.

### **Plan de capacitación de personal**

Con esta finalidad, se plantearon distintas capacitaciones constantes en tópicos como conceptos básicos y socialización de 5S, manufactura esbelta, equipos y operación, manual de procesos y técnicas de trabajo, mejoramiento de equipos y procesos, técnicas utilizadas en el TPM, análisis de modos de falla, estándares de limpieza, lubricación e inspección, tribología, habilidades blandas, actividades autónomas y operativas, protocolo de atención de emergencias y técnicas predictivas. Esto debe realizarse mediante charlas semanales o quincenales, con una duración máxima de dos horas a la semana dentro del horario laboral del trabajador. Se planea que la capacitación tenga una duración de veinte semanas.

## **Plan de prevención del mantenimiento**

Se realiza con la finalidad de reducir el consumo energético de la planta y optimizar las actividades del Departamento de Mantenimiento, para lo cual se propone elaborar una matriz energética de la planta, realizar balances de masa por áreas, estandarizar trabajos de mantenimiento y operación, crear listas de cotejo de recepción de equipos con acciones correctivas y consolidar las actividades de puesta a punto. Para este inciso, se requiere una base de datos confiable y se pretende una duración de seis semanas.

## **Plan de mantenimiento de calidad**

En este apartado, se busca asegurar que las actividades se realicen bajo estándares y condiciones óptimas, para lo cual se plantea realizar muestreos de productos con ayuda de un plan de calidad, en donde se definen los parámetros de calidad, los cuales en este caso deben basarse en la norma COVENIN 2392-97, generar un plan de manejo de reprocesos por material no conforme y crear los procesos de operación con ayuda de la documentación de procesos necesaria; esto tiene un tiempo estimado de seis semanas.

## **Plan de mantenimiento de áreas de soporte**

Este plan comprende la validación de los perfiles de cargos y análisis de carga de trabajo, socialización de planes de comunicación estratégica, implementación de tablero de indicadores, ajuste en tiempo y prioridad de actividades, adaptación de un sistema administrativo que incluya el Departamento de Mantenimiento, creación de plan de recompensas basado en indicadores. Para este plan se tiene un tiempo programado de 10 semanas.

## **Plan de seguridad, higiene y medio ambiente**

En el mismo, se contempla el cálculo de huella hídrica y de carbono, campaña de uso eficiente de recursos, planes de uso racional de agua y energías, compensación, control de emisiones, reutilización de residuos, divulgación de planes y resultados, desarrollo de plan post consumo de compras y auditorías internas. El tiempo aproximado para este plan es de 10 semanas.

## **Canales de comunicación**

**Presentaciones:** Se manejarán en caso de capacitaciones, en donde además del conocimiento aportado, se aprecie la retroalimentación que pueda surgir de parte de todos los asistentes.

**Reuniones:** Se utilizará para transmitir información de interés, y también en las ocasiones donde se necesite evaluar desempeños, intercambiar ideas y crear estrategias en conjunto.

**Tablero TPM:** Se publicará toda la información concerniente al seguimiento de implementación de TPM, así como resúmenes didácticos de las capacitaciones, asignaciones, organigramas y decisiones derivadas de las reuniones.

**Correo electrónico:** Se trata de un canal de información formal, a través del cual se gestionarán las tareas y se hará seguimiento de los procesos de manera diaria, sobre todo en aquellos casos en donde se necesite respaldo.

**Mensajería instantánea:** Se le dará uso para convocatorias y para transmitir información y asignar tareas, haciendo énfasis en los casos en donde se necesite agilizar procesos e intercambio de mensajes en tiempo real.

**Software administrativo:** Se usará especialmente para asignación y seguimiento de actividades, generación de reportes y gestión de procesos.

## Plan integrado de TPM

La integración de todos los planes previamente planteados se evidencia en la Tabla 4, donde se solapan los tiempos debido a que hay actividades que se realizan en simultaneo, porque se realizan por equipos de trabajo diferentes, supervisadas por el líder del TPM.

**Tabla 4. Cronograma para la implementación del plan de TPM**

ACTIVIDAD	SEMANA																										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
Plan de actividades preliminares	1	2	3	4	5	6																					
Declaración oficial de la alta dirección																											
Promoción del TPM con actividades en área piloto																											
Conformación de subcomités integrados por pilares																											
Definición de plan de capacitaciones																											
Definición plan de entrenamiento y desarrollo del personal																											
Capacitación sobre conceptos básicos del TPM																											
Charlas semanales de sensibilización frente al TPM																											
Conformación de grupos funcionales por áreas de producción																											
Levantamiento de información																											
Plan de mejoras enfocadas															5	6	7	8	9	10							
Socialización de árbol de causas de pérdidas por equipo en cuadrilla															5	6											
Troubleshooting para diagnóstico y resolución de problemas															5	6	7	8									
Implementar dispositivos de monitoreo de parámetros de operación															5	6	7	8									
Reunión semanal para analizar fallas, averías, pérdidas															5	6	7	8	9	10							
Divulgación de eficiencia operacional de las áreas															5	6	7	8	9	10							
Divulgación de Pareto de fallas por áreas															5	6	7	8	9	10							
Validación de paros por turnos en cada área															5	6	7	8	9	10							
Divulgación del diagrama de comunicación y reporte de averías.															5	6	7	8	9	10							
Plan de mantenimiento autónomo															11	12	13	14	15	16	17	18					
Identificación de rutas de inspección y limpieza															11	12	13	14	15	16	17	18					
Elaboración de procedimientos de operación y mantenimiento															11	12	13	14	15	16	17	18					
Divulgación de procedimientos de operación y mantenimiento															11	12	13	14	15	16	17	18					
Validación e implementación de check list preoperacionales															11	12	13	14	15	16	17	18					
Implementación de check list de equipos en operación															11	12	13	14	15	16	17	18					
Rutas de inspección por áreas con equipos en operación															11	12	13	14	15	16	17	18					
Reporte de inspecciones a equipos operacionales															11	12	13	14	15	16	17	18					
Implementación de check list de equipos detenidos															11	12	13	14	15	16	17	18					
Rutas de inspección por áreas de equipos detenidos															11	12	13	14	15	16	17	18					
Ruta de lubricación															11	12	13	14	15	16	17	18					
Reportes de rutas de lubricación y novedades															11	12	13	14	15	16	17	18					
Rotular equipos, identificar puntos de lubricación															11	12	13	14	15	16	17	18					
Auditorias de mantenimiento autónomo															11	12	13	14	15	16	17	18					
Plan de mantenimiento preventivo y correctivo															19	20	21	22	23	24	25	26					
Definición de actividades correctivas por producción															19	20	21	22	23	24	25	26					
Divulgación del plan de mantenimiento															19	20	21	22	23	24	25	26					
Cumplimiento de actividades correctivas															19	20	21	22	23	24	25	26					
Cumplimiento de actividades preventivas															19	20	21	22	23	24	25	26					
Aplicación de técnicas predictivas															19	20	21	22	23	24	25	26					
Consolidación de las actividades preventivas															19	20	21	22	23	24	25	26					

Plan de mediciones y ajuste de los equipos																				21	22	23	24	25	26				
Definición de comité de planeación de intervenciones																				21	22	23	24	25	26				
Socialización del indicador de operación y mantenimiento																				21	22	23	24	25	26				
Plan de seguimiento a equipos y variables en alerta																				21	22	23	24	25	26				
Consolidar data de equipos																				21	22	23	24	25	26				
Definir método de análisis de criticidad de los equipos instalados																				21	22	23	24	25	26				
Reporte de novedades en los equipos																				21	22	23	24	25	26				
Desarrollo de plan de gestión de la información																				21	22	23	24	25	26				
Estrategia para el monitoreo de condiciones																				21	22	23	24	25	26				
Definir indicadores internos y externos de mantenimiento																				21	22	23	24	25	26				
Plan de capacitación del personal	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26									
Entrenamiento 5S	7																												
Entrenamiento Lean Manufacturing	7	8																											
Capacitación sobre equipos y operación	7	8	9																										
Capacitación sobre manual de procesos y técnicas de trabajo	7	8	9	10																									
Introducción al mejoramiento de equipos y procesos	7	8	9	10	11																								
Entrenamiento sobre técnicas utilizadas en el TPM	7	8	9	10	11	12																							
Entrenamiento y certificación sobre análisis de modos de falla	7	8	9	10	11	12	13																						
Capacitación y socialización sobre 5S	7	8	9	10	11	12	13	14																					
Programa de estándares de limpieza, lubricación e inspección	7	8	9	10	11	12	13	14	15																				
Capacitación sobre tribología y certificación	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16																			
Evaluación de habilidades blandas	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17																		
Desarrollo de habilidades blandas	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18																	
Declaración de actividades autónomas y operativas	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19																
Protocolo de atención de emergencias	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20															
Capacitación y certificación a personal en técnicas predictivas	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21														
Entrenamiento al personal sobre pruebas de laboratorio	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22													
Plan de prevención de mantenimiento	7	8	9	10	11	12																							
Elaboración de matriz energética de la planta	7																												
Balances de masa por áreas	7	8																											
Creación de estándar de trabajos de mantenimiento y operación	7	8	9																										
Punch list de recepción de equipos con acciones correctivas	7	8	9	10																									
Consolidación de actividades ejecutadas en la puesta a punto	7	8	9	10	11																								
Plan de mantenimiento de calidad																				13	14	15	16	17	18				
Diseño de plan de muestreo de productos																				13	14	15	16	17	18				
Definición de parámetros de calidad de los productos																				13	14	15	16	17	18				
Plan para manejo de reprocesos por material no conforme																				13	14	15	16	17	18				
Procedimientos de operación																				13	14	15	16	17	18				
Plan de mantenimiento de áreas de soporte	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16																			
Validación de los perfiles de cargos y análisis de carga de trabajo	7																												
Socialización de planes de comunicación estratégica	7	8																											
Implementación de tablero de indicadores	7	8	9																										
Plan de reuniones con áreas de soporte para tiempo y prioridad	7	8	9	10																									
Adaptar un sistema administrativo que incluya mantenimiento	7	8	9	10	11																								
Plan de recompensas basado en indicadores	7	8	9	10	11	12																							
Plan de seguridad, higiene y ambiente	7	8	9	10	11	12	13													17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Plan uso racional de agua y energías	7	8	9	10	11	12	13	14												17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Cálculo de huella hídrica	7	8	9	10	11	12	13	14	15											17	18	19	20	21	22	23	24	25	26

Campaña de uso eficiente de recursos																									
Cálculo de huella de carbono																									
Plan de compensación																									
Plan sobre control de emisiones																									
Divulgación de planes y resultados																									
Desarrollo de plan post consumo de compras																									
Plan de reutilización de residuos																									
Auditorías internas																									
IMPLEMENTACION 5S		8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26					
IMPLEMENTACION CANALES DE INFORMACION		8	9	10	11	12	13	14	15																

Se aprecia que el plan del TPM tiene una duración estimada de 26 semanas, haciendo especial énfasis en reforzar conductas para crear hábitos. Luego de este período se deben fortalecer los conocimientos y supervisar la mejora continua en cada una de las aristas de esta filosofía.

## Conclusiones

En este artículo se propuso un plan que permita implementar el mantenimiento productivo total en la empresa Inversiones La Cascada C.A., de forma tal que la empresa pueda ser competitiva en el sector, actualmente la empresa posee grandes déficits en el conocimiento de conceptos ligados a la filosofía TPM variando entre 22,66% (mantenimiento de calidad) y 53,33% (seguridad, higiene y ambiente), lo cual se refleja en que un porcentaje importante de las pérdidas de producción está ligado a problemas de producción y de mantenimiento, lo que hace evidente la necesidad de implementar el plan de mantenimiento productivo total.

El análisis detallado del FODA, indicó que la empresa cuenta con suficientes herramientas que permiten la futura implementación del TPM, dando como resultado ocho estrategias que mitigan las desventajas locales y culturales, y que permiten mejorar la eficiencia operativa de la empresa, ya que se desarrollarán durante la futura ejecución del plan.

Los procesos, herramientas y técnicas necesarias para la reducción de desperdicios, dependen de las actividades propuestas para desarrollar cada pilar de TPM, es por ello que se proponen planes de actividades preliminares, 5S, mejoras enfocadas, mantenimiento autónomo, mantenimiento planeado, capacitación del personal, prevención de mantenimiento, mantenimiento de calidad, mantenimiento de áreas de soporte, seguridad, higiene y ambiente; generándose una guía de recursos tangibles e intangibles necesarios para su puesta en marcha. El tiempo de ejecución varió entre seis y 19 semanas entre los diferentes planes.

Aunado a ello, el plan TPM integrado tiene una duración estimada de 26 semanas, a futuro se debe supervisar el mejoramiento continuo y el refuerzo de todos los conocimientos y buenas prácticas adquiridas durante la implementación del plan.

## Referencias bibliográficas

- [1] L. Amendola, “Mantenimiento Centrado en Confiability MCC”. Valencia: Segunda Edición Universitas. 2022.
- [2] G. G., Anaya Vega, “Diseño de la propuesta de implementación de un sistema de mantenimiento productivo total TPM para la Empresa Colombiana de Cementos S.A.S. en la región de Rio Claro – Antioquia.” Trabajo de Grado No Publicado, Univ. EAN, Antioquia, Colombia. 2020. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10882/10058>
- [3] O. A. Moreira, “Aplicación de mantenimiento productivo total (TPM) para el mejoramiento de los procesos operativos del taller mecánico industrial en una unidad educativa de la ciudad de Guayaquil”. Trabajo de Grado No Publicado, Univ. Polit. Ecuador, Guayaquil, Ecuador. 2022. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22961>

[4] S. Hernández, C. Fernández y P. Baptista, “Metodología de la investigación”. Sexta edición: Ciudad de México, México. 6ta Edición. Ediciones McGraw-Hill. 2014. [En línea]. Disponible en: [https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia\\_de\\_la\\_investigacion\\_- roberto\\_hernandez\\_sampieri.pdf](https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_- roberto_hernandez_sampieri.pdf)

[5] J. Hurtado, “Metodología de la investigación. Guía para una comprensión holística de la ciencia.” Bogotá, Colombia. 4ta Edición. Ediciones Quirón Saypal, Cracas, Venezuela. 2012.

[6] D. Sánchez, “Análisis FODA o DAFO”. Madrid, España. Bubok Publishing S.L. 2020. [En línea]. Disponible en: [https://books.google.es/s?hl=es&lr=&id=6h0JEAQBAJ&oi=fnd&pg=PT10&dq=FortaleZas,+Debilidades,+Oportunidades+y+Amenazas+matriz+FODA+que+es&ots=8ZRfSdezBh&sig=DsrO58z5-XGTT\\_OXp2bWAr9UcfV#v=onepage&q=Fortalezas%2C%20Debilida-Des%2C%20Oportunidades%20y%20](https://books.google.es/s?hl=es&lr=&id=6h0JEAQBAJ&oi=fnd&pg=PT10&dq=FortaleZas,+Debilidades,+Oportunidades+y+Amenazas+matriz+FODA+que+es&ots=8ZRfSdezBh&sig=DsrO58z5-XGTT_OXp2bWAr9UcfV#v=onepage&q=Fortalezas%2C%20Debilida-Des%2C%20Oportunidades%20y%20)

[7] C. Montilla, “Mantenimiento Industrial y su Aplicación”. Universidad Tecnológica de Pereira. Editorial Universidad Tecnológica de Pereira. 2019. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.22517/9789587223910>

[8] W. J. Shupingahua, “Propuesta de mejora de un sistema de gestión de mantenimiento basado en la aplicación del TPM, para la línea de producción flexográfica de la empresa Amcor”, Trabajo de Grado, Univ. Peruana de Ciencias Aplicadas, Perú. 2019. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10757/628085>

# Desarrollo de un marco de trabajo basado en componentes para la construcción de clientes web: Slice.js

*Development of a component based framework for the construction of web clients:  
Slice.js*

**Julio A. Graterol-Bracho**

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería en Computación.  
Maracaibo, Venezuela.

 <https://orcid.org/0009-0006-9943-7182> | Correo electrónico: [juliograterolb@gmail.com](mailto:juliograterolb@gmail.com)

**Victor J. Kneider-Al Nahi**

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería en Computación.  
Maracaibo, Venezuela.

 <https://orcid.org/0009-0004-0434-430X> | Correo electrónico: [victorkneider@gmail.com](mailto:victorkneider@gmail.com)

**Jubert J. Pérez-Zabala**

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería en Computación.  
Maracaibo, Venezuela.

 <https://orcid.org/0009-0003-8615-9927> | Correo electrónico: [jubert.perez.10233@uru.edu](mailto:jubert.perez.10233@uru.edu)

Recibido: 08/06/2025 Admitido: 05/07/2025 Aceptado: 11/07/2025

## Resumen

La presente investigación introduce el desarrollo de un marco de trabajo (framework) basado en componentes, ofreciendo una arquitectura intuitiva para la construcción efectiva y organizada de clientes web. Se empleó una metodología de investigación descriptiva con diseño de campo no experimental, analizando el proceso de desarrollo sin intervenir las condiciones naturales del fenómeno estudiado. Para el desarrollo del Framework se utilizó una metología de cascada o de fases secuenciales, siguiendo las seis fases tradicionales del desarrollo de Software: requerimientos, análisis, diseño, implementación, pruebas y mantenimiento. Destacando por su facilidad de implementación y enfoque en la retrocompatibilidad, el framework proporciona una sólida base de componentes desacoplados para los desarrolladores al igual que una sólida estructura de componentes y herramientas funcionales que facilitan el proceso de desarrollo de aplicaciones web.

**Palabras clave:** Framework, desarrollo, aplicaciones, componentes, desarrolladores.

## Abstract

*The present research introduces the development of a component-based framework, offering an intuitive architecture for the effective and organized construction of web clients. A descriptive research methodology with non-experimental field design was employed, analyzing the development process without intervening in the natural conditions of the studied phenomenon. For the framework development, a waterfall or sequential phases methodology was used, following the six traditional phases of software development: requirements, analysis, design, implementation, testing, and maintenance. Highlighting its ease of implementation and focus on backward compatibility, the framework provides a solid foundation of decoupled components for developers, along with a robust structure of components and functional tools that facilitate the web application development process.*

**Key words:** Framework, development, application, components, developers.

## Introducción

El desarrollo de aplicaciones web implica crear programas que pueden ser accesibles a través de navegadores web. La complejidad de una aplicación web generalmente está relacionada con la cantidad

de funcionalidades que tiene y el tiempo y esfuerzo necesarios para desarrollarla. Con el tiempo, los desarrolladores web han identificado ciertas funcionalidades comunes que se repiten en muchas aplicaciones. Para evitar tener que escribir el mismo código una y otra vez, comenzaron a crear herramientas y bibliotecas de código que pueden ser reutilizadas en diferentes proyectos. Estas herramientas y bibliotecas a menudo se agrupan en lo que se conoce como frameworks web.

Los frameworks web son conjuntos de herramientas y bibliotecas predefinidas que facilitan el desarrollo de aplicaciones web al proporcionar estructuras y patrones de diseño comunes. Esto permite a los desarrolladores construir aplicaciones de manera más eficiente y rápida, ya que no tienen que empezar desde cero cada vez. Sin embargo, existen algunos desafíos con los frameworks web existentes. Uno de los problemas principales es la inestabilidad y la dependencia de estos frameworks. Los frameworks web a menudo se actualizan con frecuencia, lo que puede llevar a que los proyectos existentes se vuelvan obsoletos si no se actualizan. Además, las actualizaciones pueden introducir cambios que requieren modificaciones en el código existente, lo que puede ser costoso en términos de tiempo y recursos. Además, algunos frameworks web pueden cambiar a modelos de pago, lo que podría limitar el acceso de los desarrolladores a herramientas y recursos esenciales.

Como antecedente, la investigación de Mármol y Pérez [1] titulado: "Desarrollo de un marco de trabajo con node.js basado en componentes para el manejo de solicitudes a objetos de negocios embebidos en el backend", desarrolló una interfaz única y sencilla para el acceso y ejecución de lógica pertenecientes a objetos de negocios, a través de un único endpoint web.

Por su parte, Björremo y Trninć [2] en su trabajo sobre: "Evaluación de bases de aplicaciones web con respecto al desarrollo rápido", realizaron una investigación acerca de los diferentes frameworks web utilizados en la época, generando una robusta documentación de las comparaciones realizadas entre los mismos, tomando en cuenta la dificultad de la curva de aprendizaje y la dificultad de la aplicación web de cada uno de ellos.

Para abordar los problemas anteriormente mencionados, se propone el desarrollo de un framework web propio basado en componentes. Este enfoque tiene como objetivo proporcionar a los desarrolladores una herramienta robusta y confiable para construir aplicaciones web, mientras se asegura la estabilidad y el control directo sobre el proceso de desarrollo. Al tener un framework propio, los desarrolladores pueden tener más control sobre las actualizaciones y no sujetos a los cambios y restricciones de los frameworks externos.

## Fundamentos Teóricos

**HTML:** El lenguaje de Marcado de Hipertexto o Hypertext Markup Language es el bloque de construcción más básico de la Web. Define el significado y la estructura del contenido de una página web. "Hipertexto" se refiere a los enlaces que conectan las páginas web entre sí, ya sea dentro de un mismo sitio web o entre sitios web diferentes. El bloque de construcción definido por HTML son los elementos, los cuales describen o definen diferentes partes del contenido, como texto, imágenes, enlaces, listas, etc. Estos elementos están delineados por etiquetas, que indican dónde comienza y dónde termina un elemento en el código HTML.

**CSS:** CSS (Cascading Style Sheets) es un lenguaje de hojas de estilo utilizado para describir la presentación y el formato de un documento HTML o XML. Proporciona un conjunto de reglas y propiedades que permiten controlar la apariencia visual de los elementos en una página web, incluyendo el diseño, colores, fuentes, márgenes y otros aspectos visuales.

**JavaScript:** JavaScript (JS) es un lenguaje de programación ligero interpretado (o compilado en tiempo real) con funciones de primera clase. JavaScript es un lenguaje basado en prototipos, multiparadigma, de un solo hilo, y dinámico, que admite estilos de programación orientados a objetos, imperativos y declarativos (por ejemplo, programación funcional) (Mozilla Foundation). Las normas por las que se rige son Especificación del Lenguaje ECMAScript (ECMA-262) y la especificación internacional API ECMAScript (ECMA-402).

**Web Components API:** Los web components son un conjunto de APIs (Interfaces de Programación de Aplicaciones) de la plataforma web que te permiten crear nuevas etiquetas HTML personalizadas, reutilizables

y encapsuladas para utilizar en páginas web y aplicaciones web. Los componentes y widgets personalizados, construidos según los estándares de los Componentes Web, funcionarán en navegadores modernos y pueden ser utilizados con cualquier biblioteca o marco de JavaScript que trabaje con HTML.

## **Metodología**

Se realizó una investigación de tipo descriptiva, donde se detalló el proceso de desarrollo de un framework web, desde la determinación de las características, hasta la construcción del mismo. Este enfoque implicó un análisis detallado, el cual no buscó exclusivamente identificar los problemas, sino también busca comprenderlos para la solución propuesta. El diseño de la investigación se basó en un enfoque de campo o no experimental, donde no se intervienen ni alteran las condiciones en las que existe el fenómeno estudiado [3], en su lugar, se centra en la recolección de datos de la realidad del desarrollo de aplicaciones web y la experiencia de los desarrolladores. La presente utiliza al propio framework en desarrollo como unidad de investigación, para una comprensión detallada de cada etapa del proceso de desarrollo, evaluando así, en tiempo real, la eficiencia y el rendimiento del Framework mediante pruebas específicas.

En relación con las fases de desarrollo, se adoptó un enfoque metodológico conocido como “metodología de la cascada”, el cual se caracterizó por su estructura lineal y secuencial, donde las distintas fases del proceso se suceden de manera ordenada y cada una de ellas debe ser completada antes de avanzar a la siguiente. Esto proporcionó una planificación exhaustiva desde las etapas iniciales del proyecto, estableciendo objetivos claros y recopilando detalladamente los requisitos. La metodología de la cascada ofreció una previsibilidad en el proceso, facilitando la gestión y la evaluación progresiva del avance del proyecto.

## **Fases de desarrollo**

Durante esta fase, se investigó activamente acerca de las funcionalidades que el framework debe ofrecer, así como los requisitos técnicos y operativos que deben cumplirse para garantizar su eficacia y funcionalidad. Esto implicó explorar las necesidades y expectativas de los usuarios, así como las demandas del entorno tecnológico en constante evolución.

## **Resultados**

### **Fase 1. Requerimientos:**

**Tabla 1. Requerimientos funcionales**

Proporcionar un conjunto completo de componentes web reutilizables.
Permitir la fácil personalización y extensión de los componentes.
Ser compatible con los estándares web modernos (HTML5, CSS3, JavaScript ES6, etc.).
Ofrecer una experiencia de usuario consistente y atractiva en diferentes navegadores y dispositivos.
Admitir la creación de interfaces de usuario responsivas y adaptables.
Proporcionar un mecanismo a los usuarios de creación de componentes propios para ser utilizados con el Framework.

**Tabla 2. Requerimientos no funcionales**

Manejar un rendimiento óptimo, minimizando los tiempos de carga y respuesta.
Seguir principios de código modular para facilitar la mantenibilidad y la escalabilidad del framework.
Ser fácil de aprender y utilizar para desarrolladores web de diferentes niveles de experiencia.
Mantener la compatibilidad hacia atrás con versiones anteriores del framework para garantizar una transición suave para los usuarios que actualizan desde versiones anteriores.
Mantener una documentación completa y actualizada que refleje con precisión las características, API y mejores prácticas del framework, para facilitar su adopción y uso por parte de los desarrolladores.

## **Fase 2. Análisis:**

Durante esta etapa, se llevó a cabo un examen minucioso de los requerimientos identificados en la fase previa, con el objetivo de comprender a fondo las expectativas de los usuarios y las limitaciones del sistema. Se analizaron las funcionalidades esenciales que el framework debe ofrecer, así como los requisitos técnicos, operativos y de rendimiento que deben cumplirse para garantizar su eficacia y funcionalidad.

El framework desarrollado se basó en una estructura modular fundamentada en componentes, lo que ofreció una base sólida para la construcción de clientes web. Esta arquitectura modular permitió a los desarrolladores dividir la funcionalidad del framework en componentes independientes y reutilizables, facilitando su mantenimiento y extensión.

De manera similar, los clientes web se construyeron siguiendo el mismo enfoque basado en componentes, lo que implicó la creación de interfaces de usuario y funcionalidades de aplicación mediante la combinación y configuración de componentes predefinidos. Este proceso agilizó el desarrollo y promovió la reutilización de código.

Para lograr la separación de componentes en el código JavaScript, se utilizaron módulos de JavaScript, los cuales permitieron dividir el código en archivos separados con funcionalidades específicas, mejorando la organización y la modularidad del código. Además, se integró una clase principal al framework para centralizar la lógica y el funcionamiento de todos los componentes. Esta clase actuó como un punto central, permitiendo que los componentes consumieran funcionalidades entre sí mediante su instancia. Se le asignó el nombre "Slice" para distinguirla y facilitar la conexión entre los diferentes componentes.

En cuanto a la clasificación de los componentes, se dividieron en tres categorías principales: visuales, estructurales y servicios. Los componentes visuales fueron fundamentales para la construcción de interfaces de clientes web; mientras que, los estructurales proporcionaron la infraestructura necesaria para gestionar y supervisar todos los aspectos del framework y la aplicación.

Por otro lado, los servicios encapsularon la lógica de negocio de la aplicación y ofrecieron la capacidad de gestionar tecnologías asociadas con el cliente web, como solicitudes HTTP y almacenamiento local. Además, se incluyeron componentes visuales y servicios de usuario, que fueron creados por los desarrolladores para proyectos específicos utilizando el framework.

## **Fase 3. Diseño:**

Para iniciar la fase de diseño, siguiendo con la clasificación realizada en la Fase de Análisis de los componentes según su categoría y funcionalidad, se encontró con:

**Visuales (Visual):** Estos componentes desempeñan un papel fundamental en la construcción de las interfaces de los clientes web. Se basan en etiquetas personalizadas de HTML y hacen uso de la Web Components API. Al combinar estas etiquetas con clases de JavaScript, se logra encapsular la lógica necesaria para manipular estos componentes de manera eficiente, permitiendo al desarrollador abarcar una amplia gama de funcionalidades según sus necesidades, desde simples cambios de estilo, como el color de la fuente, hasta la creación dinámica de nuevos componentes.

Además, estos componentes pueden interactuar con el backend a través de solicitudes HTTP, lo que les permite realizar operaciones como recuperar datos, enviar formularios o actualizar la interfaz de usuario en respuesta a eventos específicos.

**Estructurales o De estructura (Structural):** Estos componentes son esenciales para el funcionamiento integral del framework, ya que proporcionan la infraestructura necesaria para gestionar y supervisar todos los aspectos del mismo y de la aplicación a desarrollar. Dentro de esta categoría, se encuentran los componentes encargados del control de las instancias de los elementos, permitiendo un manejo eficiente y dinámico de los mismos. Además, ofrecen herramientas para el registro y seguimiento de actividades en tiempo real, lo

que facilita la depuración de errores y el análisis de rendimiento durante el desarrollo y la ejecución de la aplicación.

Por otro lado, los componentes estructurales también incluyen funcionalidades para la visualización y manipulación de propiedades de los elementos de la aplicación. Esto permite a los desarrolladores inspeccionar y ajustar el estado de los componentes según sea necesario, lo que resulta fundamental para la personalización y optimización de la aplicación. En conjunto, estos componentes proporcionan una base sólida y versátil para la construcción de aplicaciones robustas y eficientes, garantizando un control completo sobre la infraestructura del framework y la aplicación resultante.

Cabe resaltar que, aunque su categoría no es visual, algunos de estos componentes también utilizan la tecnología de la Web Components API para brindar a los desarrolladores interfaces gráficas que facilitan el proceso de desarrollo y de pruebas de la aplicación. Los componentes de categoría estructural no pueden ser instanciados a través del método `build` de la instancia principal.

Las tecnologías de componentes web o Web Components API permiten crear sus propios elementos HTML. Son un conjunto de tecnologías complementarias para encapsular HTML, javascript y estilos en paquetes reutilizables, con soporte nativo disponible en el navegador [4].

**Servicios (Service):** Los servicios constituyen un tipo fundamental de componente que desempeña un papel clave en el desarrollo de aplicaciones web. Su principal función radica en encapsular la lógica de negocio de la aplicación, lo que facilita la reutilización del código y mejora la legibilidad y efectividad del proceso de desarrollo.

Además de abordar la lógica específica de la aplicación, los servicios ofrecen la capacidad de encapsular y gestionar diversas tecnologías asociadas con el cliente web, como el manejo de solicitudes HTTP, el almacenamiento local (`localStorage`), y el acceso y modificación de bases de datos indexadas (`indexedDB`), entre otros.

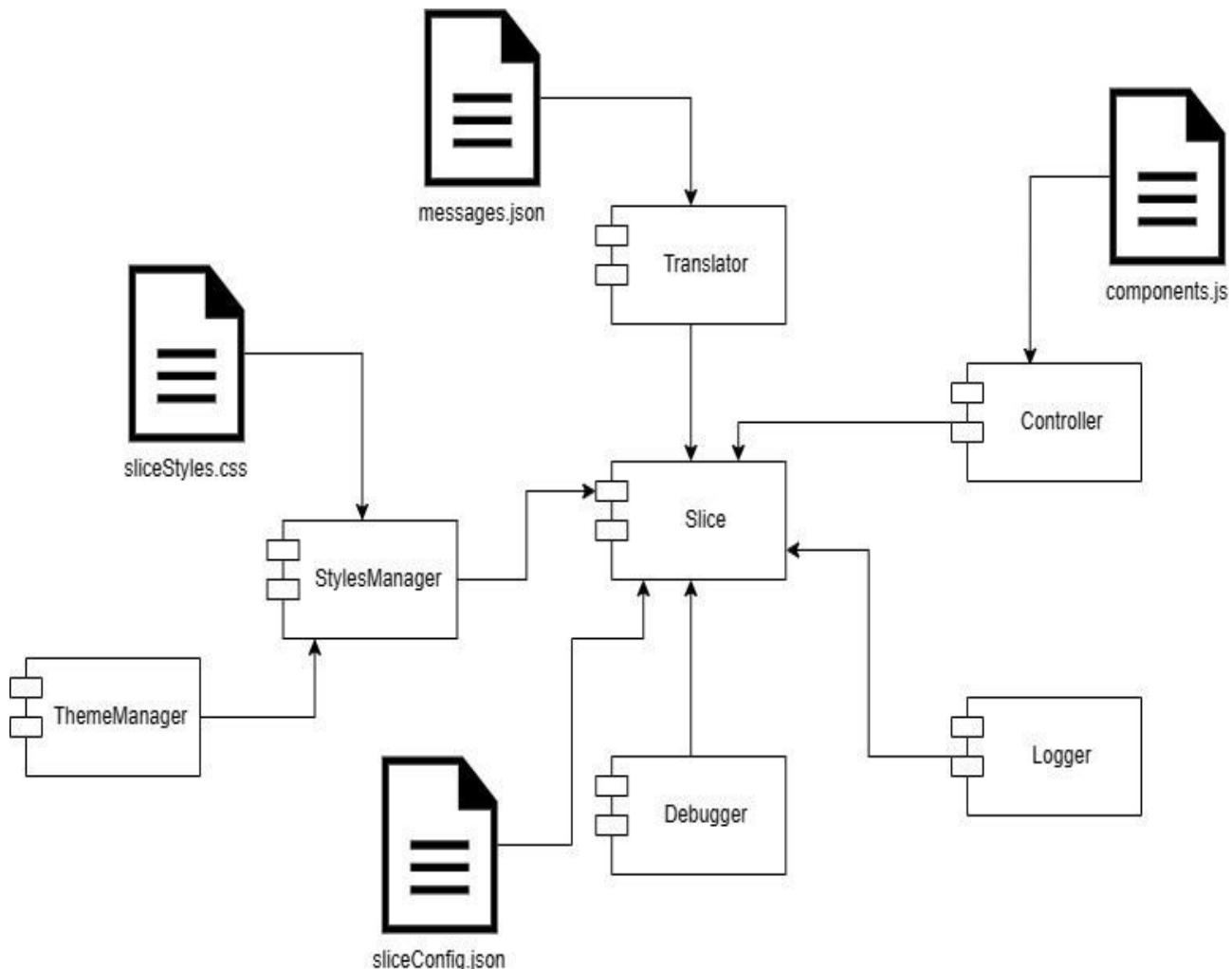
A pesar de no hacer uso directo de la Web Components API, los servicios juegan un papel crucial al permitir la creación dinámica de componentes visuales que sí la utilizan, así como la modificación dinámica del documento en función de los métodos de estos servicios. Esto proporciona una flexibilidad adicional en el desarrollo de la interfaz de usuario y la manipulación dinámica del DOM, lo que contribuye significativamente a la versatilidad y capacidad de respuesta de la aplicación web resultante.

**Visuales de Usuario (UserVisual):** Cuentan con las mismas características que los componentes de categoría “Visual”, pero difieren con estos en que estos son creados por los desarrolladores para sus proyectos específicos mientras que, los de categoría “Visual” son creados por los desarrolladores del Framework.

**Servicios de Usuario (UserService):** Al igual que los componentes visuales de usuario, poseen la característica de que son creados por los desarrolladores para sus proyectos específicos utilizando el Framework y cuentan con las mismas características que los componentes de categoría “Service” o servicios.

Seguidamente, se realizó un diagrama de los componentes estructurales que constituyen la base sobre la que trabaja el framework (Figura 1), junto con un archivo de configuración que controla el comportamiento de estos componentes. La instancia principal del framework, llamada “Slice”, estuvo compuesta por instancias de los diferentes componentes estructurales, permitiendo el acceso a través de esta instancia.

Sin embargo, se consideró necesario que el servicio “Translator” fuera añadido en los diagramas que componen la estructura del framework, dado que la habilitación del mismo se puede realizar desde la configuración del framework para brindar soporte a páginas multilenguajes y así evitar crear múltiples instancias del mismo.



**Figura 1. Diagrama de componentes del modelado**

Se definió un archivo de configuración llamado “sliceConfig”, que permitió a los desarrolladores manejar el comportamiento del framework habilitando o deshabilitando funcionalidades de los diferentes componentes. Por ejemplo, los componentes de depuración como “Logger” o “Debugger” pueden ser necesarios durante la construcción de una aplicación, pero no durante el lanzamiento.

En este archivo se permitió a los mismos, utilizar la ruta de su preferencia, aunque la iniciación del proyecto del framework siguió una organización de ruta funcional sugerida por los autores desarrolladores del framework (Figura 2).

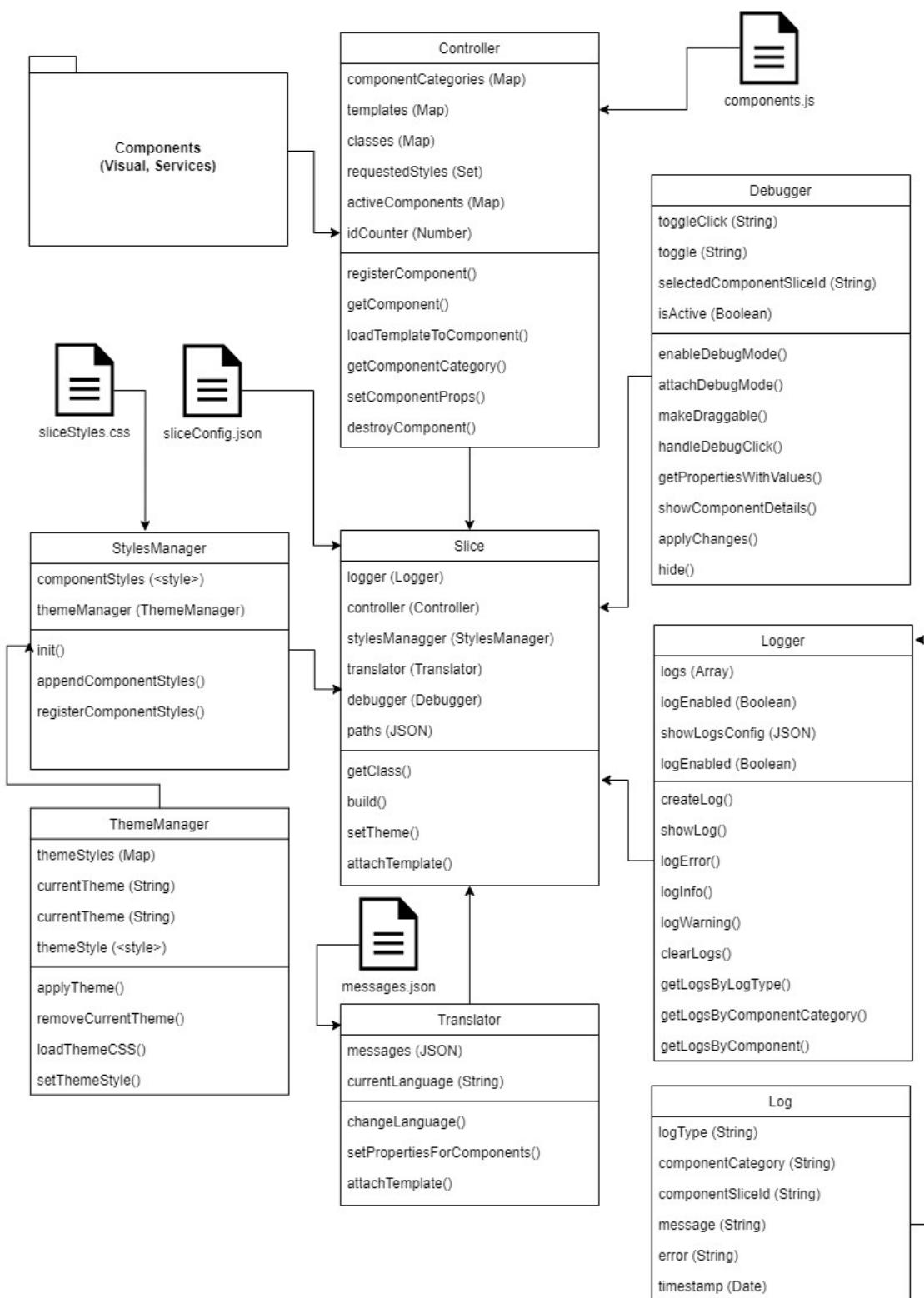
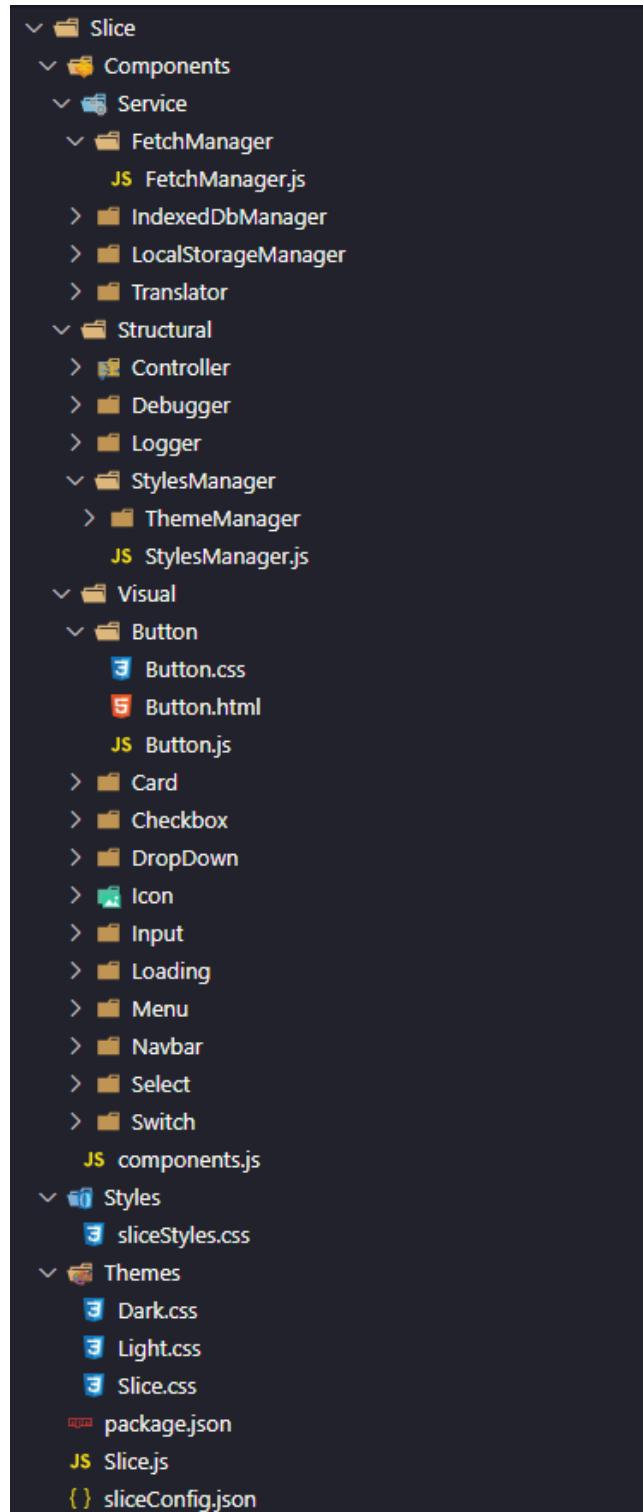


Figura 2. Diagrama de clases

#### Fase 4. Implementación:

Para comenzar la fase de construcción del framework basado en componentes, es esencial abordar la definición de la estructura y organización de archivos. Esta etapa fue fundamental para establecer los cimientos de un proyecto coherente y sostenible, garantizando que el código fuera legible y comprensible para

todos los desarrolladores involucrados. Una estructura de archivos bien definida es crucial para la eficacia y la longevidad a lo largo del tiempo de un proyecto del framework (Figura 3).



**Figura 3. Arquitectura de carpetas del Framework.**

Como se muestra en la figura anterior, la arquitectura de carpetas diseñada para el framework basado en componentes, denominado Slice, se organizó de manera jerárquica ascendente, donde la carpeta principal fue denominada “Slice”, la cual contiene todos los archivos correspondientes a la construcción del framework, esta carpeta en sí misma, está compuesta por el archivo de configuración del framework “sliceConfig.json”, el

archivo “Slice.js” de la instancia principal del framework, y una subcarpeta denominada “Components”. En dicha carpeta, la carpeta donde residen todos los archivos relacionados con los componentes del framework, organizó subcarpetas para cada categoría de componentes registrada en el framework, como Visual, Structural y Service. Además, contuvo el archivo “components.js” que listó todos los componentes disponibles en el framework.

En la carpeta “Visual” se encontró la carpeta de cada componente de esta categoría. Cada una de las carpetas de los componentes contuvo tres archivos esenciales para la creación del componente: un archivo “.js” para el código JavaScript, un archivo “.html” para el template HTML y un archivo “.css” para los estilos asociados.

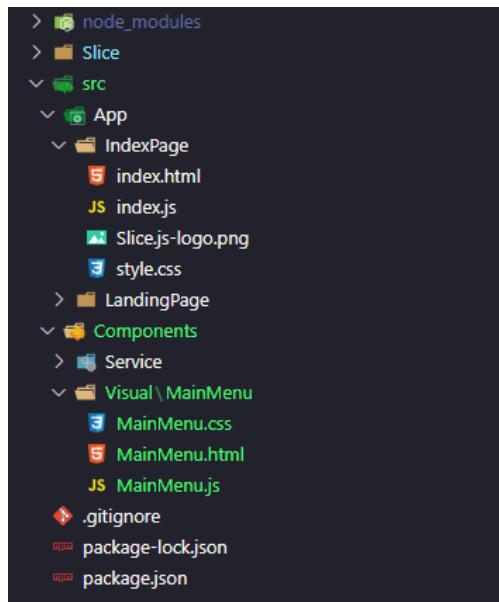
En la carpeta “Service” cada carpeta de componente tuvo un archivo “.js” que definió la lógica del servicio correspondiente.

En la carpeta “Structural”, la última categoría de componentes, se encontraron las carpetas para cada componente de la categoría Structural, que contuvieron los archivos vinculados a esos componentes. Los componentes de tipo Structural tuvieron al menos un archivo “.js”, pero también pueden tener archivos “.html” y “.css” en caso de tener una interfaz gráfica. Los componentes de esta categoría que no pueden ser instanciados mediante el método “build” se almacenaron juntos para una mejor organización.

En la carpeta “Styles” se almacenaron los estilos relacionados con el framework. Incluyó el archivo esencial “sliceStyles.css” que configuró aspectos fundamentales de los estilos de los componentes, como tipografías y grosores de bordes.

Según Meyer [5], CSS permite separar la estructura del contenido de un documento web de su presentación visual, lo que facilita la creación y el mantenimiento de sitios web. Esta tecnología es la que permitió manejar los estilos mencionados previamente.

Por último, en la carpeta “Themes” se guardaron los archivos correspondientes a los temas visuales utilizados en el desarrollo del framework. Cada tema se representó mediante un archivo “.css”. Además de los temas predefinidos como “Light” (Claro), “Dark” (Oscuro) y “Slice” (estilos por defecto del framework), los desarrolladores pueden agregar temas personalizados según las necesidades del proyecto.



**Figura 4. Arquitectura de la carpeta “src”.**

La carpeta “src” se encontró en la raíz del proyecto, junto con la carpeta principal “Slice”. Su propósito fue contener los archivos necesarios para la construcción de las aplicaciones web. Dentro de “src”, se encontraron las carpetas “App” y “Components”.

La carpeta “App” contuvo todos los archivos relacionados con las diferentes vistas de una aplicación web. Para cada vista, hubo una carpeta con su nombre correspondiente, que contuvo los archivos necesarios para construir la estructura del documento y los diferentes componentes utilizados con el framework. Estos archivos incluyeron “index.html” para la estructura HTML de la vista, “index.js” como módulo de JavaScript para la importación e implementación del framework, “style.css” para los estilos específicos de esa vista, así como imágenes u otros recursos necesarios.

Por último, en la carpeta “Components” se encontraron los componentes que fueron creados exclusivamente por los desarrolladores. Se organizó en una carpeta "Visual" para los componentes de categoría "UserVisual" y una carpeta "Service" para los componentes de categoría "UserService". Esto permitió una separación clara entre los componentes proporcionados por el framework y los desarrollados por los usuarios para sus proyectos específicos.

A continuación, se presenta el código de la instancia principal del Framework “Slice.js” (Figura 5):



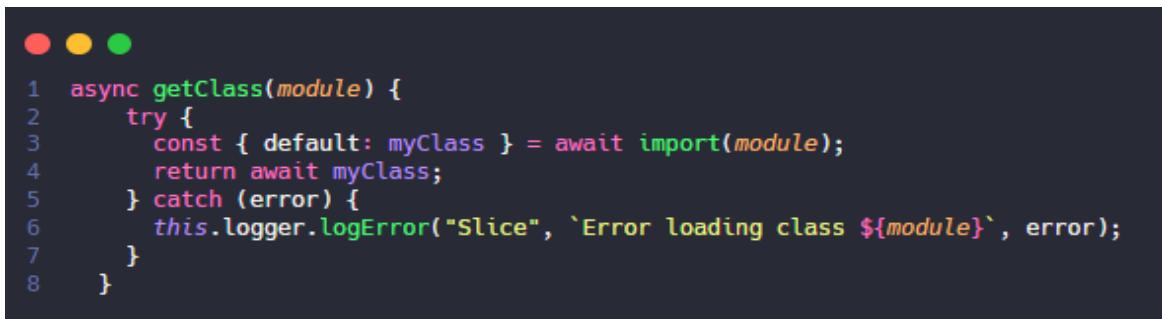
```

1 import Logger from "./Components/Structural/Logger/Logger.js";
2 import Controller from "./Components/Structural/Controller/Controller.js";
3 import StylesManager from "./Components/Structural/StylesManager/StylesManager.js";
4 import sliceConfig from "./sliceConfig.json" assert { type: "json" };
5
6 export default class Slice {
7   constructor() {
8     this.logger = new Logger();
9     this.controller = new Controller();
10    this.stylesManager = new StylesManager();
11    this.paths = sliceConfig.paths;
12  }

```

Figura 5. Método constructor de la clase Slice

Como se mencionó anteriormente, el framework fue diseñado siguiendo un paradigma basado en componentes. En esta línea, los primeros elementos que se encontraron fueron las importaciones necesarias para vincular los componentes estructurales que forman parte esencial de la instancia principal del framework. Estos componentes incluyeron el Logger, Controller, StylesManager, y el archivo de configuración “sliceConfig.json”. A su vez, dentro del constructor de la clase se crearon las instancias de los mismos y se asignaron a las propiedades de la instancia principal para poder ser accedidas por todos los componentes del Framework, junto con la configuración de rutas definida en el archivo de configuración.



```

1 async getClass(module) {
2   try {
3     const { default: myClass } = await import(module);
4     return await myClass;
5   } catch (error) {
6     this.logger.LogError("Slice", `Error loading class ${module}`, error);
7   }
8 }

```

Figura 6. Método getClass de la clase Slice

El método getClass de la instancia principal es fundamental en el proceso de solicitud o importación dinámica de los módulos JavaScript de los componentes (Figura 6). Utilizó la reflexión para importar módulos según la demanda del desarrollador en tiempo de ejecución, lo que permitió una flexibilidad excepcional adaptada a las necesidades específicas del framework. Esta característica fue esencial para cargar componentes

de forma dinámica y eficiente, garantizando que solo se importaran los módulos necesarios en el momento preciso, sin cargar innecesariamente recursos durante la compilación.



```
1  async build(componentName, props = {}) {
2    if (!componentName) {
3      this.logger.logError(
4        "Slice",
5        null,
6        `Component name is required to build a component`
7      );
8      return null;
9    }
10   if (typeof componentName !== 'string') {
11     this.logger.logError(
12       "Slice",
13       null,
14       `Component name must be a string to build a component`
15     );
16     return null;
17   }
18
19   if (!this.controller.componentCategories.has(componentName)) {
20     this.logger.logError(
21       "Slice",
22       null,
23       `Component ${componentName} not found in components.js file`
24     );
25     return null;
26   }
27
28   let componentCategory = this.controller.componentCategories.get(component
29   Name);
30
31   if (componentCategory === "Structural") {
32     this.logger.logError(
33       "Slice",
34       null,
35       `Component ${componentName} is a Structural component and cannot be bu
36       ilt`
37     );
38     return null;
39   }
```

Figura 7. Método build de la clase Slice

Como se mencionó anteriormente, el método build de la instancia principal es fundamental para ensamblar los componentes, marcando el inicio de su ciclo de vida (Figura 7). Inicialmente, se llevó a cabo una verificación del parámetro "componentName", que contuvo el nombre del componente a instanciar. Se verificaron diferentes condiciones, entre éstas la existencia de este parámetro, su tipo de dato (debe ser un string), y se confirmó que estuviera listado en el archivo de componentes "components.js". Además, se aseguró de que el componente no fuese de naturaleza estructural, ya que estos no pueden ser instanciados desde el método build. En caso de no cumplir con estas condiciones de validación, el método retornó null para el componente que se estuvo tratando de construir (Figura 8).

```

1 let componentbasePath;
2
3 if(componentCategory.includes("User")) {
4   componentCategory = componentCategory.replace("User", "")
5   componentbasePath = this.paths.userComponents
6 } else {
7   componentbasePath = this.paths.components
8 }
9
10 const isVisual = componentCategory === "Visual";
11 let modulePath = `${componentbasePath}/${componentCategory}/${componentName}/${componentName}.js`;
12
13 // Load template if not loaded previously and component category is Visual
14 if (!this.controller.templates.has(componentName) && isVisual) {
15   try {
16     const html = await this.controller.fetchText(componentName, "html", componentbasePath, componentCategory);
17     const template = document.createElement("template");
18     template.innerHTML = html;
19     this.controller.templates.set(componentName, template);
20     this.logger.logInfo("Slice", `Template ${componentName} loaded`);
21   } catch (error) {
22     console.log(error);
23     this.logger.logError(
24       "Slice",
25       `Error loading template ${componentName}`,
26       error
27     );
28   }
29 }

```

**Figura 8. Mapeo de Ruta y solicitud de template HTML de componente en el método “build”**

Seguidamente, se creó la variable `componentbasePath` la cual permitió obtener la ruta base de la carpeta, es decir, ayudó a identificar si el componente a instanciar fue creado por los desarrolladores del framework o si fue un componente de usuario. En caso de ser un componente de usuario, asignó el valor de la variable a la ruta especificada para los componentes de usuario en el archivo de configuración `“sliceConfig.json”` y eliminó el prefijo `“User”` para que el ciclo de construcción de un componente continuara su flujo con normalidad.

Posteriormente, se creó la variable `“modulePath”` la cual almacenó la ruta javascript del módulo a instanciar, dicha ruta es la que es enviada al método `getClass`. En caso que el mapa de templates HTML que forma parte del componente controller no posea la template HTML para dicho componente, y que la categoría del componente a instanciar sea Visual, se procedió a solicitar dicha template al servidor a través del método `fetchText` del componente Controller. En la misma línea, se creó un elemento html `“template”` y se almacenó la template del componente dentro del mismo, para ser almacenado dentro del mapa templates previamente mencionado.

```

1 //Load class if not loaded previously
2 if (!this.controller.classes.has(componentName)) {
3   try {
4     const ComponentClass = await this.getClass(modulePath);
5     this.controller.classes.set(componentName, ComponentClass);
6     this.logger.logInfo("Slice", `Class ${componentName} loaded`);
7   } catch (error) {
8     console.log(error);
9     this.logger.logError(
10       "Slice",
11       `Error loading class ${modulePath}`,
12       error
13     );
14   }
15 }

```

**Figura 9. Solicitud de módulo de componente en el método “build”**

A continuación, se verificó si el mapa de clases del componente controller contuvo la clase del componente que se desea instanciar. En caso de que la clase no esté almacenada, se importó dinámicamente utilizando el método mencionado anteriormente, "getClass" (Figura 9).



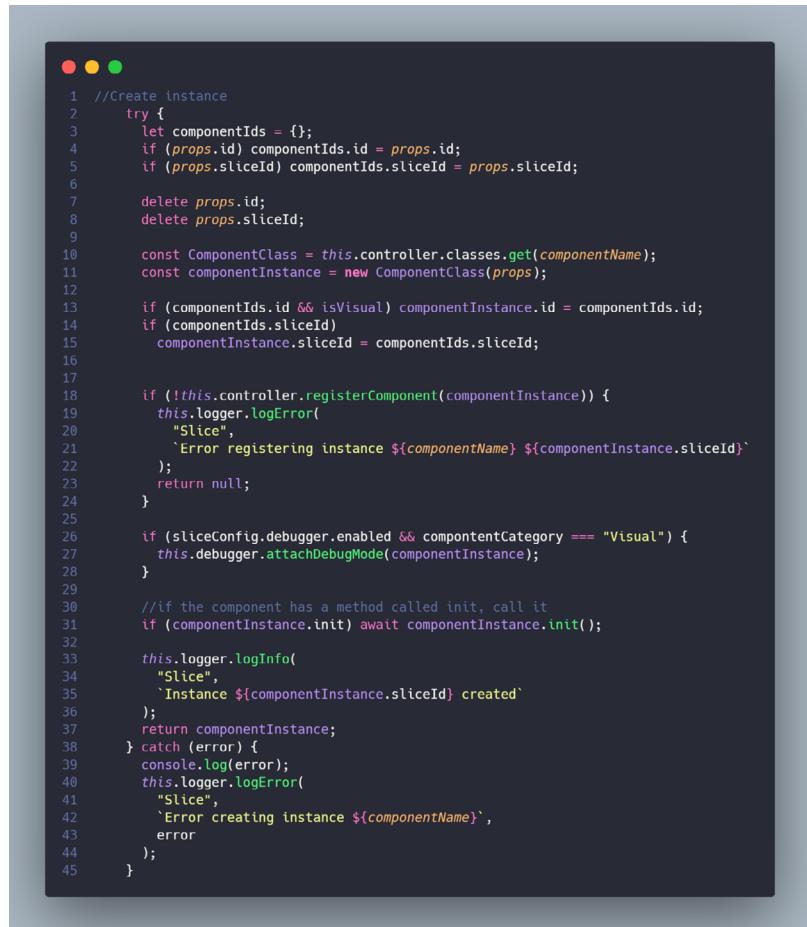
```

1 //Load css if not loaded previously and component category is Visual
2   if (!this.controller.requestedStyles.has(componentName) && isVisual) {
3     try {
4       const css = await this.controller.fetchText(componentName, "css");
5       this.stylesManager.registerComponentStyles(componentName, css);
6       this.logger.logInfo("Slice", `CSS ${componentName} loaded`);
7     } catch (error) {
8       console.log(error);
9       this.logger.LogError(
10         "Slice",
11         `Error loading css ${componentName}`,
12         error
13       );
14     }
15   }

```

Figura 10. Solicitud de estilos de componente en el método “build”

Seguidamente, se verificó si la categoría del componente a instanciar era visual y si el Set de estilos del componente “requestedStyles” controller no contenía almacenados los estilos para el componente a instanciar. En caso que se cumplieran dichas condiciones, se solicitaron los estilos al servidor utilizando el método fetchText del componente controller y se procedió al registro de los mismos utilizando el método “registerComponentStyles” del componente StylesManager (Figura 10).



```

1 //Create instance
2   try {
3     let componentIds = {};
4     if (props.id) componentIds.id = props.id;
5     if (props.sliceId) componentIds.sliceId = props.sliceId;
6
7     delete props.id;
8     delete props.sliceId;
9
10    const ComponentClass = this.controller.classes.get(componentName);
11    const componentInstance = new ComponentClass(props);
12
13    if (componentIds.id && isVisual) componentInstance.id = componentIds.id;
14    if (componentIds.sliceId)
15      componentInstance.sliceId = componentIds.sliceId;
16
17
18    if (!this.controller.registerComponent(componentInstance)) {
19      this.logger.LogError(
20        "Slice",
21        `Error registering instance ${componentName} ${componentInstance.sliceId}`
22      );
23      return null;
24    }
25
26    if (sliceConfig.debugger.enabled && componentCategory === "Visual") {
27      this.debugger.attachDebugMode(componentInstance);
28    }
29
30    //if the component has a method called init, call it
31    if (componentInstance.init) await componentInstance.init();
32
33    this.logger.logInfo(
34      "Slice",
35      `Instance ${componentInstance.sliceId} created`
36    );
37    return componentInstance;
38  } catch (error) {
39    console.log(error);
40    this.logger.LogError(
41      "Slice",
42      `Error creating instance ${componentName}`,
43      error
44    );
45  }

```

Figura 11. Creación de la instancia

Después de solicitar todos los recursos necesarios para construir el componente, como se mencionó anteriormente, se procedió a eliminar los identificadores para luego asignarlos nuevamente. A continuación, se obtuvo la clase del componente y se creó la instancia utilizando reflection de manera satisfactoria. Luego, se realizaron validaciones para asignar los identificadores y registrar la instancia en el contexto de componentes del framework, específicamente en el mapa "activeComponents" del componente Controller (Figura 11).

Se procedió con una verificación para determinar si el componente Debugger estaba activo. En caso afirmativo, y si la categoría del componente instanciado fue "Visual", se ejecutó el método "attachDebugMode" del componente Debugger en dicha instancia. Para completar la construcción del componente, se ejecutó el método "init" de la instancia, si estaba disponible, y se devolvió al desarrollador de manera satisfactoria.



```

1  setTheme(themeName) {
2      this.stylesManager.themeManager.applyTheme(themeName);
3  }
4
5  attachTemplate(componentInstance) {
6      this.controller.loadTemplateToComponent(componentInstance);
7  }

```

Figura 12. Métodos “setTheme” y “AttachTemplate”.

Los métodos setTheme y AttachTemplate funcionan como atajos para la ejecución de métodos de otros componentes facilitando la escritura de código (Figura 12).

Con la finalidad de brindar una interfaz más amigable para la inicialización de proyectos, creación, modificación y eliminación de componentes, se creó la herramienta “slicejs-cli”. Esta consistió en un paquete de npm que al instalarlo, permitió a través de comandos, facilitar las labores de los desarrolladores en su proceso de construcción de clientes web y a su vez, también facilitaron la creación de diferentes archivos propios del framework al igual que de brindar una estructura de proyecto estandarizada para todos los desarrolladores.

Para instalar dicha herramienta fue necesario tener instalado el manejador de paquetes de node.js “npm” y ejecutar dentro de una instancia de terminal el siguiente comando “npm install slicejs-cli”. Posterior a la instalación del paquete, se agregaron al archivo “package.json” del proyecto, los atajos de los comandos que utiliza el paquete “slicejs-cli”. En caso de que no existiera el archivo “package.json” del proyecto donde se trató de inicializar el proyecto de Slice, la herramienta se encargó de crear uno que también tuviera los comandos que brinda la herramienta de consola. A continuación, se presenta la Tabla 3 que contiene la descripción de cada comando junto a su utilización:

Tabla 3. Comandos de “slice-cli”

Comando	Descripción	Utilización
init	Inicializa el proyecto, crea la estructura de archivos para un proyecto estándar de Slice	npm run slice:init
create	Crea los archivos pertinentes para un componente según su categoría (plantilla de componente incluida)	npm run slice:create ComponentName --category <category> - properties <properties>
update	Modifica el código de un componente añadiendo o eliminando propiedades de su contenido.	npm run slice:modify ComponentName --add <properties> -remove properties>
delete	Elimina los archivos respectivos de un componente.	npm run slice:delete ComponentName --category <category> - properties <properties>
list	Lista los componentes creados en el archivo components.js	npm run slice:list

Los componentes creados por el Cli se encontraron en la carpeta src/App/Components y contaron con las categorías de UserVisual y UserService.

### Fase 5. Pruebas:

Como prueba de estrés, se realizó la solicitud de componentes al framework en grandes cantidades, para ser más específicos la construcción de 10 mil componentes Checkbox. Esta prueba fue cumplida satisfactoriamente por el framework, como prueba se tuvieron las siguientes imágenes (Figuras 13, 14 y 15) donde se observaron los registros de creación del componente Logger del framework y el document (DOM).

```

✓ INFO - Structural - Slice - Instance checkbox-9969 created
✓ INFO - Structural - Slice - Instance checkbox-9970 created
✓ INFO - Structural - Slice - Instance checkbox-9971 created
✓ INFO - Structural - Slice - Instance checkbox-9972 created
✓ INFO - Structural - Slice - Instance checkbox-9973 created
✓ INFO - Structural - Slice - Instance checkbox-9974 created
✓ INFO - Structural - Slice - Instance checkbox-9975 created
✓ INFO - Structural - Slice - Instance checkbox-9976 created
✓ INFO - Structural - Slice - Instance checkbox-9977 created
✓ INFO - Structural - Slice - Instance checkbox-9978 created
✓ INFO - Structural - Slice - Instance checkbox-9979 created
✓ INFO - Structural - Slice - Instance checkbox-9980 created
✓ INFO - Structural - Slice - Instance checkbox-9981 created
✓ INFO - Structural - Slice - Instance checkbox-9982 created
✓ INFO - Structural - Slice - Instance checkbox-9983 created
✓ INFO - Structural - Slice - Instance checkbox-9984 created
✓ INFO - Structural - Slice - Instance checkbox-9985 created
✓ INFO - Structural - Slice - Instance checkbox-9986 created
✓ INFO - Structural - Slice - Instance checkbox-9987 created
✓ INFO - Structural - Slice - Instance checkbox-9988 created
✓ INFO - Structural - Slice - Instance checkbox-9989 created
✓ INFO - Structural - Slice - Instance checkbox-9990 created
✓ INFO - Structural - Slice - Instance checkbox-9991 created
✓ INFO - Structural - Slice - Instance checkbox-9992 created
✓ INFO - Structural - Slice - Instance checkbox-9993 created
✓ INFO - Structural - Slice - Instance checkbox-9994 created
✓ INFO - Structural - Slice - Instance checkbox-9995 created
✓ INFO - Structural - Slice - Instance checkbox-9996 created
✓ INFO - Structural - Slice - Instance checkbox-9997 created
✓ INFO - Structural - Slice - Instance checkbox-9998 created
✓ INFO - Structural - Slice - Instance checkbox-9999 created
✓ INFO - Structural - Slice - Instance checkbox-10000 created
✓ INFO - Structural - Slice - Instance checkbox-10001 created

```

Figura 13. Registros del componente “Logger” tras la prueba de estrés.



Figura 14. Creación masiva de componentes para la prueba de estrés.

```

1 for (let i = 0; i < 10000; i++) {
2   const checkboxTest = await slice.build("Checkbox", {
3     label: i,
4     position: "top",
5     checked: Math.random() > 0.5,
6     customColor: colors[Math.floor(Math.random() * colors.length)],
7   });
8   document.body.appendChild(checkboxTest);
9 }

```

Figura 15. Código utilizado para la creación masiva de componentes para la prueba de estrés.

Seguidamente, se realizó la prueba de integración al framework la cual se llevó a cabo entre el componente visual denominado "Card" y el componente de servicio "Translator". Para este propósito, se construyó un componente "Button", al cual se le asignó la funcionalidad de cambiar entre los distintos lenguajes registrados en el archivo de mensajes "messages.json" durante el evento "onClick" (Figura 16). Esta funcionalidad se implementó mediante la validación del lenguaje actual definido por el componente "Translator". Es importante mencionar que el componente "Translator" fue previamente habilitado desde el archivo de configuración del framework "sliceConfig.json".

```

1 const button2 = await slice.build("Button", {
2   value: "Cambiar Idioma",
3   customColor: {
4     button: "red",
5   },
6   onClickCallback: () => {
7     if (slice.translator.currentLanguage === "es") {
8       slice.translator.changeLanguage("en");
9     } else {
10      slice.translator.changeLanguage("es");
11    }
12  },
13  sliceId: "buttonLanguage",
14 });
15
16 button2.classList.add("center-screen");
17
18 form.appendChild(button2);
19

```

Figura 16. Código de la creación de un componente “Button” para el uso del componente “Translator”.

Posteriormente, se realizó la creación de tres componentes “Card” con diferentes propiedades y temáticas como se observa en la figura 17:

```

1 const cardYoutube = await slice.build("Card", {
2   title: "Youtube en Español",
3   text: "Youtube es una plataforma de intercambio de videos. Puedes ver videos, subir tus propios videos y comentar en videos.",
4   icon: {
5     name: "youtube",
6     iconStyle: "filled",
7   },
8   customColor: {
9     card: "red",
10    icon: "white",
11  },
12  sliceId: "cardYoutube",
13 });
14
15 const cardTwitter = await slice.build("Card", {
16   title: "Twitter en Español",
17   text: "Twitter es una red social. Puedes compartir tweets, seguir a otras personas y mantenerte informado.",
18   icon: {
19     name: "twitter",
20     iconStyle: "filled",
21   },
22   customColor: {
23     card: "#1DA1F2",
24     icon: "white",
25   },
26   sliceId: "cardTwitter",
27 });
28
29 const cardFacebook = await slice.build("Card", {
30   title: "Facebook en Español",
31   text: "Facebook es una red social. Puedes compartir fotos, videos, estados y chatear con tus amigos.",
32   icon: {
33     name: "facebook",
34     iconStyle: "filled",
35   },
36   customColor: {
37     card: "#1877F2",
38     icon: "white",
39   },
40   sliceId: "cardFacebook",
41 });

```

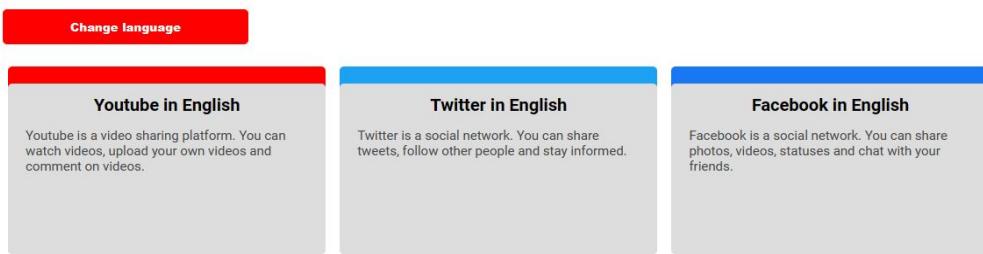
Figura 17. Código de la creación de tres componentes “Card” para la prueba de integración.

La figura anterior mostró los componentes creados junto con sus propiedades en el idioma "Español". Se eligió deliberadamente utilizar el idioma en el título para una mayor claridad. Luego, al hacer clic en el componente Button previamente creado, se activó la función asociada al evento onClickCallback del componente. Dado que el idioma actualmente asignado era "es" (abreviatura de español), se procedió a ejecutar el método ChangeLanguage del componente Translator con el idioma "en" (abreviatura de inglés), lo que provocó un cambio automático en los mensajes mostrados en las Cards con tan solo un clic en el botón.

De esta manera, se confirmó que los componentes del framework permitieron una integración fluida de sus funcionalidades, lo que indicó que las pruebas de integración fueron exitosas (Figuras 18 y 19).



**Figura 18. Componentes “Card” y “Button” creados para la prueba de integración.**



**Figura 19. Componentes “Card” y “Button” tras el uso del componente “Translator”.**

## Fase 6. Mantenimiento y Actualización

Una de las características del framework “Slice.js” es que mantuvo retrocompatibilidad entre versiones de manera que, en cada actualización se mantuviera la funcionalidad principal del framework constante y no tuvieran que realizarse actualizaciones de código forzadas y a último momento por parte de los desarrolladores de aplicaciones, durante cada actualización del framework.

Se creó una página web dedicada específicamente a mostrar la documentación del framework desarrollado, denominado “Slice” a través de un repositorio en GitHub que contuvo todo el código fuente y los archivos necesarios para la página web de la documentación del framework “Slice.js”. Esta página web sirvió como un punto centralizado donde los usuarios pueden acceder a toda la información relevante sobre el framework, incluyendo detalles técnicos, ejemplos de uso, guías de integración y cualquier otra información importante.

<https://slicejs-docs.vercel.app/>

Página Web de la Documentación de “Slice.js”.

## Conclusiones

Se logró el desarrollo exitoso de un framework basado en componentes, el cual ofrece una arquitectura y funcionalidades intuitivas para la creación eficiente de aplicaciones web de diferentes tipos. Una de las características sobresalientes de este framework es su facilidad de implementación, diseñada para ofrecer una curva de aprendizaje rápida a los desarrolladores. Esto se logra mediante el uso de tecnologías estándar de la web, lo que facilita su comprensión y uso en comparación con otros frameworks más complejos.

Un aspecto crucial del framework es su enfoque en la retrocompatibilidad entre versiones. Esta característica garantiza que las aplicaciones web desarrolladas con el mismo seguirán siendo funcionales y compatibles con futuras actualizaciones, evitando así la obsolescencia y permitiendo a los desarrolladores mantener sus proyectos de manera sostenible a lo largo del tiempo.

Se ha creado una amplia gama de componentes desacoplados que se ofrecen a los desarrolladores como recursos y ejemplos para la creación de sus propios componentes. Esta biblioteca de componentes proporciona una base sólida y coherente para el desarrollo de aplicaciones web, permitiendo una mayor eficiencia y consistencia en el proceso de desarrollo.

Para mejorar aún más la accesibilidad y la productividad de los desarrolladores, se ha desarrollado una herramienta complementaria denominada "slicejs-cli". Esta herramienta simplifica y optimiza las tareas relacionadas con el uso del framework, ofreciendo funciones como la generación automática de código, la gestión de dependencias y la automatización de tareas repetitivas.

Todos los componentes del framework están exhaustivamente documentados y disponibles en la página de documentación del proyecto. Esta documentación proporciona a los desarrolladores una referencia completa y detallada sobre cada componente, incluyendo ejemplos de uso, descripciones de propiedades y métodos, así como guías paso a paso para su implementación.

### **Referencias bibliográficas**

- [1] A. Márml., J. Pérez, "Desarrollo de un marco de trabajo con node.js basado en componentes para el manejo de solicitudes a objetos de negocio embebidos en el backend". Revista Tecnocientífica URU, no. 19, Julio-Diciembre, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://uruojs.insiemp.com/ojs/index.php/tc/article/view/549>
- [2] M. Björemo., P. Trninić, "Evaluation of web application frameworks". Thesis in Software Engineering and Technology, Univ. of Gothenburg, Göteborg, Sweden, 2010. [En línea]. Disponible en: <https://odr.chalmers.se/items/d880ebb9-e1b3-4300-95f0-5c25d8441870>
- [3] F. G. Arias, El proyecto de investigación, Sexta edición. Editorial Episteme. Caracas, Venezuela, 2012. [En línea]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/301894369\\_EL\\_PROYECTO\\_DE\\_INVESTIGACION\\_6a\\_EDICION](https://www.researchgate.net/publication/301894369_EL_PROYECTO_DE_INVESTIGACION_6a_EDICION)
- [4] E. A. Meyer., E. Weyl, "CSS: The definitive guide: visual presentation for the web". Fourth edition, O'Reilly Media, Inc, United States of America, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://dokumen.pub/css-the-definitive-guide-visual-presentation-for-the-web-fourth-edition-9781449393199-1449393195.html>

# Controlador PID para el horno de craqueo R-401 de dicloroetano de una planta de monocloruro de vinilo

*PID controller for the R-401 dichloroethane cracking furnace of a vinyl monochloride plant*

**Elianna V. Albarrán-González**

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química. Maracaibo-Venezuela.

 <https://orcid.org/0009-0000-3785-9589> | Correo electrónico: [eliannalbarran@gmail.com](mailto:eliannalbarran@gmail.com)

**Danny J. Perozo-Rincón**

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química. Maracaibo-Venezuela.

 <https://orcid.org/0009-0003-7971-411X> | Correo electrónico: [dperozo87@gmail.com](mailto:dperozo87@gmail.com)

**Gladys A. Quevedo-Contreras**

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química. Maracaibo-Venezuela.

 <https://orcid.org/0000-0001-8656-0655> | Correo electrónico: [gladxidx@gmail.com](mailto:gladxidx@gmail.com)

Recibido: 08/05/2025 Admitido: 29/05/2025 Aceptado: 22/06/2025

## Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo principal analizar el sistema de control del horno de craqueo R-401 de una planta de monocloruro de vinilo, con la finalidad de construir un controlador PID a través de la determinación del modelo matemático mediante una data experimental extraída del autor Senior (2010), la selección de dicho modelo y la construcción de los controladores P, PI y PID los cuales pasaron por un proceso de selección y validación. Se busca incentivar la aplicación y uso de los diferentes programas computarizados para obtener simulaciones del proceso y obtener ajustes e identificación del sistema de una forma más precisa. En la actualidad las empresas en Venezuela aplican frecuentemente el método de entonación de ensayo y error pudiendo encontrar problemas de producción, seguridad, mantenimiento y de calidad del producto objetivo. Como resultado, se obtuvo un modelo matemático con un 70,44% de ajuste con respecto a la data experimental y un controlador PID que responde de forma acorde, rápida y precisa ante las perturbaciones inducidas.

**Palabras clave:** Sistemas de control, modelo matemático, horno de craqueo, controlador PID.

## Abstract

*The main objective of this research was to analyze the control system of the R-401 cracking furnace at a vinyl monochloride plant. The goal was to construct a PID controller by determining the mathematical model using experimental data extracted from Senior (2010), selecting the model, and constructing the P, PI, and PID controllers, which then underwent a selection and validation process. The objective is to encourage the application and use of various computer programs to obtain process simulations and obtain more precise system adjustments and identification. Currently, companies in Venezuela frequently apply the trial-and-error tuning method, which can lead to problems with production, safety, maintenance, and the quality of the target product. The result was a mathematical model with a 70.44% fit with respect to the experimental data and a PID controller that responds accordingly, quickly, and accurately to induced disturbances.*

**Keywords:** Control systems, mathematical model, cracking furnace, PID controller.

## Introducción

El control automático de procesos ha desempeñado un papel indispensable en el avance de la ingeniería y la industria. Los sistemas de control poco a poco se han convertido en una parte importante y fundamental en los procesos químicos modernos de fabricación, cualquier operación industrial requiere el control de variables como temperatura, presión, humedad, flujo, entre otras [1]. Es decir, que en la actualidad se hace indispensable

el uso de controladores que mantengan al margen las variables del proceso y las perturbaciones externas e internas que puedan afectar la eficiencia y seguridad de los procesos de producción. Para Smith y Corripio [2, p. 20] “el objetivo del sistema de control automático de procesos es utilizar la variable manipulada para mantener a la variable controlada en el punto de control a pesar de las perturbaciones”.

Kassem y Urdaneta [3] en su trabajo de investigación titulado: “Propuesta de mejora del sistema de control básico del horno de craqueo de diclorometano R-401” identificaron variables del proceso del horno de craqueo y obtuvieron modelos matemáticos del sistema que se evaluaron a través de un software matemático. Como resultado se generaron cuatro modelos que representan los cuatro lazos de control asociados al horno de craqueo, además de observar que los lazos de control de la empresa no estuvieron entonados correctamente, dado que no lograron estabilizar el sistema.

Por su parte, Senior [4] en su investigación titulada: “Desarrollo de un sistema de control PID para un reactor de diclorotano para la empresa COPLAN C.A” obtuvieron una función de transferencia sencilla que permite un control rápido y eficiente del sistema, tomando datos del lazo control M2FC403 y de la alimentación del monocloruro de vinilo al reactor EDC R-401 de la planta Vinilos II para el modelo matemático y para el diseño eficaz del controlador PID.

La entonación de los sistemas de control permite optimizar la respuesta del sistema, reducir el error, mejorar la estabilidad y evitar las oscilaciones. En la actualidad este protocolo de ajuste se realiza en diversas plantas de manera aleatoria por medio del tanteo en las variables del controlador, derivando en problemas para el proceso que van desde pérdida de efectividad por no sacar el máximo provecho del proceso, hasta aumentos de costos de producción. Por lo tanto, el uso de las diferentes herramientas o métodos que pueden presentar los distintos programas computarizados modernos, pueden proporcionar resultados mejores si se conoce por completo la dinámica de la planta en la cual se está trabajando.

En el presente trabajo se expone el proceso de construcción de un controlador PID para el horno de craqueo R-401 de dicloroetano de una planta que produce monocloruro de vinilo. En las plantas químicas y petroquímicas, los hornos suministran aproximadamente la totalidad de la energía requerida para los procesos de separación y conversión química de los productos, en este caso el horno R-401 es fundamental para la producción debido a que es el responsable de la obtención de dicloroetano, ácido clorhídrico y monocloruro de vinilo, a través del craqueo de dicloroetano puro. Por lo tanto, es necesario la implementación de un sistema de control óptimo para que todas las variables relacionadas al sistema se encuentren en orden y el funcionamiento de los equipos sea el adecuado.

El objetivo de esta investigación consistió en construir un controlador PID mediante la identificación, selección y diseño usando las herramientas computacionales MATLAB y SIMULINK, empleando como criterio la sencillez del modelo matemático, el ajuste con respecto a la data experimental obtenida y el comportamiento del controlador frente al estímulo proporcionado por las diferentes entradas aplicadas.

## Materiales y métodos

Se realizó una investigación de tipo descriptiva, proyectiva y comparativa, con un nivel comprensivo, aplicando un diseño experimental y cuantitativo, teniendo como unidad de análisis el lazo de control M2FC403.

El trabajo se condujo a través de las fases que se describen a continuación:

### **Fase 1. Determinación del modelo matemático que se aproxime al comportamiento del sistema a través del programa MATLAB.**

Para la obtención del modelo matemático se extrajo la data experimental obtenida por el autor Senior [4]. La recolección de los datos de las pruebas a lazo abierto en el horno de craqueo R-401 se realizó en un periodo de cinco (5) minutos, tomando un total de 300 muestras. Posteriormente, se ejecutó la exportación de la información del programa ofimático EXCEL al programa MATLAB donde se empleó el toolbox “System identification” para la obtención de 84 modelos matemáticos, con los modelos paramétricos ARX, ARMAX,

OE y BJ. Seguidamente, se hizo la transformación de las funciones de transferencia de tiempo discreto a tiempo continuo para efectuar la selección del modelo matemático más adecuado, tomando en consideración la simplicidad, análisis de comportamiento ante una función impulso y el comportamiento de ceros y polos.

### **Fase 2: Diseño de un controlador PID para el horno de craqueo R-401 mediante el programa MATLAB.**

Para esta fase se eligió el método de Ziegler-Nichols el cual consiste en determinar,  $L$ ,  $K$  y  $\tau$ , para aplicar las fórmulas otorgadas por los creadores del método, siguiendo los pasos que se mencionan:

1. Establecer la tangente al punto de inflexión para determinar  $L$ ,  $K$  y  $\tau$ .
2. Obtener los parámetros  $K$ .
3. Analizar las gráficas obtenidas y comprobar la estabilidad del sistema.

### **Fase 3: Selección del controlador PID más adecuado para el horno de craqueo R-401 mediante el programa MATLAB y SIMULINK.**

A través de los parámetros obtenidos de las pruebas realizadas en cada uno de los controladores, se procedió a simular el comportamiento del modelo matemático seleccionado en un controlador P, PI y PID, a través del software computarizado MATLAB con la herramienta SIMULINK. Se comprobó la estabilidad del sistema con el controlador mediante las funciones “step” en el programa. Luego, se validó el controlador con la data experimental, utilizando las entradas de todo el comportamiento del sistema real, el rango seleccionado del segundo impulso encontrado en el comportamiento real y la función impulso escalón inducida al sistema. Para la selección del controlador se tomaron en consideración los siguientes parámetros:

1. Tiempo de subida/Rise time.
2. Tiempo de asentamiento/Settling time.
3. Sobre impulso/Overshoot.
4. Tiempo de pico/ Peak time.
5. IAE (integral absoluta del error).

### **Fase 4: Comparación del rendimiento de controlador diseñado con el controlador construido en una investigación previa.**

Una de las tareas más importantes en el diseño de un controlador es la evaluación de su desempeño. Para ello, se comparó el controlador realizado con el del trabajo de Senior [4] para identificar las ventajas y desventajas del controlador construido, así como las posibles mejoras que se puedan implementar.

## **Resultados**

### **1. Establecimiento del modelo matemático más aproximado al comportamiento del sistema.**

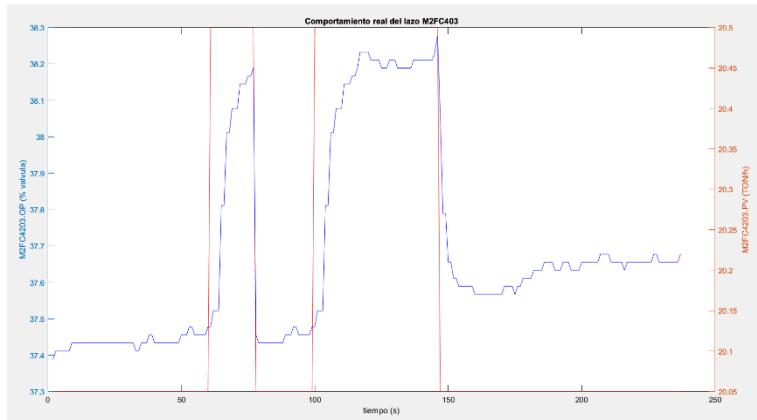
Los datos empleados en el modelo matemático provinieron de los datos experimentales de entrada y salida a lazo abierto, en el lazo de control M2FC403, que corresponde a la alimentación del monocloruro de vinilo al horno de craqueo R-401 de la planta Vinilos II [4]. En la tabla 1 se describen las variables manipuladas y controladas seleccionadas para el proceso.

**Tabla 1. Variables seleccionadas del proceso [4].**

	<b>Variable Manipulada</b>	<b>Variable Controlada</b>
Descripción	% de apertura de válvula	Flujo de producto
Unidades	Porcentaje (%)	Toneladas/Horas (Ton/h)

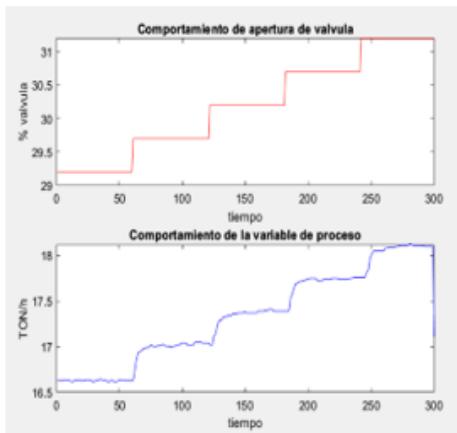
Al importar la data desde el programa ofimático EXCEL hasta el programa computarizado MATLAB, en la variable tipo “table” se tuvo que hacer una conversión de “table a array” (vector) para poder manipular la

data correctamente, y una vez obtenidos los vectores se procedió a graficar el comportamiento real del sistema con respecto a cada variable, observándose la relación de estas dos variables del sistema, como se muestra en la Figura 1.

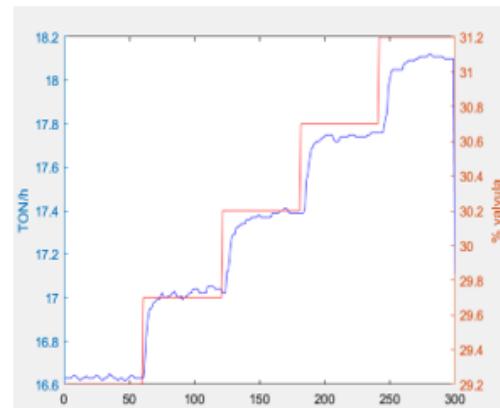


**Figura 1. Comportamiento real del lazo M2FC403 del horno de craqueo R-401**

A su vez, se tienen las funciones impulso escalón representativas del sistema, útiles para confirmar la relación que existe entre el flujo y la apertura de la válvula, pudiendo observar en las Figuras 2 y 3 que, a medida que la apertura de la válvula es mayor el flujo aumenta, por lo que se puede inferir que éstas son directamente proporcionales, comportamiento correspondiente a la respuesta de la entrada (% apertura de válvula) y salida (flujo). La apertura de la válvula está representada por el color rojo mientras que el flujo es representado por el color azul. En la Figura 3, se aprecia en conjunto este comportamiento, notándose que siguen la misma tendencia.

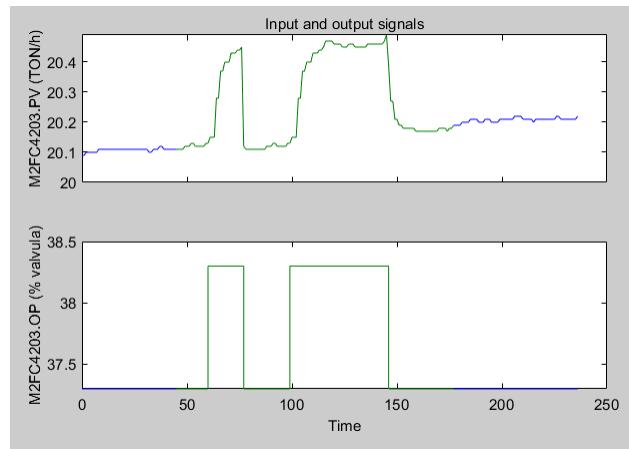


**Figura 2. Función impulso escalón del horno de craqueo R-401**



**Figura 3. Comparación de la función impulso escalón**

Teniendo la data cargada en el programa MATLAB se procedió al manejo y utilización del toolbox “System Identification” el cual permitió obtener modelos matemáticos a través de los datos experimentales. Para efectos de esta investigación, se seleccionó un rango para la obtención de los modelos matemáticos, con el propósito de trabajar solamente con los cambios generados, sin incluir el comportamiento constante que tiene la apertura y cierre de la válvula. En la Figura 4, se visualiza el rango mencionado, siendo la línea de color azul el comportamiento de la data y la de color verde el rango seleccionado.



**Figura 4. Selección del rango de la entrada y salida del lazo M2FC403**

Mediante el uso de la herramienta se logró el despliegue de 21 modelos matemáticos (84 modelos en total) para cada uno de los modelos polinomiales ARX, ARMAX, OE y BJ. Es importante destacar que para la obtención de estos modelos matemáticos se realizó un proceso iterativo, intercambiando los valores de los polos, ceros, tiempo muerto y ruido. Posteriormente, se realizó la selección del modelo matemático, acortando inicialmente a una cifra de cuatro modelos, hasta llegar a la selección definitiva del modelo matemático con el que se trabajó, que fue el que exhibió el mejor ajuste.

A modo de resumen, la Tabla 2 contiene los cuatro modelos matemáticos que pasaron la preselección, siendo el criterio de selección el ajuste del modelo matemático. Es importante mencionar que, para la selección del modelo matemático, se evaluaron las funciones de transferencia resultantes, el comportamiento de sus polos y ceros, el comportamiento del sistema ante la función escalón y el porcentaje de ajuste que tiene el modelo con respecto a la data experimental.

**Tabla 2. Modelos con mayor ajuste para el lazo M2FC403**

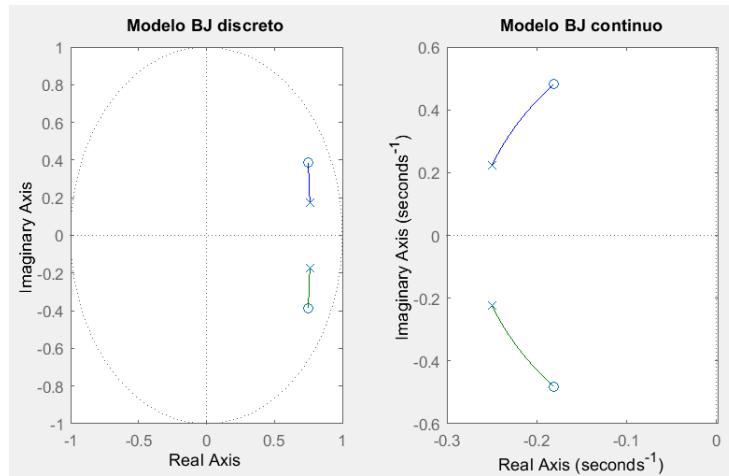
Modelo	Ajuste %
ARX530	56,98
AMX6660	69,65
OE450	68,48
BJ33320	70,44

Tras los análisis realizados se seleccionó 1 modelo matemático BJ33320 por presentar un 70,44% de ajuste, exhibir la función de transferencia más simple, un comportamiento totalmente estable con respecto a sus polos y ceros, y ser el sistema más rápido ante la respuesta de un escalón. Su función de transferencia en tiempo continuo y discreto, comportamiento de polos y ceros y su respuesta ante la función escalón, se reflejan en las siguientes ecuaciones

$$\frac{0,117s^2+0,04254s+0,03114}{s^2+0,4992s+0,1124} \quad (\text{Ec.1})$$

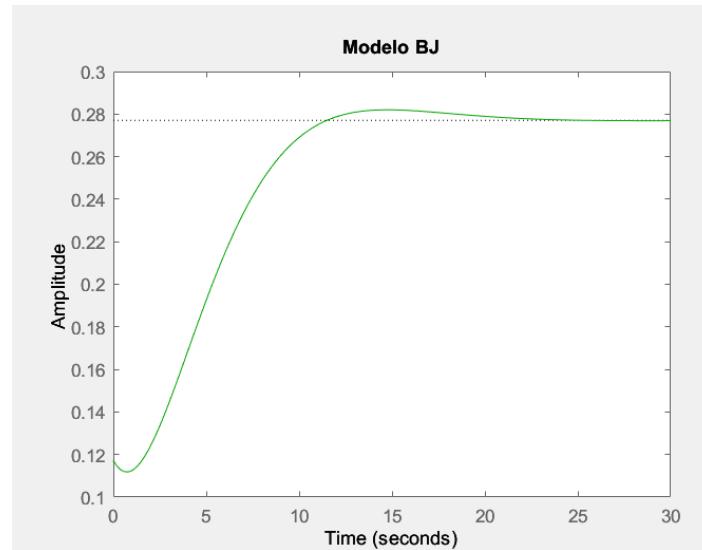
$$\frac{0,1145-0,1713z^{-1}+0,08121z^{-2}}{1-1,521z^{-1}+06093z^{-2}} \quad (\text{Ec.2})$$

Las ecuaciones 1 y 2 reflejan la función de transferencia del modelo seleccionado en tiempo continuo y discreto, respectivamente.



**Figura 5. Gráfica de la ubicación de polos y ceros para BJ33320 en tiempo continuo y discreto**

En la Figura 5 se muestra el comportamiento de los polos y ceros en tiempo discreto y continuo. Para el tiempo discreto se aprecia que estos polos y ceros se encuentran dentro del círculo unitario, indicando que el sistema es estable y las oscilaciones serán atenuadas con el tiempo. Para el tiempo continuo se reafirma lo enunciado anteriormente, el sistema es sin lugar a dudas estable debido a que todos sus polos y ceros se encuentran en la parte imaginaria negativa, con una respuesta oscilatoria con amortiguamiento. En la Figura 6 se representa gráficamente la respuesta del sistema ante un escalón unitario.



**Figura 6. Gráficas de comportamiento de la función escalón para el modelo BJ en tiempo continuo**

## 2. Diseño de un controlador PID para el horno de craqueo R-401.

Con el modelo matemático seleccionado se procedió a aplicar el método Ziegler-Nichols (Z-N) mediante el programa MATLAB. Se prosiguió a determinar el retardo del sistema ( $L$ ), la constante de tiempo ( $\tau$ ) y la frecuencia a la que se estabilizó el sistema ( $K$ ), estos parámetros se localizaron en la respuesta del modelo ante la función escalón, pudiendo trazar una línea tangente al punto de inflexión y visualizar  $L$ ,  $K$  y  $\tau$ .

Es importante mencionar que el método Z-N se aplica a sistemas que no contengan integradores ni polos dominantes complejos conjugados [1]; es decir, en sistemas de primer orden que tengan como respuesta

una curva en forma de S. Para efectos de esta investigación se contó con un modelo de segundo orden, pero con el comportamiento de una curva en forma de S ante la respuesta de un escalón; sin embargo, se tuvo un pequeño porcentaje de overshoot (1,795%) el cual no es lo suficientemente representativo como para descartar esta metodología. Por los motivos planteados, se decidió aplicar el método al sistema de segundo orden y a su vez, realizar una reducción de orden en la función de transferencia, aplicar el método Z-N y demostrar el escenario donde responde mejor el método.

$$\begin{aligned}
 L &= 1,41 \\
 \tau &= 8,34 - L = 6,9300 \\
 K &= 0,277
 \end{aligned} \tag{Ec.3}$$

Con esos parámetros se pudo calcular el factor de incontrolabilidad, donde Smith & Corripio [2] enuncian que las ecuaciones de sintonía para el método Z-N arrojan buenos resultados cuando este factor está dentro del rango entre 0,1 y 0,3.

$$\frac{L}{\tau} = \frac{1,41}{6,9300} \tag{Ec.4}$$

Se observó que el factor de incontrolabilidad se encontró dentro del rango. De la Tabla 3 se extrajeron las ecuaciones para la obtención de  $K_p$ ,  $T_i$  y  $T_d$  dotando de resultados a la tabla 4, que recopila los valores de  $K_p$ ,  $K_i$  y  $K_d$  obtenidos de las ecuaciones 5a, 5b y 5c.

**Tabla 3. Regla de sintonía de Ziegler-Nichols basada en la respuesta escalón de la planta (primer método) [1]**

Tipo de controlador	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$\frac{T}{L}$	$\infty$	0
PI	$0,9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0,3}$	0
PID	$1,2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0,5L$

**Tabla 4. Tabla de ganancias para el ajuste del controlador PID mediante Z-N con un sistema de segundo orden**

Tipo de controlador	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	4,9149	-	-
PI	4,4234	0,94115	-
PID	5,8979	2,0914	4,158

$$K_p \tag{Ec.5a}$$

$$K_i \frac{K_p}{K_i} \tag{Ec.5b}$$

$$K_d = K_p * T_d \tag{Ec.5c}$$

Posteriormente, se redujo el sistema mediante el método del polo dominante, el cual consistió en identificar el polo con mayor influencia en el sistema y obviar los demás que tuvieron una menor relevancia en el comportamiento del sistema. La nueva función de transferencia se muestra en la ecuación 6; mientras que, en la tabla 5 se presentan las ganancias obtenidas para esta nueva función de transferencia.

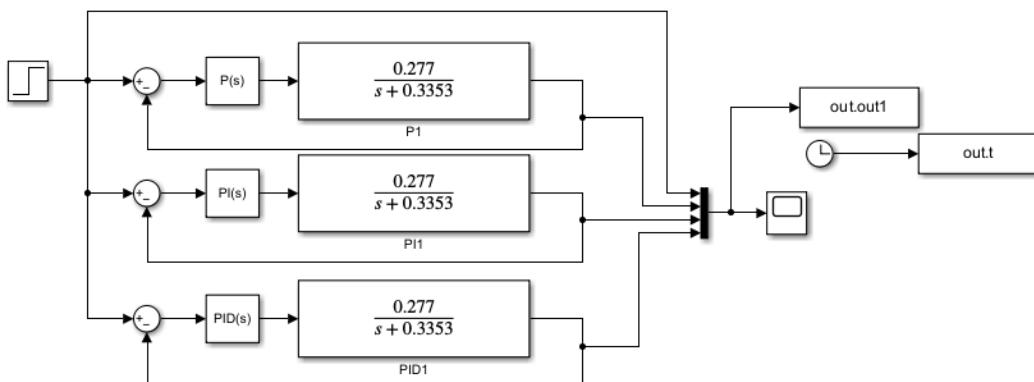
$$\frac{0,277}{s+0,3353}$$

**Tabla 5. Tabla de ganancias para el ajuste del controlador PID mediante Z-N con un sistema de primer orden**

Tipo de controlador	K <sub>p</sub>	T <sub>i</sub>	T <sub>d</sub>
P	10,8148	-	-
PI	9,7333	10,815	-
PID	12,978	24,033	1,752

### 3. Selección del controlador PID más adecuado para el horno de craqueo R-401.

Tras obtener las ganancias correspondientes para un controlador P, PI y PID para el sistema determinado BJ3330 y para el sistema reducido; se procedió a trabajar con la herramienta SIMULINK creando un diagrama de bloques con los modelos ya mencionados. En las Figuras 7 y 8 se observan los diagramas de bloques creados para los sistemas de segundo y primer orden. De izquierda a derecha se observa en primera instancia, que se induce al sistema una perturbación que sería la función escalón, seguidamente se aprecian cuatro bifurcaciones de esta señal, para luego introducirse en un punto suma, dado por la sumatoria de la perturbación menos la retroalimentación del sistema, debido a que se está trabajando en un lazo cerrado. Seguidamente, se tiene el controlador proporcional, proporcional integral y proporcional integral derivativo; el siguiente bloque corresponde a la función de transferencia en tiempo continuo, mostrado en la ecuación 1 y 6. Para finalizar, se observa un “mux” que combina todas las señales en una señal dirigida al “scope” u osciloscopio, donde se pueden visualizar las respuestas del proceso.



**Figura 8. Diagrama de bloques del sistema de primer orden con controladores P, PI y PID**

De las figuras 9 y 10 se destaca que, para el controlador proporcional ilustrado con la línea azul para ambos casos, que este se estabiliza, pero no llega a la referencia que es 1, puesto que se le indujo una perturbación del tipo escalón unitario, por lo que este controlador queda descartado para la aplicabilidad y estudio

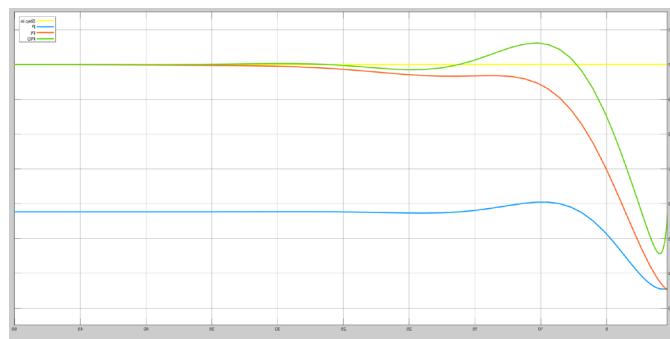


Figura 9. Comportamiento de los controladores P, PI y PID en el sistema de segundo orden

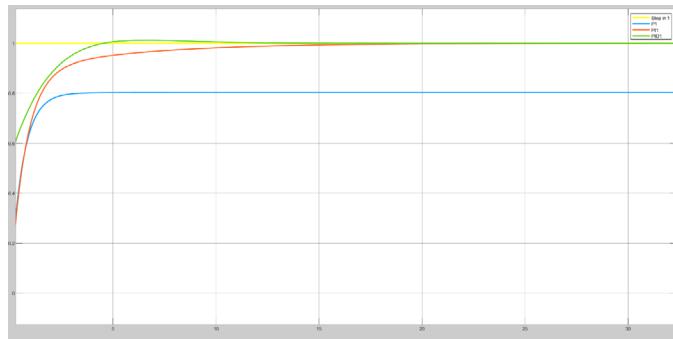


Figura 10. Comportamiento de los controladores P, PI y PID en el sistema de primer orden

Luego de analizar los controladores ante una función impulso, se seleccionó el controlador PI y PID, los cuales pasan por un proceso de validación creando un nuevo diagrama de bloques, tal como se muestra en la figura 11, donde se incluye a ambos sistemas.

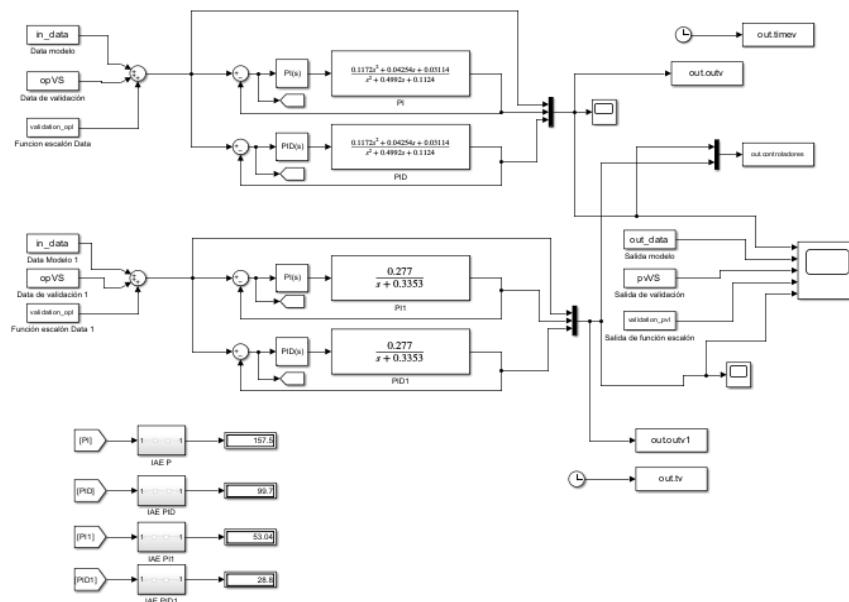


Figura 11. Diagrama de bloques utilizado para la validación del controlador

El diagrama mostrado sigue la misma estructura presentada en las Figuras 7 y 8, con la diferencia de que para este caso se unieron los dos sistemas, y que las perturbaciones al sistema ya no corresponden a

una función escalón sino a la data experimental, siendo “in data” y “out\_data” la entrada o la apertura de la válvula, y la salida o flujo de vapor en la data utilizada para la determinación del modelo matemático, cuyo comportamiento se puede observar en la Figura 1. Los parámetros  $opvS$  y  $pvS$  corresponden a la entrada y salida de un rango correspondiente al segundo impulso reflejado en la Figura 1, el cual es el más grande, y su comportamiento se visualiza en la Figura 12. Para finalizar, se tiene “validation\_opl” y “validation\_pvl” que corresponden a las entradas y salidas de la función impulso escalón, ilustrada en la Figura 2. El arreglo que se tiene en el diagrama de los “scopes” tiene como finalidad visualizar por separado la respuesta de los controladores en los sistemas de primer y segundo orden, respectivamente, con respecto a la entrada; así como también, para observar el comportamiento en conjunto de todos los controladores, teniendo como referencias las salidas ya descritas. Además, se incorporaron algunas operaciones algebraicas a la señal entrante del controlador, con el propósito de calcular la integral absoluta del error.

Para la validación, se introdujeron tres perturbaciones diferentes de la data real experimental, siendo estas entradas las siguientes: el comportamiento real del sistema ilustrado en la Figura 1, el rango del segundo impulso inducido al sistema y la función impulso escalón exhibido en las Figuras 2 y 3, y el rango del segundo impulso ilustrado en la Figura 12; pudiéndose observar que el comportamiento de los controladores se ajustó al comportamiento del sistema de forma efectiva. Se construyeron las siguientes tablas con las respuestas en estado transitorio de los controladores PI y PID, para los sistemas de primer y segundo orden, respectivamente.

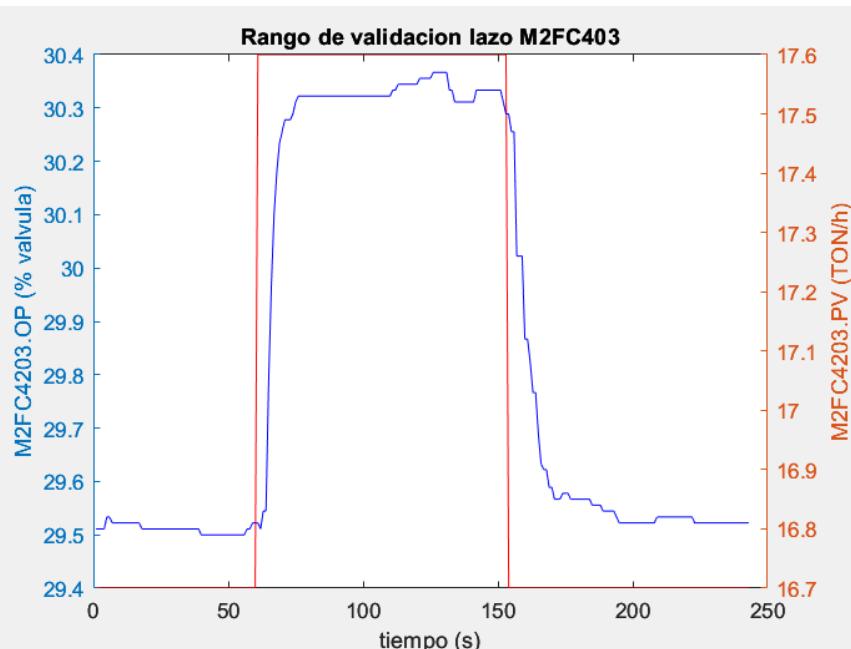


Figura 12. Diagrama de bloques utilizado para la validación del controlador

Para esta perturbación “in\_data” se construyó la tabla 6, el controlador que se estabilizó en un menor tiempo fue el PID; sin embargo, obtuvo el mayor “overshoot” de 6,141 % con un valor de 39,591 a un tiempo de 10,073 s. En caso contrario, se tuvo el PID1 siendo este el segundo controlador con el tiempo de asentamiento más rápido con un 2,712 % de “overshoot” a un tiempo de 105,799 s. Para los demás controladores, se obtuvieron resultados similares; no obstante, se diferenciaron en la magnitud de la integral absoluta del error, la cual reflejó el valor acumulado de los errores absolutos entre la respuesta del sistema y el valor de referencia. El controlador que consiguió el menor valor de IAE fue el controlador PID en el sistema de primer orden.

**Tabla 6. Criterios para la selección del controlador en el sistema de segundo y primer orden ante una entrada “in\_data”**

	RiseTime	SettlingTime	Overshoot	Undershoot	Peak	PeakTime	IAE
PI segundo orden	8,459	146,718	2,679	0	38,299	145,956	157,500
PID segundo orden	0	146,343	6,141	0	39,591	10,073	99,700
PI1 primer orden	2,521	146,735	2,681	0	38,300	145,956	53,040
PID1 primer orden	2,226	146,430	2,712	0	38,312	105,799	28,800

Para esta perturbación “opVS” se construyó la tabla 7, el controlador que se estabilizó en un menor tiempo fue el PID; sin embargo, fue el que obtuvo el mayor “overshoot” de 6,208 % con un valor de 31,225 a un tiempo de 10,371 s. Por otro lado, se obtuvo el PID1, siendo este el segundo controlador con el tiempo de asentamiento más rápido con un 3,499 % de “overshoot” a un tiempo de 65,892 s. Para el resto de los controladores se obtuvieron resultados similares, aunque con diferencias en la magnitud de la integral absoluta del error. El controlador que consiguió el menor valor de IAE fue el controlador PID en el sistema de primer orden.

**Tabla 7. Criterios para la selección del controlador en el sistema de segundo y primer orden ante una entrada opVS**

	RiseTime	SettlingTime	Overshoot	Undershoot	Peak	PeakTime	IAE
PI segundo orden	8,447	154,716	3,401	0	30,400	152,665	120,400
PID segundo orden	0	153,310	6,208	0	31,225	10,371	76,300
PI1 primer orden	2,510	153,670	3,401	0	30,400	152,660	40,390
PID1 primer orden	2,226	153,343	3,499	0	30,429	65,892	21,870

Para la perturbación “validation\_opl” se elaboró la Tabla 8, el controlador que se estabilizó en un menor tiempo fue el PID; sin embargo, obtuvo el mayor overshoot de 0,099% con un valor de 31,231 a un tiempo de 251,717 s. Por otro lado, el controlador PID1 fue el segundo controlador con el tiempo de asentamiento más rápido con un 0,070 % de “overshoot” a un tiempo de 247,054 s; mientras, que los demás controladores no tuvieron un sobre pico. Estos valores están reflejados en la gráfica, puesto que al estabilizarse el sistema el controlador PID y PID1 no se asientan justamente en la referencia, sino levemente por encima de ésta. Los demás controladores presentaron resultados similares, pero con diferencia en la magnitud de la integral absoluta del error. El controlador que consiguió el menor valor de IAE fue el PID en el sistema de primer orden.

**Tabla 8. Criterios para la selección del controlador en el sistema de segundo y primer orden ante una entrada validation\_opl**

	RiseTime	SettlingTime	Overshoot	Undershoot	Peak	PeakTime	IAE
PI segundo orden	11,539	186,871	0	0	31,200	350,000	119,700
PID segundo orden	0	185,110	0,099	0	31,231	251,717	75,810
PI1 primer orden	6,055	182,477	0,000	0	31,200	350,000	40,130
PID1 primer orden	3,210	182,146	0,070	0	31,222	247,054	21,750

Luego de haber realizado la selección y validación de los controladores se ratificó que el controlador PID diseñado para el sistema reducido de primer orden y segundo orden, respondió de forma efectiva ante la estimulación de la data real. Por lo que, el controlador seleccionado fue el PID, tanto para primer orden como para segundo orden.

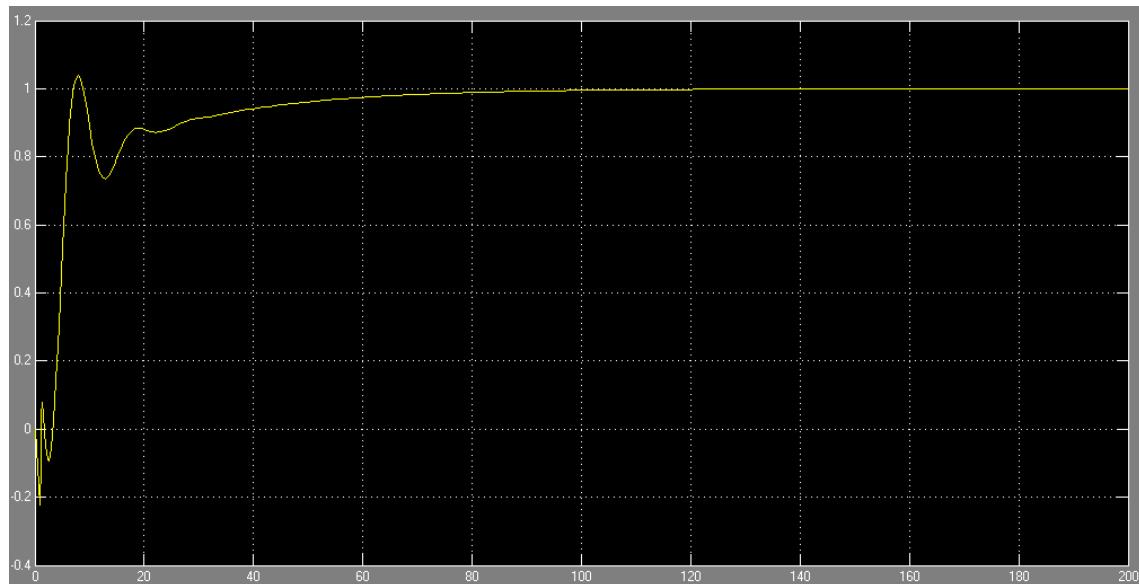
#### 4. Comparación del rendimiento del controlador diseñado con el controlador descrito previamente.

A forma de resumen se muestran las siguientes tablas que contienen los datos más relevantes del controlador seleccionado.

**Tabla 9. Aspectos comparativos del controlador diseñado con respecto al construido previamente.**

Autor	Misma data	Mismo lazo de control	Tipo de controlador	Método de entonamiento	Kp	Ki	Kd	Settlin Time	Rise Time	Overshoot	Peak
Senior, 2010 [4]	Si	Si	PID	Routh-Hurwitz	3,36	17,681	0,096	136	6,5	1	1,042
Albarrán, Perozo y Quevedo, 2025 (presente trabajo)	Si	Si	PID Sistema de Segundo orden	Ziegler-Nichols	5,9	2,091	4,16	14,5	0	6,18	1,06
Albarrán, Perozo y Quevedo, 2025 (presente trabajo)	Si	Si	PID Sistema de primer orden	Ziegler-Nichols	13	24,03	1,75	3,7	2,23	1,22	1,01

Se observa que, para los modelos utilizados en esta investigación, se obtuvieron las ganancias empleando un método de entonación diferente al empleado en el trabajo de Senior [4]. La comparación se realizó con respecto a la entrada de una perturbación del tipo escalón unitario, debido a que en la literatura no se encontró información sobre las respuestas en estado transitorio ante la estimulación del sistema con la data experimental real. La respuesta a estas entradas fue de tipo escalón, como se puede notar en las Figuras 13 y 14, respectivamente.



**Figura 13. Comportamiento de controlador PID aplicado al modelo matemático seleccionado en tiempo continuo.**

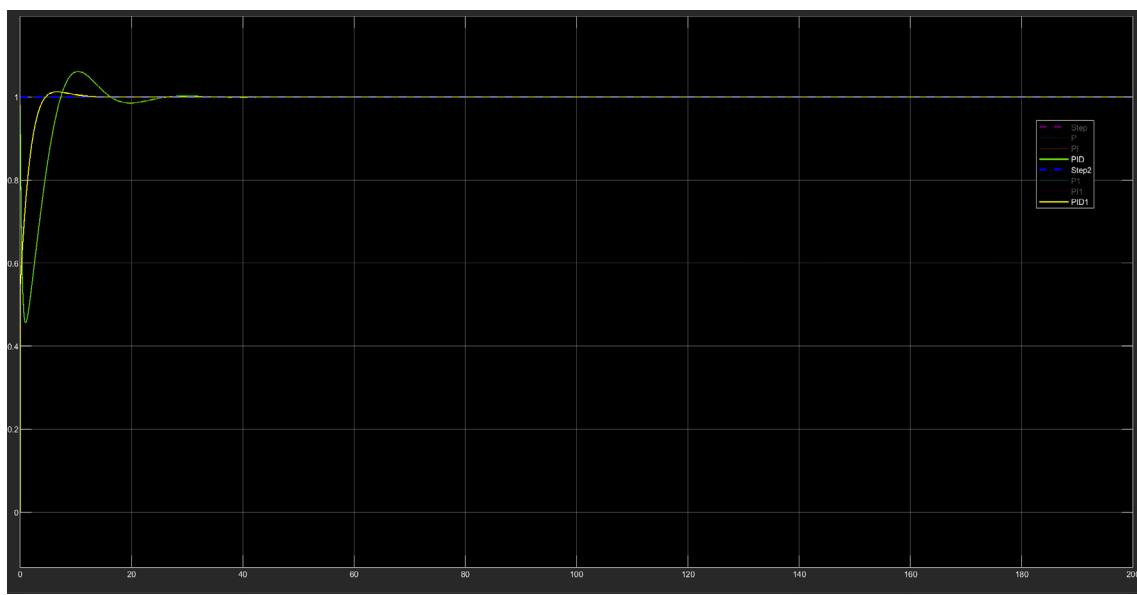


Figura 14. Comportamiento de los controladores PID en el sistema de segundo y primer orden

Tabla 10. Comparación de los modelos matemáticos obtenidos con respecto a los construidos previamente en trabajos de investigación en tiempo continuo

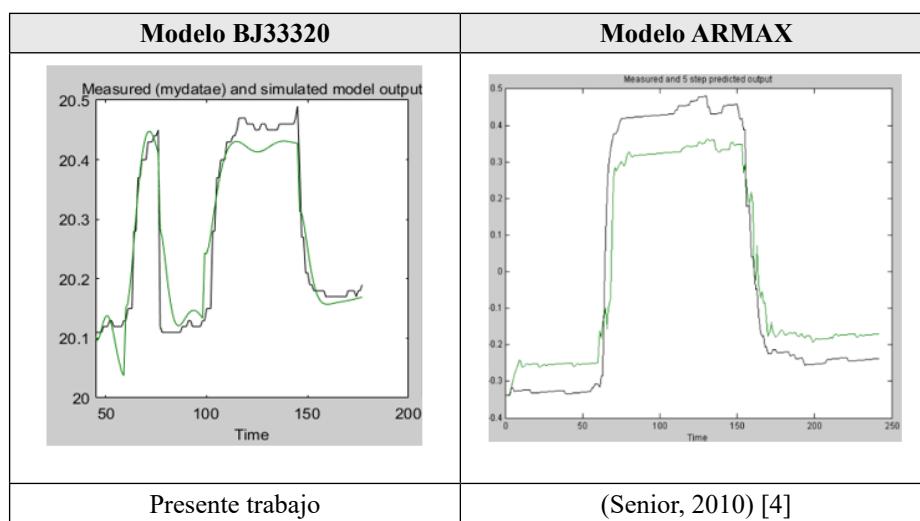
Modelo BJ33320	Modelo ARMAX
$\frac{0,1172s^2+0,04254s+0,03114}{s^2+0,4992s+0,1124}$	$\frac{-0,05379s^3+0,3227s^2-0,6454s+0,4303}{s^3+4,187s^2+4,747s+0,7475}$
Presente trabajo	(Senior, 2010) [4]

Tabla 11. Comparación de los modelos matemáticos obtenidos con respecto a los construidos previamente en trabajos de investigación en tiempo discreto

Modelo BJ33320	Modelo ARMAX
$\frac{0,1145-0,1713z^{-1}+0,08121z^{-2}}{1-1,521z^{-1}+06093z^{-2}}$	$\frac{0,09838}{z^3-0,8291z^2}$
Presente trabajo	(Senior, 2010) [4]

Se observó que las ganancias resultantes de esta investigación fueron mayores a las del trabajo en referencia (Tabla 9), esto es debido a la diferencia del método de entonamiento utilizado y a la diferencia en cuanto al modelo matemático trabajado.

**Tabla 12. Comparación del comportamiento del modelo determinado con respecto a los construidos previamente en trabajos de investigación**



Luego de haber realizado esta comparación se puede establecer que ambos sistemas responden de forma efectiva ante las perturbaciones inducidas de la data experimental; sin embargo, el modelo matemático obtenido en este trabajo de investigación mediante el modelo polinomial Box-Jenkins (BJ), se acercó más a la data experimental.

### Conclusiones

El modelo matemático que presentó mejor ajuste, mayor sencillez en términos de su función de transferencia, fue el modelo BJ33320. No obstante, es importante realizar el análisis del comportamiento de los polos y ceros en tiempo continuo y discreto para este tipo de identificación de modelos, puesto que confirman el comportamiento del sistema en general, siendo el círculo unitario de gran ayuda al momento de analizar con rapidez la estabilidad de un sistema.

El método de Ziegler-Nichols es un método fácil de aplicar cuando se tiene solamente la respuesta del sistema, se puede aplicar la metodología a sistemas de segundo orden que sean sub-armortiguados o que tengan un overshoot despreciable.

El controlador que mejor respondió ante la data experimental del sistema fue el PID para los sistemas de primer y segundo orden; sin embargo, no se seleccionó ningún orden específico, puesto que, al emplearse regresiones lineales para la determinación del modelo y ecuaciones probabilísticas para la estimación de las variables, se acarrea un error de estimación. Por lo tanto, al realizar la reducción de orden a la función de transferencia se le suma un error más. Por lo que se evidencia que, el controlador PID para ambos sistemas responde de manera eficiente para las ganancias probadas.

El controlador diseñado mediante la obtención del modelo matemático BJ y el método de entonamiento Ziegler-Nichols, mostró un mejor rendimiento con respecto al controlador propuesto por Senior [4], debido a que exhibió mejores respuestas de estado transitorio frente a la función escalón, mayor sencillez en las funciones de transferencias propuestas y, mayor ajuste del modelo matemático con respecto a la data experimental.

### Referencias bibliográficas

- [1] K. Ogata, Ingeniería de Control Moderna. 5ta edición, Madrid: Pearson Educación S.A., 2009.[En línea]. Disponible en: <https://ingenierovizcaino.com/material/libros/sd/ingenieria-de-control-moderna-ogata-5ed.pdf>

[2] C. Smith, & A. Corripio, Control Automático de Procesos. En: C. Smith, & A. Corripio, Control Automatico de Procesos: Teoría y Práctica. Primera edición, Ciudad de Mexico: Limusa S.A., 1991. [En línea]. Disponible en: [https://www.academia.edu/11730887/Control\\_Automatico\\_de\\_Procesos\\_Teoría\\_y\\_Práctica\\_SMITH\\_CORRIPIO](https://www.academia.edu/11730887/Control_Automatico_de_Procesos_Teoría_y_Práctica_SMITH_CORRIPIO)

[3] N. Kassem & V. Urdaneta, “Propuesta de mejora del sistema de control básico del horno de craqueo de dicloroetano”. Trabajo especial de grado, Univ. Rafael Urdaneta, Maracaibo, Venezuela, 2014.

[4] R. Senior, “Desarrollo de un sistema de control PID para un reactor de dicloroetano para la empresa COPLAN C.A.”. Trabajo especial de grado, Univ. Rafael Urdaneta, Maracaibo, Venezuela, 2010.

# Diseño de red IIoT para la detección vehicular

*IIoT network design for vehicle detection*

**Erick M. Díaz-Rodríguez**

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones.  
Maracaibo, Venezuela

 <https://orcid.org/0009-0006-7647-4749> | Correo electrónico: [erickdiaz.rdgz@gmail.com](mailto:erickdiaz.rdgz@gmail.com)

**Gabriela V. Rey-Pérez**

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones.  
Maracaibo, Venezuela.

 <https://orcid.org/0009-0008-0640-6323> | Correo electrónico: [gabrp2908@gmail.com](mailto:gabrp2908@gmail.com)

**Andrés A. Sánchez-Semprún**

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Eléctrica. Maracaibo, Venezuela.  
 <https://orcid.org/0000-0002-6918-224X> | Correo electrónico: [andres.sanchez.68880@uru.edu](mailto:andres.sanchez.68880@uru.edu)

**Gilberto J. Araujo-Fernández**

Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería de Telecomunicaciones.  
Maracaibo, Venezuela.

 <https://orcid.org/0009-0008-5586-4945> | Correo electrónico: [gilberto.araujo@uru.edu](mailto:gilberto.araujo@uru.edu)

Recibido: 11/03/2025 Admitido: 08/05/2025 Aceptado: 08/07/2025

## Resumen

La medición del tráfico vehicular es de suma importancia en zonas urbanas a fin de monitorear el flujo de vehículos, por lo que se realizó el diseño de una red IIoT para la medición del tráfico de una avenida de Maracaibo, estado Zulia. Se empleó un enfoque descriptivo y proyectivo, con un diseño de campo, no experimental, longitudinal y cuantitativo, aplicando métodos de observación directa y documental. Los resultados indican que la tecnología LoRaWAN es la más idónea, además, se describieron los requerimientos y se seleccionaron los equipos de la red. Para el diseño se posicionaron los equipos de detección y red, se comprobó la factibilidad de los enlaces, se planteó el presupuesto del proyecto y se comprobó la correcta operación del equipo de detección. Se concluye que el diseño de red propuesto permite la contabilización vehicular y transmisión de estos datos, posibilitando su implementación rentable en la ciudad.

**Palabras clave:** Tránsito vehicular, IoT, sensor, LoRaWAN, radioenlace.

## Abstract

*The measurement of vehicular traffic is of utmost importance in urban areas in order to monitor the flow of vehicles, the purpose of this paper was design of an IIoT network was carried out to measure the traffic of an avenue in Maracaibo, Zulia state. A descriptive and projective approach was used, with a field, non-experimental, longitudinal and quantitative design, applying direct observation and documentary methods. The results indicate that LoRaWAN technology is the most suitable, in addition, the requirements were described and the network equipment was selected. For the design, the detection and network equipment were positioned, the feasibility of the links was checked, the project budget was proposed and the correct operation of the detection equipment was verified. In conclusion, the proposed network design allows the vehicle accounting and the transmission of this data, enabling its profitable implementation in the city.*

**Keywords:** Vehicular traffic, IoT, sensor, LoRaWAN, radio link.

## Introducción

La obtención de datos referentes al tráfico vehicular es de suma importancia en las grandes zonas urbanas a fin de controlar y monitorear el flujo de vehículos en las ciudades dado que sirve como herramienta esencial para prevenir el aumento del tráfico, comprobando el flujo vehicular existente y generando una movilización eficiente entre los usuarios. La ausencia de un sistema de medición efectivo representa un inconveniente en la planificación de proyectos viales, influyendo desfavorablemente a la calidad de vida de los ciudadanos, aumentando los tiempos de viaje y generando un mayor desgaste en las obras viales.

Una de las problemáticas más frecuentes en la ciudad de Maracaibo es la falta de fluidez en las arterias viales en horas pico, lo que ocasiona un aumento en la congestión del tráfico vehicular, siendo definida por Thomson y Bull [1] como “la condición en la que un alto número de vehículos se movilizan a una velocidad sin restricciones, progresando de manera irregular y obstaculizando el movimiento de los demás, resultando en un incremento del tiempo de tránsito para cada uno”.

Es por esto que la presente investigación busca proponer el diseño de una red IIoT que posibilite la contabilización de vehículos en la ciudad de Maracaibo, a fin de llevar un registro del flujo vehicular y proporcionar una herramienta que permita optimizar la gestión de recursos en la ciudad, con el identificando los puntos de mayor congestión en la vialidad terrestre en tiempo real para redistribuir las arterias viales y controlar el tránsito vehicular. Rodríguez y Bravo [2] expresan que “el IIoT impulsa el crecimiento urbano a través del análisis de datos en tiempo real, asistiendo en la toma de decisiones que mejoran la calidad de vida de los habitantes”. La implementación de dichos sistemas facilita la disminución del tráfico vehicular, reduciendo el tiempo de espera en los semáforos, lo cual respalda la sostenibilidad de la movilización urbana.

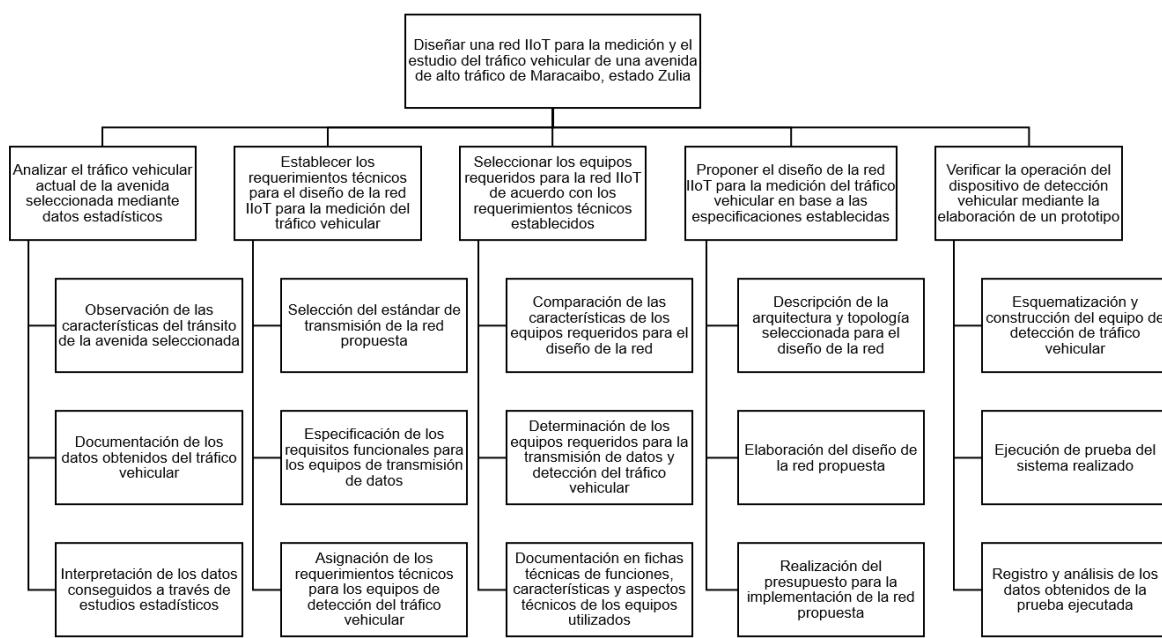
El estudio realizado por García, Parra, Jiménez, Lloret, & Lorenz [3] titulado: “Real-time traffic monitoring in urban areas using low-cost IoT sensors: A case study in Barcelona”, detalla la propuesta de un sistema de control vehicular que brinda un manejo más eficiente para el tráfico, proporcionando a esta investigación la base para la realización del diseño de la red de sensores IIoT.

Asimismo, el trabajo de Gite y Sukode [4] titulado: “Sistema de control y monitoreo de la congestión del tráfico vehicular con IoT” describe la implementación de un sistema que permite la gestión dinámica de señales de tráfico, posibilitando la implementación de tecnologías IoT para el aumento de la eficiencia y confiabilidad del sistema, contribuyendo a este trabajo en la manera de detectar y almacenar datos relacionados con la evolución de la congestión vehicular.

Durante esta investigación, se emplearon diferentes métodos de recopilación de datos para el desarrollo del diseño de red, como la revisión bibliográfica de fuentes especializadas, la recopilación y análisis de datos estadísticos referente al flujo vehicular, la elaboración de fichas técnicas correspondientes a los equipos incorporados en la red, y la realización de pruebas de verificación para el análisis del tráfico vehicular, así como del equipo de detección elaborado. Los resultados posibilitan la obtención de una red de conteo de vehículos que facilite el análisis de los datos para contribuir de forma directa a la reducción del congestionamiento vehicular en la ciudad de Maracaibo.

## Materiales y métodos

La investigación fue de tipo descriptiva y proyectiva, con diseño de campo, no experimental, longitudinal y cuantitativo, se aplicaron técnicas de observación directa y documental y se realizó en la Universidad Rafael Urdaneta, estado Zulia, Venezuela. A continuación, se describen las fases y procedimientos llevados a cabo para diseñar la red IIoT para la medición del tráfico vehicular (Figura 1).



**Figura 1. Diagrama del procedimiento de la investigación**

### **Fase I. Análisis del tráfico vehicular de una avenida de la ciudad**

En esta etapa se realizaron mediciones del tráfico vehicular de forma directa, en las horas pico de la mañana y la tarde, específicamente de 7:30 am a 8:30 am y de 5:00 pm a 6:00 pm, efectuadas en tres días diferentes de la misma semana, y se complementó con la repetición de estas mediciones en otra semana no consecutiva. Posteriormente, se interpretaron los datos de la avenida mediante análisis estadísticos.

### **Fase II. Determinación de los requerimientos técnicos de la red**

En esta fase se llevó a cabo la selección de la tecnología de transmisión mediante una comparación entre las más destacadas, en función de indicadores como: frecuencia, velocidad de transmisión, rango de cobertura, requisitos de alimentación y número de canales. Los requerimientos técnicos de los equipos de red y de detección se presentaron en tablas, donde se especificaron cada una de las necesidades de los mismos para la red propuesta.

### **Fase III. Selección de los equipos requeridos**

En cuanto a la selección de los equipos de red y de detección, se realizaron comparaciones entre distintas tecnologías y marcas, considerando para los equipos de red: la cobertura, frecuencia, velocidad de transmisión, cantidad máxima de nodos de sensores soportados, resistencia a la intemperie, capacidad de interconexión, temperatura de operación y costo. Para la elección del sensor del equipo de detección se consideró: el rango y ángulo de detección, el tipo de detección, la tensión de operación y el rango de temperatura. Posteriormente, se describieron los equipos seleccionados en fichas técnicas con el objetivo de recolectar las especificaciones y aspectos técnicos de los mismos.

### **Fase IV. Propuesta de diseño de la red**

Para la propuesta del diseño de la red, en primer lugar, se describió la arquitectura y las topologías presentes en la misma, para determinar el posicionamiento de los equipos de red y detección mediante el software Google Earth, el cual también se empleó para extraer las coordenadas de las edificaciones en donde se localizan los radiotransmisores y gateway distribuidos en la ciudad. Luego de ubicar los equipos de la red se utilizaron los simuladores UISP Design Center y Radio Mobile, con la finalidad de comprobar la factibilidad

de los radioenlaces establecidos. Además, a partir de la obtención de la cantidad de equipos que conforman la red, se elaboró el presupuesto para la implementación del proyecto en la avenida y su expansión a la ciudad de Maracaibo.

### **Fase V. Verificación del dispositivo de detección vehicular**

Por último, se llevó a cabo la esquematización y construcción del equipo de detección, en donde se requirió el sensor de ultrasonido y el microcontrolador, así como un protoboard, dos resistencias de  $1\text{ k}\Omega$  y de  $560\text{ }\Omega$ , cableado para realizar las conexiones, cable de alimentación y una batería. Además, se programó del dispositivo para ejecutar la prueba del mismo, la cual se llevó a cabo de 12:25 pm a 12:45 pm en la entrada del estacionamiento de la Universidad Rafael Urdaneta, donde se registraron los vehículos entrantes mediante observación directa y con el dispositivo elaborado, a fin de comparar ambos conteos y obtener la capacidad de conteo del equipo de detección.

### **Resultados y discusión**

#### **Análisis del tráfico vehicular de una avenida de la ciudad**

Con respecto al análisis del tráfico vehicular, este se realizó en la avenida Las Delicias durante las horas pico determinadas, obteniéndose los resultados presentados en la Tabla 1.

**Tabla 1. Características de la intersección Av. Las Delicias y calle 78 Dr. Portillo**

Intersección Av. Las Delicias con Dr. Portillo	Duración del semáforo (seg)	Cantidad de autos por ciclo	Cantidad de autos por hora
Norte hacia Sur	R: 47; V: 26	17	1056
Sur hacia Norte	R: 51; V: 28	15	989

En la Tabla 1 se evidenció una circulación promedio de 2045 vehículos aproximadamente, movilizándose por la Av. Las Delicias en el periodo de una hora; además se observó un alto tráfico vehicular con un elevado grado de congestión. A su vez, se identificó un nivel de servicio C en la intersección evaluada, donde la libertad de maniobra y la velocidad de los usuarios se ven limitadas.

### **Determinación de los requerimientos técnicos de la red**

Se requirió de la selección de la tecnología de comunicación inalámbrica. En la Tabla 2 se muestra una comparación de las tecnologías Wi-Fi, Bluetooth, LoRaWAN y Zigbee:

**Tabla 2. Comparación técnica entre tecnologías de comunicaciones inalámbricas**

Tecnología	Wi-Fi	Bluetooth	LoRaWAN	Zigbee
<b>Frecuencia</b>	2.4 y 5 GHz	2.4 GHz	902-928 MHz	868/915 MHz y 2.4 GHz
<b>Velocidad de transmisión</b>	11-300 Mbps	1 Mbps	0.3-50 Kbps	20/40/250 Kbps
<b>Rango de cobertura</b>	100 m	10 m	2-5 Km (zonas urbanas)	10-100 m
<b>Requisitos de alimentación</b>	Altos - Horas de batería	Medios - Días de batería	Muy bajos - Años de batería	Bajos - Años de batería
<b>Número de canales</b>	14/25	79	Hasta 64	1/10/16

Con la información recopilada se estableció la tecnología LoRaWAN como el estándar de transmisión principal empleado en la red, dado sus bajos requisitos de alimentación y su amplio rango de cobertura con respecto a las demás tecnologías probadas. De igual forma, se seleccionó el estándar Wi-Fi para la conexión de nodos de mayor jerarquía, dado el soporte de altos volúmenes de tráfico de datos que esta proporciona.

Seguidamente, se exponen los requisitos mínimos que deben cumplir los equipos de red y de detección vehicular para garantizar el correcto funcionamiento de la red propuesta, durante un periodo de tiempo considerable y con mínimo mantenimiento (Tablas 3 y 4).

**Tabla 3. Requerimientos técnicos de los equipos de red**

Equipos de red	Requerimientos técnicos
Gateway LoRaWAN	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Escalabilidad</li> <li>• Seguridad</li> <li>• Disponibilidad</li> <li>• Alta confiabilidad</li> <li>• Mínimo mantenimiento</li> <li>• Vida útil prolongada</li> <li>• Resistencia a la intemperie</li> <li>• Capacidad de interconexión</li> <li>• Consumo energético mínimo</li> <li>• Soporte a más de 100 nodos de sensores</li> <li>• Topología dinámica</li> </ul>
Radiotransmisor Ubiquiti	
Switch Ubiquiti	
Router Ubiquiti	

**Tabla 4. Requerimientos técnicos de los equipos de detección**

Equipos de detección	Requerimientos técnicos
Sensor de detección vehicular	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad de conteo y detección de presencia</li> <li>• Capacidad de operación bajo condiciones climáticas desfavorables</li> <li>• Consumo energético mínimo</li> <li>• Vida útil prolongada</li> </ul>
Microcontrolador	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad de operación de 24 horas al día</li> <li>• Velocidad de procesamiento alta</li> <li>• Compatibilidad con módulo de comunicación LoRa</li> <li>• Almacenamiento alto</li> <li>• Capacidad de interconexión</li> <li>• Potencia de transmisión alta</li> <li>• Alta sensibilidad</li> </ul>
Módulo de comunicación LoRa	

### Selección de los equipos requeridos

Para la selección de los equipos que se incorporan a la red, fue necesario comparar dispositivos de diversas marcas, que se encontraban en un rango similar de precios y características. A continuación, en la Tabla 5, se presenta la comparación entre diferentes gateways, considerando los requerimientos previamente especificados, a fin de evaluar su integración en la red:

**Tabla 5. Comparación entre diversos gateway LoRaWAN**

Gateway	Milesight	Dusun	Dragino	Khomp
Modelo	UG67	DSGW-014	OLG02	ITG 201
Cobertura	5 km, 15 km (Línea de vista)	5-10 km	5 km	2-5 km
Frecuencia	433/868/915 MHz	433/868/915 MHz	433/868/915 MHz	868/915 MHz
Velocidad de transmisión	10/100/1000 Mbps RJ45	10/100 Mbps RJ45	10/100 Mbps RJ45	10/100 Mbps RJ45
Canales de transmisión (Tx) y recepción (Rx)	8 (Half/Full-duplex)	8 (Half/Full-duplex)	1 Tx y 2 Rx	8 (Full-duplex)
Cantidad de nodos sensores	1000-2000	1000-2000	300	1000
Resistencia a la intemperie	IP67	IP66	-	IP65
Capacidad de interconexión	802.11 b/g/n, 3G/4G y GPS	BLE 5.2, 802.11 b/g/n y LTE	802.11 b/g/n y 3G/4G	3G/4G
Temperatura de operación	-40 °C a 70 °C	-20 °C a 65 °C	-20 °C a 50 °C	-40 °C a 50 °C
Costo	650,00 usd	600,00 usd	125,00 usd	550,00 usd

De lo anterior, se seleccionó el gateway UG67 de la marca Milesight como el equipo intermediario entre los nodos de sensores y la red Wi-Fi, debido a que proporciona una transmisión por RJ45 de hasta 1000 Mbps, así como una gran cobertura de 5 km y hasta 15 km con línea de vista, con una transmisión simultánea por 8 canales, junto con una capacidad de hasta 2000 nodos sensores, la cual brinda grandes beneficios de escalabilidad, permitiendo la expansión de la red a toda la ciudad. Además, este dispositivo posee el mayor grado de protección IP y rango de temperatura de operación entre los dispositivos comparados, ofreciendo una alta resistencia a la intemperie y a las altas temperaturas de la ciudad.

En cuanto a la elección del radiotransmisor Wi-Fi, se compararon distintas marcas relevantes del mercado, como se observa en la Tabla 6.

**Tabla 6. Comparación entre radiotransmisores**

Radiotransmisor	D-link	TP-Link	Ubiquiti	Mikrotik
<b>Modelo</b>	DAP-3711	CPE220	NBE-2AC-13	MANTBOX 2 12s
<b>Cobertura</b>	5 km	13 km	15 km	1 km
<b>Frecuencia</b>	5.18-5.32 GHz	2.4-2.483 GHz	2.412-2.472 GHz	2.312-2.732 GHz
<b>Velocidad de transmisión</b>	867 Mbps	300 Mbps	330 Mbps	300 Mbps
<b>Resistencia a la intemperie</b>	IP66	IPX5	IEC 68-2-11/6/5 ETS 300 019-1-4	IP54
<b>Capacidad de interconexión</b>	802.11 a/n/ac	802.11 b/g/n	802.11 a/n/ac	802.11 b/g/n
<b>Temperatura de operación</b>	-40 °C a 65 °C	-40 °C a 70 °C	-40 °C a 70 °C	-40 °C a 70 °C
<b>Costo</b>	200,00 usd	60,00 usd	100,00 usd	100,00 usd

A través de la comparación realizada en la Tabla 6, se evidenció que la opción más apropiada para la red es el NBE-2AC-13 de la marca Ubiquiti, el cual permite la comunicación entre la red de sensores y el nodo central. Este radiotransmisor posee una velocidad de hasta 330 Mbps y de 1000 Mbps por RJ45. Si fuese necesaria la conexión inalámbrica entre este y el gateway, solo se puede establecer con el estándar 802.11n, igualmente se prefiere realizar una conexión alámbrica entre los mismos para alcanzar velocidades más altas. Además, este permite una comunicación de hasta 15 km con línea de vista, posibilitando las transmisiones a largas distancias requeridas en la red. Adicionalmente, este equipo otorga resistencia a la intemperie y a altas temperaturas que se necesitan para su correcta operación.

A través de un estudio de mercado realizado, se determinó que el switch y router UISP de la marca Ubiquiti son idóneos para la incorporación en la red propuesta, dado que son los que mejor se acoplan a los requerimientos técnicos planteados, además de evitar incompatibilidades con el radiotransmisor seleccionado. Cabe mencionar que ambos poseen un costo de 109,00usd cada uno.

Por otro lado, en cuanto a los equipos de detección, se presenta una comparación en la Tabla 7 entre múltiples tecnologías de sensores para su incorporación en el sistema de detección. Se obtuvo que el sensor idóneo para el equipo es el ultrasónico (HC-SR04), el cual dispone de un rango de detección de hasta 4 metros, cumpliendo las distancias mínimas requeridas. Además de poseer un ángulo de detección de entre 15° a 20°, así como un rango de temperatura de hasta 50 °C, permitiendo la detección con una temperatura exterior alta, como la existente en la ciudad de Maracaibo.

**Tabla 7. Comparación entre sensores de distintas tecnologías**

Sensor	Ultrasónico	Infrarrojo	Microondas	Láser
<b>Modelo</b>	HC-SR04	HC-SR501	Rcwl-0516	ky-008
<b>Rango de detección</b>	4 m	7 m	7 m	2 m
<b>Ángulo de detección</b>	15° a 20°	Hasta 110°	Rango esférico	Punto fijo
<b>Tensión de operación</b>	3.3-5 V	5-12 V	4-28 V	5 V
<b>Rango de temperatura</b>	0 °C a 50 °C	0 °C a 50 °C	10 °C a 40 °C	-10 °C a 40 °C

Finalmente, se seleccionó el microcontrolador ESP32, el cual ofrece las mejores características entre las marcas actuales en el mercado, cuyos precios rondan los 10,00 usd, siendo el costo del dispositivo seleccionado de 9,00usd. De igual forma, se eligió el módulo de comunicación LoRa SX1276, el cual es uno de los mejores módulos en la actualidad, y cuenta con un costo aproximado de 10,00usd. Estos equipos bajan su costo de forma notable al adquirir una cantidad considerable de los mismos.

A continuación, se presentan las fichas técnicas del radiotransmisor y del gateway elaboradas en este trabajo de investigación (Figura 2).

FICHA TÉCNICA DE EQUIPO	
Características Generales	Imagen Referencial
<b>Equipo</b>	Gateway LoRaWAN
<b>Modelo</b>	UG67
<b>Marca/Fabricante</b>	Milesight
<b>Dimensiones</b>	
Ancho (mm)	164
Alto (mm)	240
Largo (mm)	90.9
<b>Función</b>	
Proporción de cobertura a los nodos de la red, permitiendo la comunicación de estos para la recepción de información y transmisión de comandos relevantes.	
<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</b>	
<b>Suministro energético</b>	6 V a 12 V (802.3 af PoE)
<b>Consumo de potencia</b>	3.6 W
<b>Potencia de transmisión</b>	27 dBm
<b>Sensibilidad</b>	-140 dBm
<b>Velocidad de transmisión</b>	10/100/1000 Mbps RJ45
<b>Cobertura</b>	5 km, 15 km (Línea de vista)
<b>Bandas de frecuencia</b>	EU868 / US915
<b>Canales de transmisión y recepción</b>	8 (Half/Full-dúplex)
<b>Estándar de transmisión</b>	IEEE 802.11 b/g/n (2.4 GHz)
<b>Procesador</b>	Quad-core 1.5 GHz, 64-bit ARM Cortex-A53
<b>Memoria</b>	512 MB DDR4 8 GB eMMC
<b>Grado de protección</b>	IP67
<b>Temperatura de operación</b>	-40°C a +70°C
<b>Humedad de funcionamiento</b>	0% a 95% sin condensación

FICHA TÉCNICA DE EQUIPO	
Características Generales	Imagen Referencial
<b>Equipo</b>	Radiotransmisor
<b>Modelo</b>	NBE-2AC-13
<b>Marca/Fabricante</b>	Ubiquiti
<b>Dimensiones</b>	
Ancho (mm)	189
Alto (mm)	189
Largo (mm)	125
<b>Función</b>	
Transmisión, codificación y amplificación de señales radioeléctricas de amplia cobertura capaz de interconectar nodos punto a punto o punto a multipunto.	
<b>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS</b>	
<b>Suministro energético</b>	24 V, 0.5 A (802.3 af PoE)
<b>Potencia de transmisión</b>	27 dBm
<b>Sensibilidad</b>	-68 a -96 dBm
<b>Ganancia</b>	13 dBi
<b>Cobertura</b>	15 km (Línea de vista)
<b>Ancho del haz</b>	H: 40° / E: 15°
<b>Velocidad de transmisión</b>	330 Mbps, 100/1000 Mbps RJ45
<b>Frecuencia de operación</b>	2412 – 2472 MHz
<b>Estándar de transmisión</b>	IEEE 802.11 a/n/ac
<b>Procesador</b>	Atheros MIPS 74Kc, 533 MHz
<b>Memoria</b>	64 MB DDR2
<b>Protección en exteriores</b>	IEC 68-2-14 IEC 68-2-5 ETCS 300 019-1-4
<b>Protección ESD/EMP</b>	Aire: ±24kV, Contacto: ±24kV
<b>Temperatura de operación</b>	-40°C a +70°C
<b>Humedad de funcionamiento</b>	5% a 95% sin condensación

Figura 2. Fichas técnicas del gateway (izquierda) y del radiotransmisor (derecha)

### Propuesta de diseño de la red

La red IIoT propuesta cuenta con diversos segmentos que permiten asegurar el correcto funcionamiento de la misma en sus respectivos puntos (Figura 3). Los nodos finales de la red, identificados como los equipos de detección vehicular, se comunican de forma inalámbrica a la red LoRaWAN mediante los módulos que estos incorporan. Luego, los gateway permiten la conexión entre la red LoRa y Wi-Fi a través de la comunicación con los radios mediante conexiones con RJ45, el cual ofrece velocidades de 1000 Mbps.

Por otro lado, los radiotransmisores se encuentran conectados hasta el nodo central a través de enlaces Wi-Fi, permitiendo la centralización de los datos y brindando tolerancia a fallas, de manera que, de perderse la conexión de un enlace, la red podrá continuar su funcionamiento.

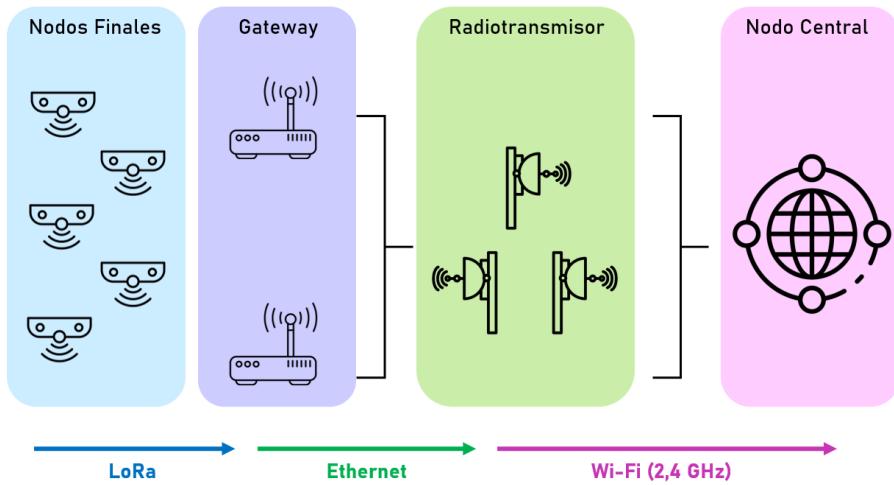
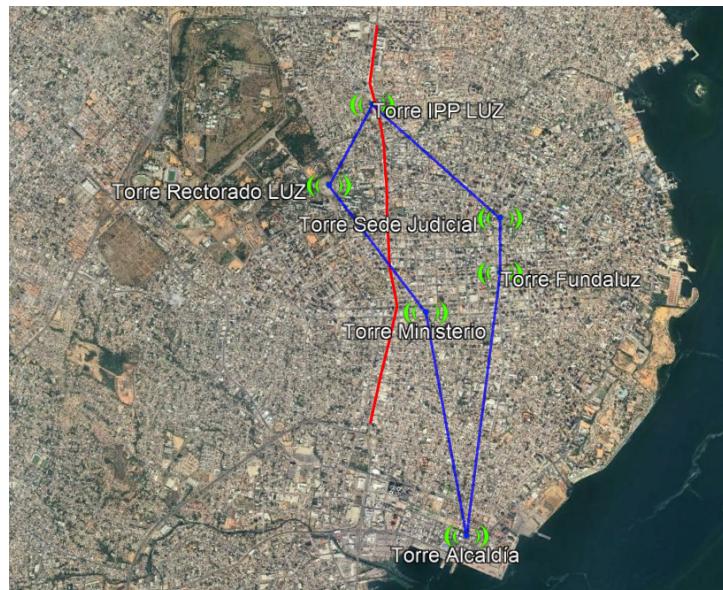


Figura 3. Arquitectura de la red propuesta

Dadas las tecnologías seleccionadas y los equipos empleados, se identifican de forma general dos redes en el diseño. Primeramente, la red LoRaWAN, la cual se despliega en una topología de estrella en donde los equipos de detección ubicados en cada uno de los semáforos de la avenida se conectan a un equipo central, siendo este un gateway, encargado de la recepción de los datos y la redirección de los mismos [5]. Por otro lado, la red Wi-Fi, la cual se encuentra configurada en una topología de malla parcial, donde los radiotransmisores se conectan entre sí, y algunos se conectan al nodo central de la red, proporcionando de esta forma diferentes rutas para la transmisión de información hacia este último. En el trabajo de Zhang & Liu [6] titulado: "Edge Computing in IoT-Based Traffic Management Systems: Architecture and Performance Evaluation" se analizan diferentes arquitecturas para la gestión de tráfico.

Ahora bien, para la elaboración del diseño de la red IIoT, se requiere detallar la disposición de los equipos de detección en los semáforos de la avenida. Para ello se propone la instalación de estos en cada semáforo presente en la avenida de interés, de forma que sean capaces de contabilizar el flujo de vehículos circulantes en cada canal de la vía, por lo que cada intersección semaforizada quedaría configurada para la captación de datos del conteo vehicular, para su posterior almacenamiento y transmisión.

En cuanto la disposición de los equipos de red en la ciudad, se realizó la búsqueda y selección de edificaciones públicas o gubernamentales con la suficiente altura para ubicar los gateway y radios, donde fueron elegidos los edificios que se presentan en la Figura 4. Además, se muestran los radioenlaces diseñados en color azul y la extensión de la Av. Las Delicias en color rojo.



**Figura 4. Enlaces Wi-Fi entre los radiotransmisores**

Para la ubicación de los gateway pertenecientes a la red, se seleccionaron las torres del Ministerio Público y el IPP LUZ a fin de cubrir gran parte de la ciudad y la avenida, además se definió el nodo central de la red en la Alcaldía de Maracaibo, en la cual se almacenará y analizará la información recolectada. De esta forma, se tiene un total de seis (6) radioenlaces que no presentan edificios de gran altura de por medio que puedan obstruir la línea de vista o las zonas de Fresnel, posibilitando el correcto funcionamiento de los mismos. Las alturas de los radiotransmisores y gateway dispuestos se encuentran en un rango de 40 a 60 metros y las longitudes de los radioenlaces son de hasta 3,13 km, permitiendo de esta manera, la transmisión a altas velocidades gracias al radiotransmisor escogido.

Debido al posicionamiento de los equipos, se ejecutaron una serie de simulaciones para comprobar la factibilidad de los enlaces propuestos, donde luego de realizar las configuraciones pertinentes a cada software fueron obtenidos los datos que se muestran en la Tabla 8.

**Tabla 8. Factibilidad de los radioenlaces propuestos**

Enlace de radio	Potencia recibida	Sensibilidad	Margen
Alcaldía-Ministerio	-60 dBm	-74 dBm	14 dB
Alcaldía-Fundaluz	-61 dBm	-74 dBm	13 dB
Fundaluz-Sede Judicial	-47 dBm	-68 dBm	21 dB
Ministerio-Rectorado LUZ	-57 dBm	-74 dBm	17 dB
Sede Judicial-IPP LUZ	-57 dBm	-74 dBm	17 dB
Rectorado LUZ-IPP LUZ	-52 dBm	-71 dBm	19 dB

Tal como se evidenció en la Tabla 8, los radioenlaces planteados tienen un margen de 13 a 21 dB, donde el enlace de margen menor (Alcaldía-Fundaluz) es suficiente para mantener la comunicación en el mismo, en caso de presentarse atenuaciones añadidas por lluvia, gases, ruido u obstrucciones en las zonas de Fresnel, los radiotransmisores seleccionados permiten cambiar su modulación para disminuir la sensibilidad hasta -96 dBm y mantener la conexión de los radios; se debe tener en cuenta que esto disminuiría la velocidad de transmisión del radioenlace.

Por otra parte, a fin de demostrar la viabilidad del proyecto se presenta en la Tabla 9 un estimado de costos para el desarrollo del mismo, en donde se plantea la cantidad de equipos requeridos en la implementación de la red propuesta, así como los costos de mano de obra y gastos adicionales, tales como: equipos de protección

contra descargas electroestáticas hacia la red interna, equipos de alimentación eléctrica, cableado requerido, entre otros.

Para la ejecución de este proyecto se requiere de la construcción, instalación y verificación de aproximadamente 60 equipos de detección para cubrir todos los semáforos presentes en la avenida Las Delicias, además de la instauración de los equipos de red en conjunto con su configuración y prueba. Por ende, se estima que para llevar a efecto este proyecto se requieren alrededor de ocho (8) semanas.

**Tabla 9. Presupuesto para la implementación del proyecto en la avenida Las Delicias**

<b>Lista de equipos</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio total</b>
Gateway UG67	650,00 usd	2	1.300,00 usd
Radio NBE-2AC-13	100,00 usd	12	1.200,00 usd
Switch UISP	109,00 usd	4	436,00 usd
Router UISP	109,00 usd	2	218,00 usd
Equipo de detección	10,00 usd	60	600,00 usd
Mano de obra	-	-	500,00 usd
Extras	-	-	800,00 usd
<b>Total</b>	<b>-</b>	<b>80</b>	<b>5.054,00 usd</b>

Ahora bien, con la finalidad de expandir la red y cubrir la ciudad de Maracaibo, Fonseca y Quilote [3] indican que se tienen 226 intersecciones semaforizadas en la ciudad, y considerando que existen cuatro (4) semáforos activos en cada intersección, se tiene un aproximado de 904 semáforos. Por lo tanto, para realizar la expansión de la red se requiere instalar un equipo de detección por carril, y dado que se tienen al menos dos carriles por semáforo habría que implementar aproximadamente 1808 dispositivos de detección vehicular para conseguir cubrir todas las intersecciones semaforizadas. En la Tabla 10 se presenta el presupuesto requerido para la implementación de la red en la ciudad de Maracaibo.

**Tabla 10. Presupuesto para la implementación del proyecto en la ciudad**

<b>Lista de equipos</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio total</b>
Gateway UG67	650,00 usd	4	2.600,00 usd
Radio NBE-2AC-13	100,00 usd	20	2.000,00 usd
Switch UISP	109,00 usd	7	763,00 usd
Router UISP	109,00 usd	2	218,00 usd
Equipo de detección	10,00 usd	1.808	18.080,00 usd
Mano de obra	-	-	2.466,00 usd
Extras	-	-	1.000,00 usd
<b>Total</b>	<b>-</b>	<b>1.841</b>	<b>27.127,00 usd</b>

Es importante destacar que, para el proyecto de expansión de la red, se requiere la implementación de equipos de red adicionales, en el que se necesitan aproximadamente ocho (8) radiotransmisores, tres (3) switch y dos (2) gateway distribuidos estratégicamente en la ciudad, con el propósito de abarcar en su totalidad los dispositivos de detección desplegados en la misma. Adicionalmente, la ejecución de este proyecto se realizará de forma gradual, donde se pretende instalar los dispositivos de detección cada 10 semáforos, es decir, que se implementan 20 equipos cada ciclo. Por lo tanto, al tener que realizarse 91 ciclos, se requiere de aproximadamente 91 semanas para la instauración de los equipos de detección vehicular en toda la ciudad de Maracaibo.

De igual forma, se debe considerar el tiempo adicional para la implementación de los radiotransmisores, los gateway, switches y routers de la red, los cuales pueden ser implementados en aproximadamente nueve

(9) semanas, incluyendo la comprobación del funcionamiento de la red. Por lo que, para llevar a efecto este proyecto se requerirá de 100 semanas en total.

### Verificación del dispositivo de detección vehicular

Para la verificación del dispositivo de detección vehicular se requirió de la construcción de un prototipo capaz de registrar los datos referentes al conteo de vehículos, en un entorno controlado como se presenta en la Figura 5.

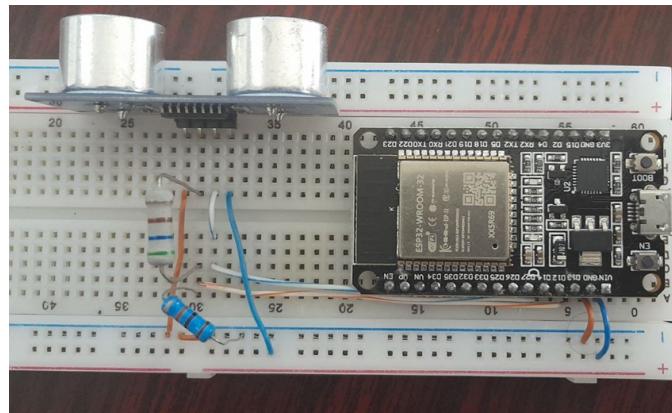


Figura 5. Construcción del prototipo

Se requirió de la programación del ESP32 mediante el lenguaje Arduino IDE, a fin de proporcionar al dispositivo la capacidad de conectividad Wi-Fi, así como la funcionalidad de detección y conteo vehicular y la interfaz del usuario para la visualización de los datos (Figura 6).

Una vez realizada la construcción y programación del prototipo, se llevó a cabo la prueba de conectividad del dispositivo de detección y la red Wi-Fi creada, en donde se verificó la dirección IP asignada de forma estática. Asimismo, mediante la ejecución del comando ping hacia el ESP32 se verificó la conexión entre los dispositivos de la red, contemplando el tiempo de respuesta de los paquetes enviados.

```
C:\Users\Erick>ping 192.168.71.69

Pinging 192.168.71.69 with 32 bytes of data:
Reply from 192.168.71.69: bytes=32 time=569ms TTL=255
Reply from 192.168.71.69: bytes=32 time=64ms TTL=255
Reply from 192.168.71.69: bytes=32 time=67ms TTL=255
Reply from 192.168.71.69: bytes=32 time=77ms TTL=255

Ping statistics for 192.168.71.69:
  Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
  Approximate round trip times in milli-seconds:
    Minimum = 64ms, Maximum = 569ms, Average = 194ms

C:\Users\Erick>ping 192.168.71.69

Pinging 192.168.71.69 with 32 bytes of data:
Reply from 192.168.71.69: bytes=32 time=215ms TTL=255
Reply from 192.168.71.69: bytes=32 time=229ms TTL=255
Reply from 192.168.71.69: bytes=32 time=234ms TTL=255
Reply from 192.168.71.69: bytes=32 time=240ms TTL=255

Ping statistics for 192.168.71.69:
  Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
  Approximate round trip times in milli-seconds:
    Minimum = 215ms, Maximum = 240ms, Average = 229ms
```

Figura 6. Prueba de conectividad

Posterior a ello, se ejecutó la prueba de conteo vehicular (Figura 7) donde se evaluó la capacidad de detección del dispositivo, la cual se realizó a una hora de alta circulación durante 20 minutos, lo cual permitió observar el comportamiento del equipo bajo condiciones del entorno, similares a las que se presentarían en

el diseño de red propuesto. Esto mediante los registros emitidos por el microcontrolador siendo visibles en la página web diseñada, facilitando la visualización de los datos referentes a la cantidad de vehículos detectados, la distancia a la que se realizó la detección y la potencia recibida por el ESP32 desde la red creada.

```
Distancia (cm): 805.64
Potencia recibida (dBm): -36

Distancia (cm): 805.67
Potencia recibida (dBm): -42

Distancia (cm): 805.67
Potencia recibida (dBm): -34

Conteo vehicular: 51
Distancia (cm): 46.65
Potencia recibida (dBm): -35
```

**Figura 7. Registro del conteo vehicular**

Contemplando los resultados de la prueba del prototipo de detección vehicular, se registraron datos de gran interés referentes a su funcionamiento, destacando en la figura anterior la última medición realizada. Además, en las mediciones previas a la prueba final se presenta una distancia de aproximadamente 805 cm, indicando que no se obtuvo ninguna medida en el rango del sensor, por lo que no ocurre un aumento en el conteo de vehículos. De igual forma, se registró un total de 51 vehículos por parte del equipo de detección. A fin de determinar la capacidad de conteo del dispositivo, se llevó a cabo el conteo manual al mismo tiempo que se realizó la prueba del equipo, obteniéndose un total de 55 vehículos circulantes, presentando entonces un error porcentual del 7,27 % entre los dos conteos vehiculares. El error presentado se debe en gran medida a las velocidades de los vehículos que circulaban a más de 40 km/h, donde se ve disminuida la posibilidad de contabilización por parte del dispositivo, por lo que el tiempo de conteo establecido en la programación (500 ms) no es lo suficientemente pequeño como para captarlos. Sin embargo, el retraso entre mediciones debe ser adaptado a la velocidad promedio de los vehículos en la vía establecida, dado que si se disminuyera este tiempo conllevaría errores de conteo más grandes. Es por ello que, el tiempo establecido entre los conteos es el adecuado para el programa realizado y para las características de la vía donde fue ejecutada la prueba, en la cual los vehículos circulan a una velocidad promedio de 30 km/h.

Además, para disminuir el error ocurrido se debe aminorar el tiempo entre conteos a fin de medir la distancia hasta el vehículo en cuestión una mayor cantidad de veces y, para evitar el conteo repetido del mismo vehículo, se requiere añadir funciones extras al programa realizado, permitiendo de esta forma la captación de vehículos a altas velocidades.

Por otro lado, no se presentaron pérdidas en la conexión con la red Wi-Fi creada para la prueba ejecutada, verificando de esta forma la capacidad de conectividad del dispositivo. De igual forma, no ocurrieron pérdidas en el envío de paquetes de la transmisión, presentando un tiempo de respuesta muy bueno para la recepción y envío de los datos.

## Conclusiones

Por medio del registro de las características del tránsito de la intersección evaluada se observó el alto tráfico vehicular presente en la misma, identificando un grado de congestión elevado en las horas de mayor demanda, el cual produce un aumento los tiempos de viaje de los vehículos, perjudicando de forma directa a los habitantes de la ciudad que circulen por la avenida. Asimismo, se contempló una circulación de densidad elevada, pero estable, donde la libertad de maniobra y la velocidad se ven restringidas.

Se determinaron los requisitos mínimos necesarios para el funcionamiento óptimo de la red IIoT, optándose por la tecnología LoRaWAN debido a los beneficios ofrecidos con respecto a las demás tecnologías, la cual permite la transmisión de datos a largas distancias con un consumo energético significativamente menor, lo que favorece a la recolección de datos del tráfico de la ciudad durante años y de forma independiente a la red eléctrica.

A partir de ello, se seleccionaron los equipos de red correspondientes para el diseño de la misma mediante la comparación de los parámetros más resaltantes como la cobertura que abarcan los mismos, siendo estos el gateway Milesight UG67 como nodo intermediario entre los sensores y el radiotransmisor Ubiquiti NBE-2AC-13 que fue utilizado como repetidor y nodo central de la red, así como también fueron seleccionados el switch y router UISP. En cuanto a los equipos de detección, se realizó una comparación de tecnologías de sensores donde se considera que el sensor de ultrasonido HC-SR04 es el más acorde para el sistema propuesto, a su vez se seleccionó el ESP32 con el módulo LoRa SX1276.

Para el diseño de la red, se verificó la factibilidad de los radioenlaces propuestos a través de los simuladores empleados, donde se obtuvo que no se presentan obstrucciones en la línea de vista y zonas de Fresnel, además se consiguieron los márgenes suficientes en caso de producirse attenuaciones añadidas en los enlaces de radio. Con relación a la viabilidad del proyecto, se estimó que la implementación del mismo en la avenida Las Delicias posee un costo de 5.054,00 usd y para su expansión gradual a los semáforos de la ciudad de Maracaibo se requiere un total de 27.127,00 usd.

Con respecto a la verificación del funcionamiento del equipo de detección, se obtuvo mediante la prueba realizada una capacidad de conteo adecuada para su implementación en la red, presentando un error del 7,27 % el cual surge por los vehículos que circulan a mayor velocidad que la promedio en la vía dada.

El diseño de red IIoT propuesto en el presente trabajo de investigación permite contabilizar el tráfico vehicular en la avenida Las Delicias y su transmisión al nodo central, la Alcaldía de Maracaibo, posibilitando además su expansión gradual a la ciudad de una forma rentable, por lo que es factible la implementación de la red. En el trabajo [6] Khan, M. A., et al. Titulado "LoRaWAN for Smart Cities: A Comprehensive Review of Applications, Challenges, and Future Directions" se analiza la escalabilidad de este tipo de proyectos con IoT.

## Referencias bibliográficas

- [1] I. Thomson., y A. Bull, Serie Recursos Naturales e Infraestructura. La congestión del tránsito urbano: causas y consecuencias económicas y sociales. Santiago de Chile, Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2001. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/c7b69c09-8fdb-4633-8950-05abc459c15c/content>.
- [2] T. Rodríguez., y J. Bravo, "IoT para la semaforización inteligente en la ciudad de Guayaquil". Polo del Conocimiento, 6, no.11, pp. 1022-1039, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.23857/pc.v6i11.3313>.
- [3] L. García., L. Parra., J. Jiménez., M., J. Lloret., & P. Lorenz., Real-time traffic monitoring in urban areas using low-cost IoT sensors: A case study in Barcelona. Sensors, Vol. 23, no. 5, 2560. 2023.
- [4] S. Gite., y S. Sukode, "Vehicle traffic congestion control and monitor in IoT". International Journal of Applied Engineering Research, 10, no. 8, pp. 19513-19523, 2015, [En línea]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/277961383\\_Vehicle\\_Traffic\\_Congestion\\_Control\\_Monitoring\\_System\\_in\\_IoT](https://www.researchgate.net/publication/277961383_Vehicle_Traffic_Congestion_Control_Monitoring_System_in_IoT).

[5] M. A. Khan., et al., "LoRaWAN for Smart Cities: A Comprehensive Review of Applications, Challenges, and Future Directions". IEEE Internet of Things Journal, Vol. 9, no. 4, 2358-2375. 2022.

[6] Y. Zhang., & H. Liu., "Edge computing in IoT-based traffic management systems: Architecture and performance evaluation". IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol. 22, no. 8, 4990–5002. 2021.



## **Normas para la presentación de trabajos científicos**

La **Revista Tecnocientífica URU** es una publicación arbitrada y de divulgación adscrita a la Universidad Rafael Urdaneta, Maracaibo, Venezuela. Es una revista de difusión científica, contentiva de artículos de investigación originales e inéditos en las áreas de Ingeniería Química, Civil, Eléctrica, Computación, Telecomunicaciones, Industrial, Producción Animal, Arquitectura y otras disciplinas directamente relacionadas con estas, de autoría individual o colectiva, que cumplan con las normas de publicación que se presenta a continuación:

### **ENVÍO DE TRABAJOS**

Para enviar su trabajo a la Revista, los autores deben adjuntar una carta de cesión de derechos de autor debidamente firmada por todos los coautores. Este documento, disponible en nuestra página web: <https://revistas.fondoeditorial.uru.edu/index.php/tecnocientificauru/libraryFiles/downloadPublic/4>, certifica la originalidad del trabajo y otorga a la Revista los derechos exclusivos para su publicación. La carta debe presentarse en formato digital y enviarse junto con el manuscrito a la siguiente dirección de correo electrónico: [tecnocientifica@uru.edu](mailto:tecnocientifica@uru.edu). O bien, puede entregarse en persona en la Dirección del Fondo Editorial (Edificio de Biblioteca, oficina B2-02). En caso de que el trabajo sea resultado de un Trabajo Especial de Grado y cuente con la recomendación de la Escuela correspondiente, esta última se encargará de gestionar el envío. Se recuerda a los autores la importancia de cumplir con todos los requisitos establecidos en las normas de publicación de la Revista.

### **IDIOMAS**

1. Se reciben trabajos en el idioma español o inglés. En caso de trabajos escritos en idioma inglés se recomienda la revisión por un experto en esa lengua.

### **ESTRUCTURA DE LOS TRABAJOS**

2. La estructura de los artículos de investigación y las notas técnicas es la siguiente: Portada, resumen (en español e inglés), introducción, fundamentos teóricos (en caso que aplique), parte experimental, resultados, discusión de resultados, conclusiones, agradecimiento (en caso que aplique) y referencias.  
3. La estructura de los trabajos indicados en los puntos 9 al 13 se recomienda que contenga como mínimo: Portada, resumen (en español e inglés), introducción, el cuerpo del trabajo, conclusiones, agradecimientos (en caso que aplique) y referencias bibliográficas, aunque también pueden tener la estructura IMRaD.

### **TÍTULOS, INTERLINEADO Y TIPO DE LETRA**

4. Los trabajos científicos debe escribirse con el tipo de letra Times New Roman, tamaño 12 pts, y texto con alineación justificada. El título del trabajo debe ser de tamaño 16 pts con negritas y centrado y los títulos de las Figuras, Tablas y textos subordinados en tamaño 10 pts.  
5. El nombre de cada sección se escribirá en negritas. Estos deberán estar centrados.  
6. El nombre de las subsecciones se escribirá en negritas a la izquierda del texto y en mayúsculas y minúsculas.  
7. El interlineado se debe realizar a doble espacio a excepción del resumen, agradecimiento y referencias bibliográficas que van a un espacio.

### **TIPO DE TRABAJOS**

Se aceptarán para la publicación trabajos científicos y técnicos originales e inéditos. No se aceptan PrePrint o material enviado a otro órgano de divulgación científica. Los trabajos se recibirán con una extensión de

un máximo de veinte (20) páginas y en documento editable, escrito en MICROSOFT OFFICE WORD. Se consideran trabajos científicos los siguientes:

8. Artículos de investigación: son trabajos que plantean un resultado derivado de la aplicación y experimentación de un proceso investigativo en las áreas de conocimiento de la revista.
9. Artículos de actualización: son trabajos que resumen el “Estado del Arte” de las áreas de conocimiento de la revista.
10. Artículos de reflexión: son trabajos que tratan un tema específico de las áreas de conocimiento de la revista, desde una perspectiva analítica, interpretativa y crítica del autor, recurriendo principalmente a las fuentes originales.
11. Artículos de revisión: es un estudio pormenorizado, selectivo y crítico donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones publicadas, sobre una temática especializada de las áreas de conocimiento de la revista.
12. Artículos de discusión: son trabajos que presentan un debate de afirmaciones realizadas en artículos publicados en la revista.
13. Artículos de invitados especiales: son trabajos científicos sobre una temática de interés de la revista, donde un autor especializado ofrece su punto de vista, por tanto, requiere de una invitación para publicar.
14. Notas técnicas: son trabajos que reflejan las mejoras de un proceso en ingeniería, resultados de investigaciones derivadas del ejercicio profesional en la ingeniería y ciencias afines, con un máximo de ocho (8) páginas.

## **LA PORTADA DEL TRABAJO**

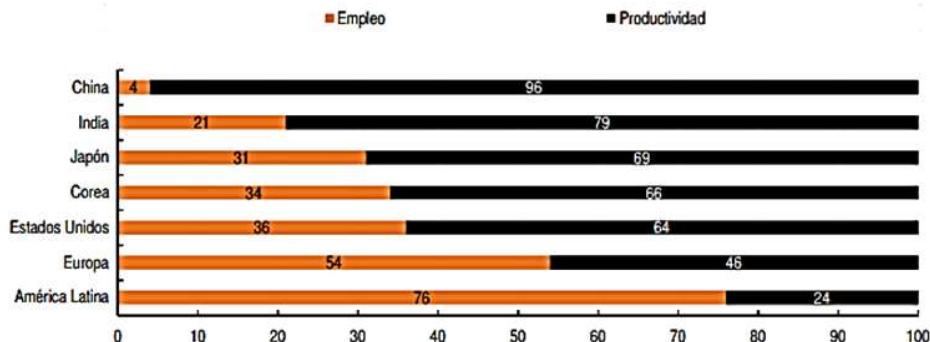
Los trabajos deben presentar en la portada los siguientes datos:

15. Título del trabajo en español e inglés en letras mayúsculas y minúsculas, excepto cuando contiene siglas o acrónimos, en cuyo caso se escriben en mayúsculas.
16. Nombre(s) del autor(s), hasta un máximo de seis (6) autores. Cada autor debe declarar su respectiva adscripción institucional, ciudad, país, correo electrónico y código ORCID. Los nombres de los autores en los artículos deberán aparecer de la siguiente manera: Primer nombre, inicial del segundo nombre, Primer apellido-Segundo apellido (Eje.: Juan P. Pérez-Gómez)
17. Resumen del trabajo en español e inglés (abstract) con un máximo de doscientas (200) palabras, sin sangría, escrito en un solo párrafo que contenga de forma breve los siguientes aspectos: objetivo general, metodología empleada, resultados más relevantes y una conclusión global.
18. Palabras clave en español e inglés (Key words) con un máximo de cinco (05) palabras.

## **CITAS, REFERENCIAS, TABLAS, ECUACIONES Y FIGURAS**

19. Se reciben trabajos en el idioma español o inglés. En caso de trabajos escritos en idioma inglés se recomienda la revisión por un experto en esa lengua.
20. La estructura de los artículos de investigación y las notas técnicas es la siguiente: Portada, resumen (en español e inglés), introducción, fundamentos teóricos (en caso que aplique), parte experimental, resultados, discusión de resultados, conclusiones, agradecimiento (en caso que aplique) y referencias. La estructura de los trabajos indicados en los puntos 9 al 13 se recomienda que contenga como mínimo: Portada, resumen (en español e inglés), introducción, el cuerpo del trabajo, conclusiones, agradecimientos (en caso que aplique) y referencias bibliográficas, aunque también pueden emplearse la estructura IMRyD.
21. El nombre de cada sección se escribirá en negritas. Estos deberán estar centrados.
22. El nombre de las subsecciones se escribirá en negritas a la izquierda del texto y en mayúsculas y minúsculas.
23. El interlineado se debe realizar a doble espacio a excepción del resumen, agradecimiento y referencias bibliográficas que van a un espacio.

24. Las fotografías, mapas, diagramas, fluogramas y gráficos e imágenes deben denominarse como Figura y numeradas con números arábigos, incluir un título y leyenda (si aplica). Y, además, deben mencionarse dentro del texto correspondiente. En caso, que la Figura no pertenezca al autor o autores, se debe incluir la fuente de la misma entre corchetes al final del título de la Figura. Ejemplo:



**Figura 1. Contribución del empleo y la productividad al crecimiento del PIB en países y regiones seleccionados, 2000-19 [12].**

25. Los cuadros y tablas deben denominarse como Tabla, numeradas con números arábigos, incluir un título y leyenda (si aplica). Y, además, deben mencionarse dentro del texto correspondiente. En caso que la Tabla no pertenezca al autor o autores, se debe incluir la fuente de la misma entre corchetes al final del título de la Tabla. Ejemplo:

**Tabla 1. Datos de entrada para la simulación del proceso**

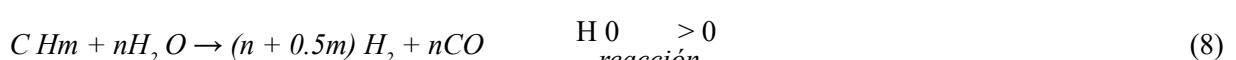
Equipo	Parámetros		
Reactor de RWGS	Tent = 1223 K, adiabático	H <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> = 3	P = 2500 KPa
Reactor de FT	Tent = 488 K	Relación de Ribblett = 0.5	P = 2460 KPa
ATR	Tent = 1073 K, adiabático	-	P = 2330 KPa

26. Las fotografías, mapas, diagramas, fluogramas y gráficos e imágenes incluidas en el trabajo científico se anexarán al envío por separado con excelente calidad con resolución de 240-300 ppp y en formato JPG.

27. Las fotografías, mapas, diagramas, fluogramas y gráficos e imágenes de todo tipo y forma deben estar a color o en su defecto a blanco y negro, bien contrastadas y brillantes, de un ancho máximo de 12,5 cm.

28. Todos los símbolos matemáticos deben estar escritos en forma clara y legible, con los subíndices y superíndices ubicados correctamente en la matriz o ecuación.

29. Deben enumerarse todas las ecuaciones matemáticas en forma consecutiva con números arábigos entre paréntesis y ubicados en el margen derecho. Ejemplo:



30. Las citas dentro del trabajo se escriben con el apellido de sus autores, seguido de un número entre corchetes que corresponde a una referencia bibliográfica. En caso de que aplique, se debe agregar el número de página de la cita. Para el caso de tres o más autores, se agrega el apellido del primer autor y, luego, se escribe la expresión et al. Ejemplo:

Para citas no textuales: García [1] o simplemente [1]. Para citas textuales: Moreno [3, p.19].

Para tres o más autores en la cita se emplea: Nishimoto et al. [2] o simplemente [2]

Las citas textuales breves, es decir, aquellas que tienen menos de cuarenta palabras, se integran directamente en el texto y se encierran entre comillas dobles ("..."). Ejemplo:

Según Smith [1, p.4], “la globalización ha tenido un impacto significativo en las economías locales”.

Las citas textuales largas, es decir, aquellas que tienen más de cuarenta palabras, se integran en un nuevo renglón y se emplea un margen a la izquierda de 1.25 cm (0.5 pulgadas). Ejemplo:

Según Smith [1],

La globalización ha transformado fundamentalmente las dinámicas económicas a nivel mundial. Este proceso ha llevado a una mayor interconexión de los mercados, facilitando el flujo de bienes, capitales e información a través de las fronteras. Sin embargo, también ha generado desafíos y desigualdades, afectando de manera diferente a los distintos países y regiones. Es crucial comprender estas complejidades para abordar los impactos de la globalización de manera efectiva. [1, p.32].

Las citas no textuales se indican simplemente con el número de la referencia entre corchetes. Ejemplo:

La globalización ha tenido un impacto significativo en las economías locales [1].

Como se ha demostrado en estudios anteriores [3], la globalización...

Varios estudios han abordado el tema de la globalización y su impacto en las economías locales [1], [4], [5].

31. Las referencias deben registrar un número entre corchetes, seguido por el(los) autor(es) personal(es) o corporativo(s). Si tiene varios autores, se registran todos y cada uno separándolos con una coma. Los autores se escriben con apellido e inicial del nombre, utilizando mayúsculas y minúsculas. Se deben registrar en la sección de referencias según su orden de aparición en el desarrollo del trabajo. Ejemplo:

[1]. J. Izquierdo,...

[2]. Ma. A. DelaPlaza y Ma. D. Troitiño,...

[1] Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

[2] Organización Mundial de la Salud (OMS)...

32. Las referencias de libros deben incluir un número entre corchetes, correspondiente al orden de aparición de la cita en el texto del artículo. Se deben registrar los siguientes datos: Iniciales del nombre del autor(es) Apellidos del autor(es), Título del libro en cursiva, Número de edición (si aplica), Ciudad, Estado, País: Nombre abreviado de la editorial, Año de publicación. En caso de que el material esté disponible electrónicamente, agregar: [En línea] y Disponible en: URL o DOI.:

[1] J. Urdaneta Morán, Anatomía de una hacienda: Manual de evaluación agropecuaria. Maracaibo, Vzla.: Fondo Editorial Univ. Rafael Urdaneta, 2013.

[2] S. Da Fonseca, Análisis matricial de estructuras reticulares. Maracaibo, Vzla.: Fondo Editorial Univ. Rafael Urdaneta, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://libros.fondoeditorial.uru.edu/index.php/lb/catalog/view/DaFonseca2016/86/222>

33. Las referencias de capítulos de libros deben incluir un número entre corchetes, que corresponde al orden de aparición de la cita en el texto del artículo. Se deben registrar los siguientes datos: Inicial del nombre del autor(es) Apellido del autor(es), “Título del capítulo” entre comillas, en Título del libro en cursiva, Iniciales del nombre del editor(es) Apellidos del editor(es), Abreviatura Ed.(s) (si aplica)., Número de edición (si aplica), Ciudad, País: Nombre abreviado de la editorial, Año de publicación, Número de capítulo, Sección (si aplica), Páginas. En caso de que el material esté disponible electrónicamente, agregar: [En línea] y Disponible en: URL o DOI:

[3] J.R. Pérez, “Análisis de regresión y sus estimaciones mínimo cuadráticas” en Estadística Aplicada al Mejoramiento Genético Animal. Maracaibo, Vzla.: Fondo Editorial Univ. Rafael Urdaneta, 2024, cap. 2, pp. 21-24. [En línea]. Disponible en: <https://libros.fondoeditorial.uru.edu/index.php/lb/catalog/view/perez2024/72/200>

34. Las referencias de artículos de revistas o separatas deben incluir un número entre corchetes, que corresponde al orden de aparición de la cita en el texto del artículo. Se deben registrar los siguientes datos: Inicial del nombre del autor(es) Apellido del autor(es), “Título del artículo” entre comillas, Título abreviado de

la publicación en cursiva, vol. x, no. x, pp. xxx-xxx, año. [En línea]. En caso de que el material esté disponible electrónicamente, agregar: [En línea] y Disponible en: URL o DOI:

[1] J. Marín, C. García J., Alaña K., Martínez y J. Faría, “Algunas series e integrales con funciones trigonométricas”. Tecnocientífica URU, no. 1, pp. 11–19, 2011.

[2] J.D. Dávila Palmar “Uso de fotocatalizadores con radiación solar para contrarrestar el cambio climático”, Tecnocientífica URU, no. 25, pp. 23–26, Jul. 2023, [En Línea]. Disponible en: <https://revistas.fondoeditorial.uru.edu/index.php/tecnocientificauru/article/view/num25-2023-dp-23-26>

35. Las referencias de normas deben incluir un número entre corchetes, que corresponde al orden de aparición de la cita en el texto del artículo. Se deben registrar los siguientes datos: Título de la norma, número de la norma, Responsables u autores corporativos, Lugar de publicación, Editorial (Si aplica), año de publicación. [En línea]. Disponible en: URL.

[1] Yogurt (3era Revisión), Norma Venezolana COVENIN 2393:2001, Caracas, Venezuela: Fondonorma, 2001.

[2] Sistemas de gestión de calidad - Requisitos, Norma AS/NZS ISO 9001:2016, Standards Australia, 2016. [En línea]. Disponible: [https://www.standards.govt.nz/\\_search-and-buy-standards/standards-information/quality-management-systems/](https://www.standards.govt.nz/_search-and-buy-standards/standards-information/quality-management-systems/)

[3] Norma general para zumos (jugos) y néctares de frutas, Normas Internacionales de Alimentos CXS 247-2005, Comisión del Codex Alimentarius, FAO, OMS, 2005.

[En línea]. Disponible en: [https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B247-2005%252FCXS\\_247s.pdf](https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B247-2005%252FCXS_247s.pdf)

36. Las referencias de patentes deben incluir un número entre corchetes, que corresponde al orden de aparición de la cita en el texto del artículo. Se deben registrar los siguientes datos: Inicial del nombre(s) y Apellido(s) del(es) inventor(es), “Título de la patente” entre comillas, País de origen y Número de la patente xxxx, Año de publicación. En caso de que el material esté disponible electrónicamente, agregar: [En línea]. Disponible en: URL o DOI. Ejemplo:

[1] G. Weibull, “Continuous Process for preparing Monoalkanolamines from Ammonia and Alkylene Oxides”, Ornskoldsvik, Suecia: Patente SE:3,697,598, 1968.

[2] G. D. Araujo, J. Cañas Fernández, F.M. Lloret Vieira y M.P. Villar Castro, “Transistor de efecto campo de Unión de Diamante Interdigitado (INTERJFET) y procedimiento de fabricación”, Cadiz, España: Patente ES2992672, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://patentscope.wipo.int/search/es/detail.jsf?docId=ES444378308&cid=P11-M6PAUH-37184-1>

37. Las referencias de tesis deben incluir un número entre corchetes, que corresponde al orden de aparición de la cita en el texto del artículo. Se deben registrar los siguientes datos: Iniciales del nombre y Apellido del autor, “Título de la tesis o proyecto” entre comillas, Clase de documento (Tesis doctoral, Trabajo Fin de Máster, etc.), Departamento, Institución académica (abreviada), Ciudad, Estado (abreviado si es necesario), País. En caso de que el material esté disponible electrónicamente, agregar: [En línea] y Disponible en: URL o DOI. Ejemplo:

[1] A.C. Villasmil Medina, “Obtención de aceite de neem (Azadirachta indica) por el método de prensado en frío para la elaboración una crema y un jabón syndet”, Trabajo Especial de Grado. Fac. de Ing. de la Univ. Rafael Urdaneta, Maracaibo, Vzla, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://documentos.uru.edu/pdf/2101-24-14329.pdf>

38. Las referencias de informes técnicos deben incluir un número entre corchetes, que corresponde al orden de aparición de la cita en el texto del artículo. Se deben registrar los siguientes datos: Autor(es) o entidad responsable, “Título del informe” entre comillas, Nombre de la empresa, Sede de la empresa, Tipo de informe, Número de informe, Año de publicación. En caso de que el material esté disponible electrónicamente, agregar: [En línea] y Disponible en: URL o DOI. Ejemplo:

[1] K. Villalobos, “Informe Técnico de mantenimiento de caldero”, Compañía Gaseosas Nature: Maracaibo, Vzla., 1997.

39. Las referencias de catálogos deben incluir un número entre corchetes, que corresponde al orden de aparición de la cita en el texto del artículo. Se deben registrar los siguientes datos: Nombre del producto, Responsable del producto (empresa o marca), ciudad, país, URL del producto. Ejemplo:

[1] Motor trifásico NEMA Siemens 1LE2225-1AB21-4AA3-Z D05, GSL Industrias: Nuevo León, México. [En línea]. Disponible en: <https://industriagsl.com/collections/motores/products/motor-trifasico-nema-siemens-1le2225-1ab21-4aa3-z-d05>

[2] Taladro Inalámbrico Profesional, Makita, Tokio, Japón, [En línea]. Disponible en: <https://www.catalogotokio.com/tladros415>

40. Las referencias de aplicaciones deben incluir un número entre corchetes, que corresponde al orden de aparición de la cita en el texto del artículo. Deben contener los siguientes datos: Nombre de la empresa desarrolladora, Nombre del producto (versión), Descripción del producto (opcional, entre corchetes), Plataforma o medio de difusión (ej: Google Play, App Store, etc.), fecha de creación o lanzamiento (si está disponible) y URL de descarga o información del producto. Ejemplo:

[1] OpenAI. ChatGPT (Versión Beta), [Modelo de lenguaje basado en inteligencia artificial]. Google Play, 2022. Disponible en: [https://play.google.com/store/apps/details?id=ai.chat.gpt.app&hl=es\\_VE&gl=US](https://play.google.com/store/apps/details?id=ai.chat.gpt.app&hl=es_VE&gl=US)

41. En los trabajos deben emplearse el Sistema Internacional de Unidades para identificar cualquier magnitud medible de interés en la investigación: metro (m), kilogramos (Kg), Segundo (s), entre otras. Se recomienda consultar el National Institute of Standards & Technology. Guide for the Use of the International System of Units (SI) en <https://physics.nist.gov/cuu/pdf/sp811.pdf>

## ARBITRAJE

42. El trabajo científico es recibido por el Editor(a) principal, quien evaluará su contenido en función de las normas para los autores (Temática y Pertinencia con las áreas de la revista) luego, será enviado al Comité Editorial para su revisión y asignación de tres árbitros.

43. El método de arbitraje que sigue la revista es de evaluación por pares de tipo “doble ciego”, que, consiste en que, tanto los árbitros como los autores desconocen sus respectivas identidades. Este método se aplica para todos los tipos de trabajos postulados.

44. Los trabajos científicos serán evaluados de acuerdo a los siguientes criterios: claridad, originalidad del contenido, aportes al campo de conocimiento, coherencia del discurso, adecuada organización interna, calidad de las referencias bibliográficas, adecuada elaboración del resumen y pertinencia del título.

45. En caso de recibir observaciones por parte de los árbitros, estas serán enviadas al autor para su corrección. Después de realizar las correcciones, el autor devolverá la versión corregida al correo electrónico indicado para el envío. El trabajo científico será nuevamente revisado por el Comité Editorial.

46. Una vez que el trabajo haya recibido la aprobación por parte de los árbitros y el Comité editorial, se llevarán a cabo correcciones de pruebas, para lo cual se enviará a los autores para su revisión final.

47. Cuando el trabajo científico es aceptado para la publicación, los autores serán informados acerca del número y año de publicación de su trabajo. Si, es rechazado, los autores podrán remitir al Editor(a) Jefe una comunicación exponiendo argumentos a favor de su artículo. El Comité Editorial considerará las acciones a tomar.

48. Cada autor del artículo publicado recibirá una (1) separatas digital en sus respectivos correos electrónicos junto a la constancia de publicación en la revista.

## DIRECTRICES ÉTICA

49. *Trabajos Originales e Inéditos.* Los trabajos enviados a la Revista Tecnocientífica URU deben ser originales e inéditos. Esto significa que no deben haber sido publicados previamente en ningún medio (impreso, digital, congresos, conferencias o sitios web) ni estar siendo evaluados para su publicación en otra revista.

50. *El plagio y las similitudes en los trabajos.* La originalidad de los trabajos es responsabilidad exclusiva de los autores. Cualquier evidencia de plagio y similitudes con trabajos ya publicados resultará en el rechazo inmediato del manuscrito.

Los autores deben asegurarse de los siguientes aspectos:

- Citas y referencias correctamente formateadas y sigan las normas editoriales de la Revista.
- Incluir las referencias de todas las fuentes utilizadas en el trabajo.
- Parafrasear o citar correctamente las ideas y textos de otras fuentes.
- Evitar el plagio en todas sus formas.

El Comité Editorial se reserva el derecho de realizar revisiones adicionales para garantizar la originalidad de los trabajos, incluso tras superar los controles de plagio. Estas revisiones incluyen la evaluación exhaustiva de las referencias bibliográficas y la conformidad con las normas editoriales.

Si el Comité Editorial determina que el trabajo no cumple con los estándares de originalidad o calidad de la Revista, los autores serán notificados y el manuscrito será rechazado.

51. *Adherencia a las recomendaciones del Comité de Ética de Publicaciones (COPE).* Los autores y editores de la Revista Tecnocientífica URU deben cumplir con las recomendaciones establecidas en el Comité de Ética de la Publicación (COPE), disponibles en: Las “Guidelines” del Committee on Publication Ethics (COPE).

52. *Investigaciones con experimentos.* Las investigaciones que involucran a seres humanos, animales de experimentación, organismos modificados genéticamente (OMG), agentes biológicos peligrosos y organismos exóticos, los autores deben declarar haber cumplido con el Código de Bioética y Bioseguridad (2008) del Ministerio del Poder Popular para la Ciencia y Tecnología, 3era edición, Parte I y II, disponible en el siguiente enlace: <http://fisica.ciens.ucv.ve/postfismed/normas/cbbconicit.html>

## CONSIDERACIONES FINALES

53. Los conceptos u opiniones emitidos en los artículos, serán de exclusiva responsabilidad de los autores.

54. Los autores conservarán sus derechos morales y se hará una difusión de los artículos bajo una licencia Creative Commons.

55. El Comité Editorial se reserva el derecho de los arreglos de estilo que considere conveniente.

56. Bajo ninguna circunstancia, la revista devolverá los originales de los artículos enviados a la revista.

57. Lo no previsto en las presentes normas será resuelto por el Comité Editorial.

**Revista Tecnocientífica URU**  
**Número 28, 2025**  
**Maracaibo - Venezuela**  
**Fondo Editorial Universidad Rafael Urdaneta**