

***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. Gustavo Arteaga  
Director de la Escuela de Ingeniería de Producción Animal

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. 27 Julio - Diciembre 2024**

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>

### **Producción Editorial**

Hosglas Sanchez, Gestión Editorial

Liliana González, Asistente

Mibsay Contreras, Diseño y Maquetación

Cezar Garcia, Revisor de las Traducciones

Yanin Dávila, Portada



### **Revista Tecnocientífica URU**

Depósito legal: ppi 201402ZU4464

ISSN: 2343 - 6360

Periodicidad: Semestral

Cobertura: Enero- Junio /Julio Diciembre

### **2024 © Universidad Rafael Urdaneta, Fondo Editorial**

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

#### **Sitio web:**

Tecnocientífica 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 **Tecnocientífica 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 Tecnocientífica 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>

**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. César 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)

Dra. Zulay Mármol (Venezuela)

Dra. Yaxcelis Caldera (Venezuela)

Dr. David A. Landinez Tellez (Colombia)

Dr. Juan Chirinos (Chile)

Dra. Jeannette Zarraga (Chile)

MSc. Oscar Urdaneta (Venezuela)

Dr. Ángel González (Venezuela)

Dra. Ever Morales (Ecuador)

Dra. Cateryna Aiello (Venezuela)

Dra. Liz Añez (Venezuela)

Dr. Antonio Vera (Venezuela)

***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 Díaz, 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

Sostenibilidad y Cambio Climático

*Edixon Gutierrez*

11

### Artículos de investigación

Software Educativo para mejorar el Desarrollo Cognitivo Conductual en Niños y Niñas entre 6 y 9 años de edad, con Trastorno de Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH).

**Educational Software to improve Cognitive Behavioral Development in Boys and Girls between 6 and 9 years of age, with Attention Deficit and Hyperactivity Disorder (ADHD).**

*Jesús D. Fernández-Boscán*

12

Factores que afectan la condición del pavimento de la Avenida 16 Goajira, tramo Avenida Lago Mara y Plaza de Toros de la ciudad de Maracaibo.

**Factors affecting the condition of the pavement of 16 Goajira Avenue, Lago Mara Avenue and Plaza de Toros of Maracaibo city.**

*Jorge L. Leal-Sánchez y María A. García-Román*

25

Implementación de sistema prototipo IIoT para la detección de fallas en líneas de transmisión de 138 kv.

**Implementation of IIoT prototype system for fault detection in 138 kv transmission lines.**

*Rafael D. Rubio-Romero*

37

Propuesta de redistribución de áreas para el matadero Frimica.

**Proposal for redistribution of areas for Frimica slaughterhouse.**

*Loredana M. Baglieri-Acebo, Ysabella Barboza-Trejo y Ángel D. González-Portillo*

54

Corrección de pendientes para sistemas de drenaje urbano en áreas críticas del estacionamiento de la Universidad Rafael Urdaneta.

**Slope correction for urban drainage systems in critical areas of the parking lot at Rafael Urdaneta University**

*Jorge De J. Rincón-Pérez y Carlos L. Espinoza-Suárez*

68

### Artículos de propuesta

Implementación de carreteras piezoeléctricas en la ciudad de Maracaibo como fuente de energía sostenible.

**Implementation of piezoelectric roads in the city of Maracaibo as a source of sustainable energy**

*Paola I. González-Arias*

88

Corredores verdes simuladores de bosques interconectados en vías principales y regados por un sistema de tuberías recolectoras de agua de lluvia.

**Green corridors simulating forests interconnected on main roads and irrigated by a system of rainwater collection pipes.**

*María S. González-Álvarez*

96

Sistema de transporte masivo sustentable tipo BRT a base de pilas de hidrógeno en la ciudad de Maracaibo, estado Zulia.

**Sustainable mass transportation system type BRT based on hydrogen cells in the city of Maracaibo, Zulia state.**

*Germany P. Aldama-A.*

103

Diseño de módulos de emergencia a base de concreto SugarCrete para poblaciones de Maracaibo, estado Zulia.

**Design of emergency modules based on SugarCrete concrete for populations of Maracaibo, Zulia state.**

*Pedro De J. Vásquez-Fuenmayor*

113

Equipamiento urbano como propuesta para mejorar la sensación térmica en la zona metropolitana de Maracaibo.

**Urban equipment as a proposal to improve the thermal sensation in the metropolitan area of Maracaibo.**

*Ricardo D. Arellanes-Fuenmayor*

118

Propuesta del uso de cabello contaminado con petróleo como fibra alternativa del concreto.

**Proposal for the use of oil-contaminated hair as an alternative fiber for concrete.**

*Jorgelen del V. Figueroa-Salcedo*

128

Película de polímero a partir de nanocristales de celulosa de residuos de maíz para un proceso de enfriamiento radiativo.

**Polymer film from corn waste cellulose nanocrystals for a radiative cooling process.**

*Kamila P. Márquez-M.*

137

Eficiencia energética y confort térmico: La elección del material adecuado para los envoltentes opacos.

**Energy efficiency and thermal comfort: Choosing the right material for opaque envelopes.**

*Jeanny M. Juárez-Rodriguez*

143



### **Nota editorial**

#### **Sostenibilidad y Cambio Climático**

El cambio climático esta siendo uno de los desafíos más significativos de nuestra era, afectando nuestra vida diaria y redefiniendo el futuro del planeta. Desde el aumento de las temperaturas globales, devastadores incendios forestales hasta tormentas cada vez de mayor intensidad y voracidad, los impactos del cambio climático exigen respuestas urgentes y coordinadas a nivel mundial. Ante esta crisis, la sostenibilidad emerge no solo como una estrategia para enfrentar estos retos, sino como un compromiso moral y ético para con el planeta y nuestras futuras generaciones.

La sostenibilidad no es solo un concepto ambiental, es un compromiso con la gestión de los recursos naturales, un modelo de desarrollo que equilibra lo ecológico, lo económico y lo social. Implica una transformación en la manera en que producimos, consumimos y coexistimos con el medio ambiente; es un cambio que promueve el uso de energías limpias, la reducción de emisiones de carbono, la conservación de la biodiversidad y prácticas agrícolas regenerativas, que fomentan la economía circular, adoptar modelos de producción más responsables y, en el ámbito personal, contribuir mediante decisiones en el consumo y estilo de vida.

Se han logrado progresos en acuerdos internacionales como el Acuerdo de París, pero los compromisos de reducción de emisiones no se han traducido en acciones contundentes ya que las decisiones políticas de corto plazo y los intereses económicos inmediatos, son una barrera para implementar soluciones transformadoras.

El cambio debe ser colectivo, donde los gobiernos lideren con políticas ambiciosas, las empresas adopten modelos responsables priorizando el bienestar del entorno sobre las ganancias rápidas, y el ciudadano asuma su papel como agente de cambio, exigiendo rendición de cuentas y practicando hábitos más conscientes.

En la Conferencia Internacional Amazonas y Nuevas Economías, decía Ban Ki-moon, Secretario General de las Naciones Unidas, “No existe un planeta B”, por ello actuar ahora es una responsabilidad y una oportunidad de construir un mundo más justo, equitativo y resiliente.

**Dr. Edixon Gutierrez**  
Miembro del Comité Editorial



# Software Educativo para mejorar el Desarrollo Cognitivo Conductual en Niños y Niñas entre 6 y 9 años de edad, con Trastorno de Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH)

*Educational Software to improve Cognitive Behavioral Development in Boys and Girls between 6 and 9 years of age, with Attention Deficit and Hyperactivity Disorder (ADHD)*

**Jesús D. Fernández-Boscán**

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

 <https://orcid.org/0009-0001-3283-8698> | Correo electrónico: [jesusdfer5@gmail.com](mailto:jesusdfer5@gmail.com)

Recibido:04-10-2024 Admitido:14-10-2024 Aprobado:11-03-2024

## Resumen

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad el desarrollo de un software educativo que mejore el desarrollo cognitivo conductual en niños y niñas entre 6 y 9 años de edad con trastorno de déficit de atención e hiperactividad (TDAH). Esta investigación es de tipo proyectiva y descriptiva con modalidad proyecto factible, con un diseño no experimental. La técnica de recolección de datos aplicada fue la observación documental y la entrevista. El software educativo se desarrolló mediante la metodología SCRUM, la cual consta de tres fases: planeación, desarrollo y finalización. Así mismo, para el desarrollo del software educativo se utilizó en el Frontend la librería de React, en el Backend el entorno de ejecución de Node.js con express como framework, y como Gestor de base de datos PostgreSQL.

**Palabras clave:** Software educativo, TDAH, Aprendizaje.

## Abstract

*The purpose of this research is to develop educational software that improves cognitive behavioral development in boys and girls between 6 and 9 years of age with attention deficit hyperactivity disorder (ADHD). This research is projective and descriptive with feasible project modality, with a non-experimental design. The data collection technique applied was documentary observation and interview. The educational software was developed using the SCRUM methodology which consists of three phases: planning, development and completion. Likewise, for the development of the educational software, the React library was used in the Frontend, and in the Backend, the Node.js execution environment was used with Express as the framework and PostgreSQL as the Database Manager.*

**Keywords:** Educational software, ADHD, Learning.

## Introducción

Los seres humanos tienen múltiples formas de asimilar el conocimiento, lo que ha impulsado a la búsqueda de diferentes estrategias que permitan mejorar la calidad, cobertura e integración de la educación en los estudiantes, sin importar sus condiciones o limitaciones físicas, mentales, emocionales, económicas o de otra índole.

El Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH) o ADHD por sus siglas en inglés, es uno de los trastornos del neuro-desarrollo más prevalentes que afecta a los niños en edad escolar, definido por Scandar [1], como un trastorno neurobiológico en gran medida transmitido genéticamente que suele comenzar en la niñez y puede persistir hasta la edad adulta, reconocido por la Organización Mundial de la Salud (OMS), cuando una persona presenta desatención, hiperactividad e impulsividad comportamientos que interfieren notablemente en el funcionamiento académico y social de quienes lo padecen.

Por ello, es importante desarrollar recursos adaptados a las diferentes necesidades individuales de los niños y niñas que lo padecen. Zenteno, Carhuachín y Rivera [2], definen el software educativo como: una

herramienta de enseñanza, en forma de programa para ordenador, diseñado con el fin de ser usado como medio didáctico, para facilitar los procesos de aprendizaje y de enseñanza, lo cual abarca todos los programas que han sido diseñados con fines didácticos, desde los típicos programas basados en los modelos conductistas, hasta softwares experimentales de Enseñanza Inteligente. En este contexto, el uso de un software educativo especialmente diseñado para niños con TDAH, se presenta como una herramienta pedagógica valiosa en la educación, ya que, a través de actividades interactivas y adaptadas a su ritmo cognitivo, esta tecnología logra mejorar la motivación, imaginación, enfoque y retención de contenidos, brindando retroalimentación inmediata en su aprendizaje.

En la República Bolivariana de Venezuela, se ha avanzado en la incorporación de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) como herramienta general de información. Sin embargo, se ha dado poco a conocer sobre las principales ventajas de los recursos técnicos como un software educativo que puede responder a la diversidad del proceso de aprendizaje, por su capacidad de adaptación a las necesidades del alumno. De esta manera, se reducen las diferencias para todos, facilitando el acceso al aprendizaje en aquéllos que tienen más dificultades. Es decir, son herramientas privilegiadas para la igualdad de oportunidades en las diferentes maneras de aprender, incluyendo el déficit de atención.

El principal problema es el actual desconocimiento de los beneficios que aportan herramientas educativas como software de escritorios o aplicaciones para móviles, que se convierten en una estrategia didáctica para la enseñanza. Siendo este el caso de los estudiantes entre 6 y 9 años de edad diagnosticados con TDAH pertenecientes al aula integrada de la U.E.N. “Roberto González” del municipio La Cañada de Urdaneta, estado Zulia, donde los docentes no cuentan con un software educativo especializado que les ayude a trabajar diferentes aspectos cognitivos en estos niños. Es decir, utilizar una plataforma de ejercicios y entornos abiertos que le permitan aprender de manera diferente y divertida, pero con la intencionalidad propia de producir aprendizaje significativo según su plan de estudio.

En consecuencia, según lo antes expuesto se plantea como objetivo general desarrollar un software educativo que mejore el desarrollo cognitivo conductual en niños y niñas entre 6 y 9 años de edad con trastorno de déficit de atención e hiperactividad (TDAH) de la U.E.N. “Roberto González”, y como objetivos específicos: identificar las necesidades de aprendizaje de los niños y niñas entre 6 y 9 años de edad diagnosticados con TDAH de la institución educativa, determinar las estrategias interactivas adecuadas para el desarrollo cognitivo en los niños y niñas, diseñar la interfaz y estructura del software educativo, desarrollar un software educativo como herramienta para el desarrollo de las capacidades de aprendizaje en niños y niñas, y demostrar el funcionamiento del software educativo en niños y niñas con TDAH entre los 6 y 9 años de edad.

La razón que justifica esta investigación es la evidente problemática que presentan los planteles educativos públicos en el municipio La Cañada de Urdaneta, especialmente la U.E.N. “Roberto González”, donde los docentes carecen de alternativas tecnológicas para conseguir una evolución positiva en el desarrollo cognitivo conductual de los estudiantes. Con el uso de este software educativo se pretende la modernización del proceso de enseñanza – aprendizaje de esta población estudiantil, mejorando su prosecución, disminuyendo la probabilidad de abandono escolar, y realizar aportes que contribuyan con futuras investigaciones relacionadas al desarrollo de software educativo.

## **Fundamentos teóricos**

### **Características del software educativo**

De acuerdo a Zenteno, Carhuachín y Rivera, el software educativo, “busca simular la labor tutorial personalizada que realizan los docentes y muestran esquemas de representación del conocimiento en armonía con los procesos cognitivos que desarrollan los estudiantes” [2, Pág. 181].

Según Marqués[3], las cinco características que distinguen a un software educativo son las siguientes:

- Finalidad didáctica: están elaborados con una intención pedagógica y en función de unos objetivos de enseñanza.

- Uso del ordenador: no requiere de mayor explicación. Sabemos que un software es para ser explorado a través del ordenador.
- Interacción: estimulan la participación del estudiante y el intercambio de información entre el estudiante y el ordenador.
- Individualización del trabajo: le permiten al estudiante o usuario trabajar de forma individual, de acuerdo a su propio ritmo de aprendizaje.
- Facilidad de uso: los conocimientos requeridos para el uso de estos programas son mínimos. El usuario o estudiante, sólo debe seguir las instrucciones que el programa le ofrece, tanto para acceder a él, como para navegar en él.

El mismo autor expresa que existen diversos elementos que componen un software educativo, estos son:

a) Componente de comunicación o interfaz: es aquel que permite la iteración satisfactoria entre el usuario y el programa, el cual promueve la comunicación entre los mensajes, que serán entendibles al usuario, de igual modo, con el programa, este captará por medio de los dispositivos de entrada, las acciones coherentes provenientes del usuario y así generar respuesta a través de los dispositivos de salida.

b) Componente pedagógico o instruccional: determina los objetivos de aprendizaje que se lograrán al finalizar el empleo del software, los contenidos a desarrollar con el programa en función a los objetivos educacionales, las secuencias de la instrucción, los tipos de aprendizajes que se quieren lograr, sistemas de evaluación que se deben considerar para determinar los logros y los sistemas de motivación extrínseca e intrínseca que se deben introducir.

c) Componente computacional o técnico: este permite establecer la estructura lógica para la interacción del software, donde cumpla con las acciones requeridas por el usuario, así como ofrecer un ambiente al estudiante, con el cual pueda aprender lo deseado y servir de entorno. A la estructura lógica del programa, se liga íntimamente la estructura de datos, que organiza la información necesaria para que el software pueda cumplir con sus objetivos instruccionales.

### **Teorías del aprendizaje**

García[4] afirma que el concepto básico de las teorías del aprendizaje es que la elaboración de la conducta que se observa en el curso del desarrollo puede explicarse, aparte de ciertas concesiones al crecimiento y la maduración física, como una formación continua de relaciones entre estímulos y respuestas. Existen tres tipos de teorías las cuales permiten una mejor relación y comprensión del aprendizaje, estas son:

Teoría Cognitiva: Ausubel [5] describe el aprendizaje repetitivo, que implica, la memorización de la información a aprender y el aprendizaje significativo, donde la información es comprendida por el alumno y se dice que hay una relación sustancial entre la nueva información y la presente en la estructura cognoscitiva. Plantea dos formas de cómo aprender, una de ella es por recepción, donde la información es proporcionada en su forma final y el alumno es un receptor de ella, y la otra es por descubrimiento, el alumno descubre el conocimiento y sólo se le proporcionan elementos para que llegue a él.

Teoría Conductista: Para Mergel, el conductismo se remonta a la época de Aristóteles, quien realizó ensayos de “memoria” enfocado en las asociaciones que se hacían entre los eventos como los relámpagos y los truenos [6, Pág. 3]; al respecto indica: “La teoría del Conductismo se concentra en el estudio de conductas”.

Teoría Constructivista: Pérez [7, Pág. 315] señala que “se suele justificar el término constructivismo a partir de la idea fundamental de la teoría: la consideración del hombre como constructor de su propio aprendizaje”. En esta teoría es de gran importancia la identificación del contexto, el conocimiento y la práctica, todo ello para permitir el aprendizaje y la construcción de su propio conocimiento mediante la interacción social entre los sujetos y sus pares.

## Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad

TDAH o ADHD por sus siglas en inglés, es un trastorno caracterizado por una evolución inapropiada en la regulación del nivel de actividad, en el control de los impulsos y en lograr un adecuado perfil atencional, tal como lo define el autor Scandar [1].

## Metodología

La presente investigación es de tipo proyecto factible ya que está focalizado en el desarrollo de una propuesta para satisfacer una necesidad, o brindarle solución a una problemática siguiendo una metodología. Al respecto, Palella y Martins, señalan que el proyecto factible “consiste en elaborar una propuesta viable destinada a atender necesidades específicas, determinadas a partir de una base diagnóstica” [8, Pág. 97]. A su vez Hurtado [9, Pág. 114], define la investigación proyectiva como aquella que “intenta proponer soluciones a una situación determinada, implica explorar, describir, explicar y proponer alternativas de cambio, y no necesariamente ejecutar la propuesta.” De acuerdo a la autora esta definición se aplica a todas las investigaciones que conllevan a diseños o creaciones dirigidas a cubrir una necesidad, basadas en conocimientos anteriores.

Asimismo, para Arias la investigación descriptiva “consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento” [10, Pág. 24]. Similarmente, Según Hernández, Fernández y Baptista explican que la investigación descriptiva “busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice” [11, Pág. 80].

De acuerdo a lo mencionado, la presente investigación encaja perfectamente con los enfoques expuestos por los diferentes autores citados, se cataloga como proyecto factible dado que el caso de este estudio se basa en el diseño y desarrollo de un software educativo interactivo que busca satisfacer las necesidades de niños con TDAH, es del tipo descriptiva porque se especifican y caracterizan los componentes del software utilizando técnicas creativas e imaginativas para generar ideas abordando un problema práctico y obteniendo respuestas.

En cuanto al diseño de la investigación, tiene un diseño de campo pues se encarga de la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios). Es importante señalar que su finalidad es teórica y no hay manipulación de las variables, por lo que se trata de un estudio no experimental. Al respecto, Palella y Martins [8], definen que la investigación de campo consiste en la recolección de datos directamente de la realidad donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar las variables. Estudia los fenómenos sociales en su ambiente natural. El investigador no manipula variables debido a que esto hace perder el ambiente de naturalidad en el cual se manifiesta.

Por otro lado, la unidad de análisis estuvo representada por el aula integrada de la U. E. N “Roberto González” ubicada en el municipio La Cañada de Urdaneta, por ser esta la institución donde se ha tomado la muestra poblacional para desarrollar el presente proyecto. En este proyecto de investigación se inició con la observación documental basado en la lectura y análisis de diferentes fuentes bibliográficas, así como estudios realizados con anterioridad que sirvieron de base para la realización del mismo, de igual manera se formularon preguntas a los diferentes expertos, obteniendo sugerencias y recomendaciones en los diferentes temas seleccionados para trabajar en el contenido del software.

La metodología utilizada para el desarrollo del software educativo fue la metodología SCRUM, definida por Mariño y Alfonzo como, “marco de trabajo iterativo e incremental para el desarrollo de proyectos y se estructura en ciclos de trabajo llamados Sprints” [12, Pág. 414]. Esta metodología permite un entorno de desarrollo controlado con un conjunto de actividades con características ágiles, flexibles que se ajustan a las necesidades de los requerimientos y que, en caso de presentarse eventualidades, son resueltas a corto plazo.

## Resultados

Mediante el uso de la metodología SCRUM, las tareas que deben ordenarse en grupos denominados Sprint, lo que permite abordarlas de forma más rápida y eficiente. En el presente trabajo se han desarrollado cuatro Sprint los cuales se detallan a continuación:

### Sprint 1: Planeación

Este primer Sprint da inicio al estudio, análisis y planeación del proyecto, e incluye las primeras tres tareas:

Tarea 1: Revisión de documentos y búsqueda de información. Obtención del contenido para desarrollar un material pedagógico e interactivo, adaptado a las necesidades de los niños con TDAH en edades comprendidas de 6 a 9 años de edad. Se observa la carencia de herramientas tecnológicas y se propone la modernización del proceso de enseñanza – aprendizaje de esta población estudiantil, para mejorar el rendimiento académico.

Tarea 2: Análisis donde se recopila información de requerimientos funcionales y requerimientos no funcionales para desarrollo del software. Entre los requerimientos funcionales se tienen:

- El sistema proporcionará resultados y avances de las actividades, el cual podrá ser consultado por estudiantes o docentes.
- El sistema proveerá de módulos con actividades que permitan el reconocimiento, escritura, lectura de palabras y números. Asimismo, juegos didácticos que desarrollen la memoria operativa de los niños.
- El sistema verificará los aciertos o errores en el proceso de desarrollo de cada una de las actividades.

En cuanto a los requerimientos no funcionales están:

- El tiempo de respuesta del sistema debe ser eficiente, de otra manera los usuarios perderán interés en las actividades y en la motivación hacia su uso.
- La interfaz de usuario debe ser atractiva, amigable y debe ser fácil de usar. Se sugiere la preferencia a escenarios relacionados con la naturaleza (bosques, lagos, desiertos), universo (espacio, estrellas, planetas) y fantasía.

Tarea 3: Selección de plataforma de desarrollo. Estas fueron para el Frontend la librería React, para el Backend entorno de ejecución de Node.js con express como framework y como Gestor de base de datos se seleccionó PostgreSQL.

### Sprint 2: Diseño Arquitectónico

En este Sprint se diseñan los diferentes diagramas UML los cuales permiten comprender la estructura y el comportamiento del sistema, así como las interacciones entre sus componentes. Existen varios tipos de diagramas UML, cada uno con un propósito específico.

Tarea 4: Análisis de caso de uso, muestra las interacciones entre los usuarios y el sistema, identificando los distintos escenarios de uso.

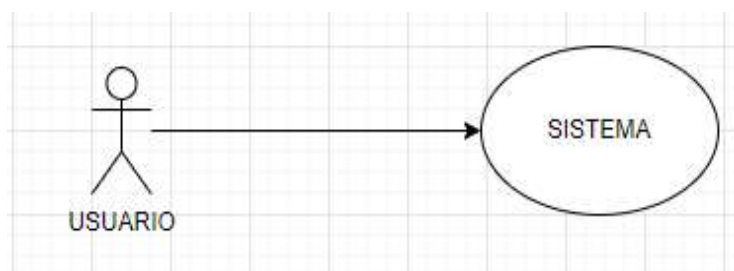
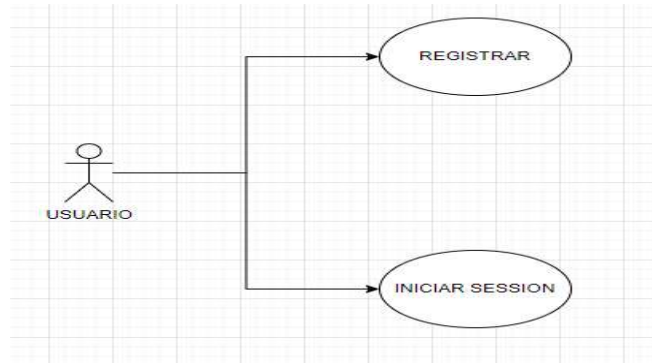
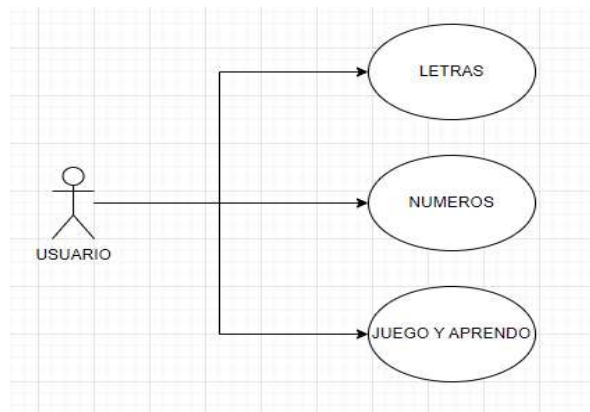


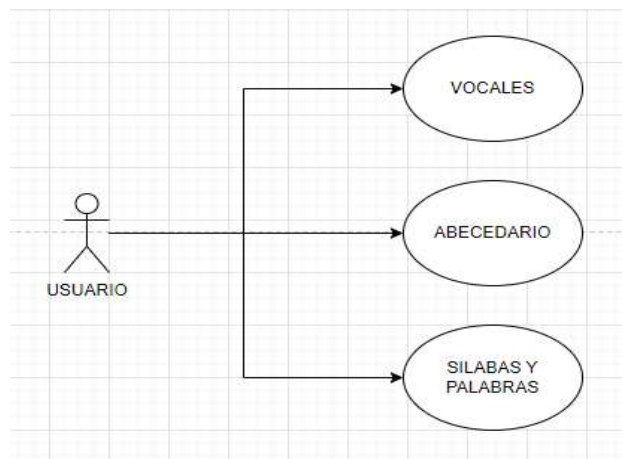
Figura 1. Diagrama general



**Figura 2. Diagrama principal**



**Figura 3. Diagrama del menú principal estudiante**



**Figura 4. Diagrama del módulo de letras**

Tarea 5: Diagrama de componentes de backend, este proporciona una vista de los componentes principales del sistema y las relaciones entre ellos, mostrando cómo se agrupan y se comunican entre sí.

Archivo config.json: Contiene toda la configuración del servidor. Por ejemplo, la configuración del objeto de conexión a la base de datos y el objeto de sesión.

Archivo dbSentences.js: Contiene todas las sentencias SQL del sistema.

Componente de Session: Se encarga del manejo del inicio de sesión, registro, verificación de sesión activa y cerrar sesión.



Componente Dispatcher: Tiene la función de enrutar todas las solicitudes HTTP entrantes dirigidas a la aplicación. Analiza la URL, headers, método HTTP, parámetros de la solicitud para identificar cuál es el recurso solicitado.

Componente DBComponent: Realiza la conexión y acceso a la base de datos.

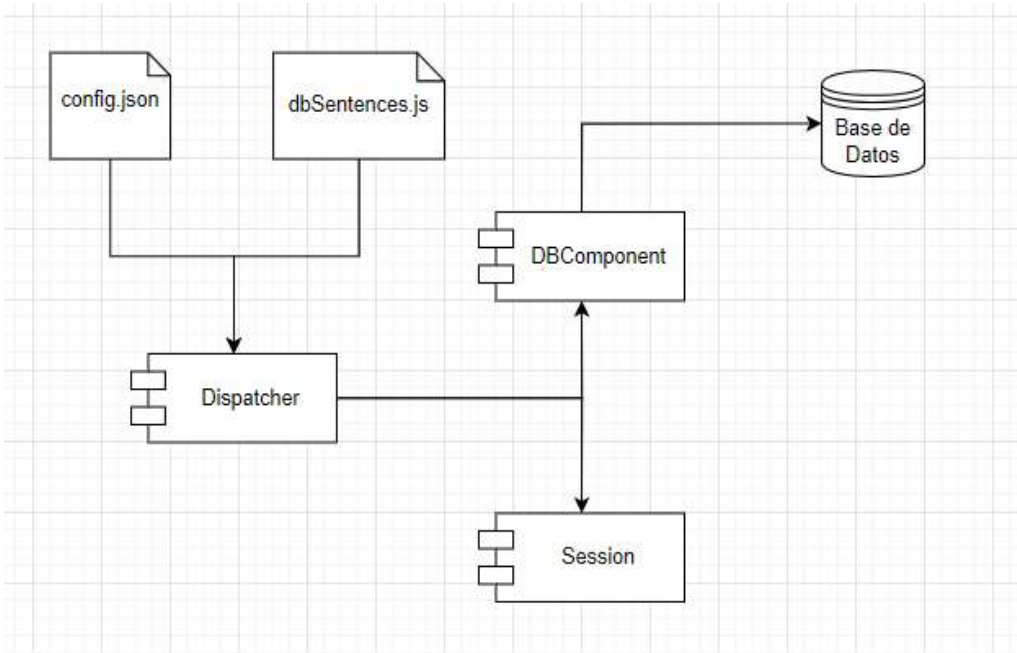


Figura 5. Diagrama de componentes del backend

Tarea 6: Diseño del modelo relacional de la base de datos: El modelo relacional permite organizar los datos de manera estructurada y establecer relaciones lógicas entre ellos.

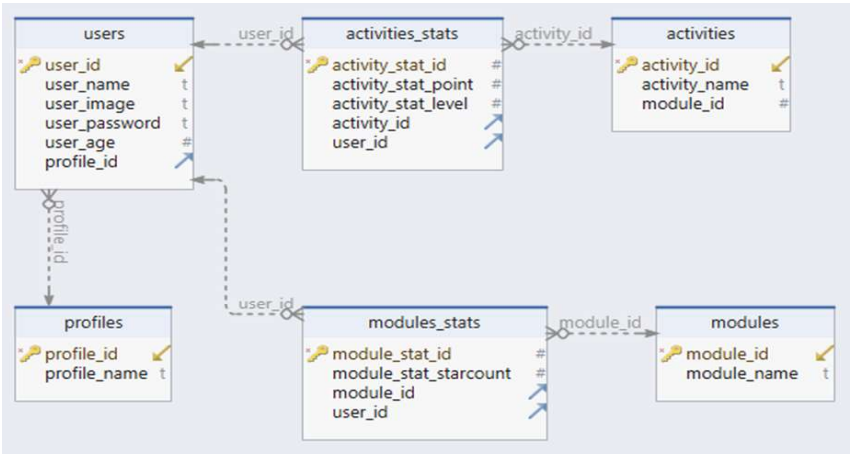


Figura 6. Modelo relacional del software educativo

Diccionario de datos:

Tabla 1. Users (Tabla de usuarios)

	Columna	Tipo de dato	Longitud	Descripción
PK	user_id	integer	32	Número de identificación para el usuario
	user_image	charactervarying	100	Imagen de perfil del usuario

	user_name	charactervarying	50	Nombre completo del usuario
FK	profile_id	integer	32	Número de identificación para el tipo de perfil
	user_password	charactervarying	100	Contraseña del usuario
	user_age	integer	32	Edad del usuario

Tabla 2. Profiles (Tabla de Perfiles)

	Columna	Tipo de dato	Longitud	Descripción
PK	profile_id	integer	32	Número de identificación del perfil
	profile_name	charactervarying	50	Nombre del perfil

Tabla 3. Activities (Tabla de Actividades)

	Columna	Tipo de dato	Longitud	Descripción
PK	activity_id	integer	32	Número de identificación de la actividad
	activity_name	charactervarying	50	Nombre de la actividad
FK	module_id	integer	32	Número de identificación para el modulo

Tabla 4. Modules (Tabla de Módulos)

	Columna	Tipo de dato	Longitud	Descripción
PK	module_id	integer	32	Número de identificación del modulo
	module_name	charactervarying	50	Nombre del módulo

Tabla 5. Activities\_stats (Tabla de estadísticas de las actividades)

	Columna	Tipo de dato	Longitud	Descripción
PK	activity_stat_id	integer	32	Número de identificación para la estadísticas de la actividad
	activity_stat_point	real	24	Puntos de la actividad
	activity_stat_level	integer	32	Nivel de la actividad
FK	activity_id	integer	32	Número de identificación para la actividad
FK	user_id	integer	32	Número de identificación para el usuario

**Tabla 6. Modules\_stats(Tabla de estadísticas de los módulos)**

	Columna	Tipo de dato	Longitud	Descripción
PK	module_stat_id	integer	32	Número de identificación para la estadísticas del módulo
	module_stat_starcount	integer	32	Estrellas de cada módulo
FK	module_id	integer	32	Número de identificación para el módulo
FK	user_id	integer	32	Número de identificación para el usuario

### Sprint 3: Desarrollo

Tarea 7: Pantalla principal del software educativo. Este diseño se muestra al ingresar al software. Aquí se presentan dos botones con diferentes opciones:

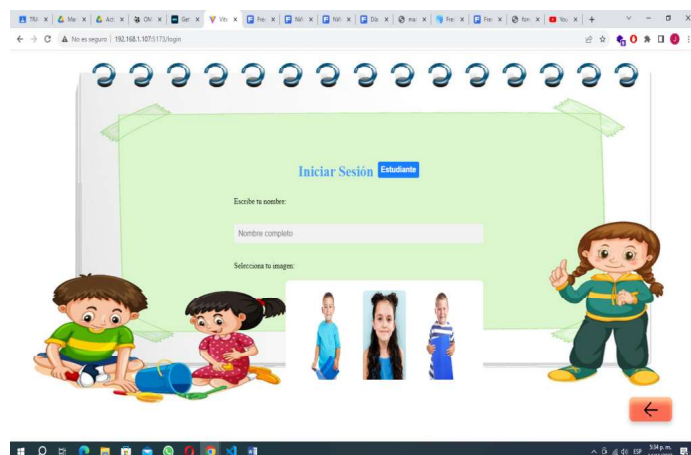
1. Registrarse: Para ser utilizado por un nuevo estudiante o docente, esta opción envía a la pantalla de registro de la aplicación.



**Figura 7. Pantalla principal del software educativo**

2. Iniciar sesión: Esta opción es para ingresar como un estudiante o docente ya registrado, la misma envía al usuario a la pantalla de ingreso.

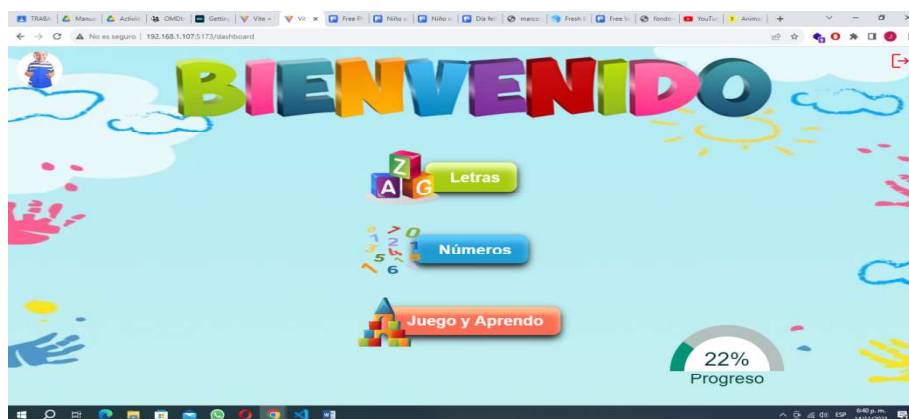
Tarea 8: Pantallas de inicio de sesión del software educativo. Esta incluye el diseño de las interfaces de inicio de sesión del docente y del estudiante. Ambas pantallas muestran un botón tipo switch para la selección del tipo de usuario a ingresar en el sistema, de la misma forma un botón en la parte inferior para volver a la pantalla de inicio. La pantalla de ingreso de los estudiantes presenta dos campos para ser llenados, el primero en cual debe escribir su nombre, esto permitirá filtrar la lista de los estudiantes inscritos en el sistema, mostrando en el segundo campo las imágenes correspondientes al filtrado, donde deberá seleccionar su imagen de perfil para su respectiva validación y posterior ingreso a la aplicación.



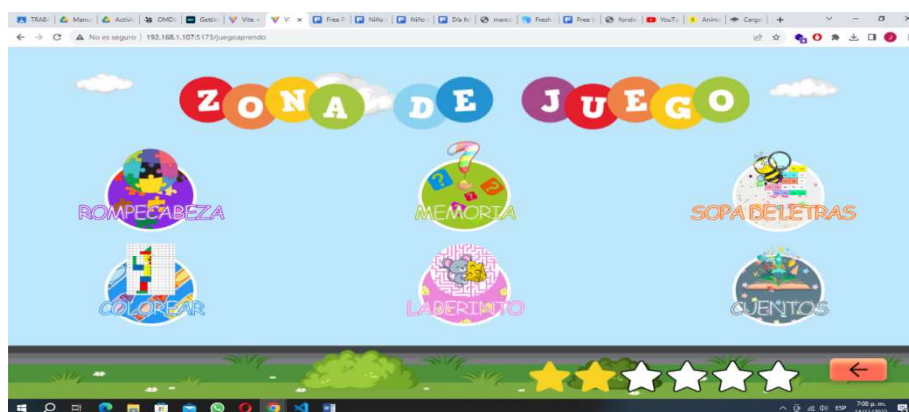
**Figura 8. Pantalla de ingreso de los estudiantes al software educativo**

Tarea 9: Pantallas de registro del software educativo. Esta incluye el diseño de las interfaces de registro del docente y del estudiante. Ambas pantallas muestran un botón tipo switch para la selección del tipo de usuario a registrar en el sistema, el botón registrar el cual permite guardar la información suministrada por el usuario, además de un botón en la parte inferior para volver a la pantalla de inicio. La pantalla de registro de los estudiantes presenta tres campos para ser llenados, el primero es su nombre, el segundo su edad y el tercero su imagen de perfil.

Tarea 10: Pantalla de menú principal del estudiante. En esta se puede interactuar con cada uno de los módulos de la aplicación. Se presenta el progreso del estudiante, su imagen de perfil en la parte superior izquierda y un botón para cerrar sesión en la parte superior derecha.



**Figura 9. Pantalla de menú principal del estudiante**



**Figura 10. Pantalla de menú del módulo de juego y aprendo**

Tarea 11: Pantallas de los módulos. Estas interfaces permiten acceder a las diferentes actividades de los módulos, mostrando los logros acumulados del estudiante representado por estrellas y un botón en la parte inferior para volver a la pantalla del menú principal.

Tarea 12: Pantalla de la actividad de ordenar números. Esta interfaz muestra un juego donde el usuario puede interactuar con el software educativo, el niño debe ordenar los números con ayuda del mouse o de su dedo dependiendo de su dispositivo, e intercambiar los números hasta ordenarlos de manera correcta.

#### Sprint 4: Finalización

Durante esta etapa, el código se prueba minuciosamente mediante pruebas unitarias que validen el comportamiento de unidades/módulos aislados de la aplicación, como funciones y clases. Una vez que se superan dichas pruebas, se aplican las pruebas de integración donde se verifican que las diferentes unidades del software se integran y comunican correctamente entre sí.

Tarea 13: Pruebas unitarias

```
describe("METHOD hasSession", () => {  
  test('calls next when token is valid', () => {  
    const next = jest.fn();  
    Session.hasSession(req, res, next);  
    expect(next).toHaveBeenCalled();  
  });  
  
  test('returns 401 when no token', () => {  
    req.session.user = false;  
    Session.hasSession(req, res);  
    expect(res.status).toHaveBeenCalledWith(401);  
    expect(res.json).toHaveBeenCalledWith({  
      success: false,  
      message: 'No estás autorizado'  
    });  
  });  
});
```

Figura 11. Método hasSession de la clase Session

Tarea 14: Pruebas de integración

```
describe("GET /users", () => {  
  test("should respond with a 200 status code", async () => {  
    const response = await request(app).get("/users").send();  
    expect(response.status).toBe(200);  
  });  
  
  test("should respond an array", async () => {  
    const response = await request(app).get("/users").send();  
    expect(response.body).toBeInstanceOf(Array);  
  });  
});
```

Figura 12. Extracto de prueba de integración del endpoint users

#### Conclusiones

El trabajo pudo cumplir de manera exitosa el principal propósito el cual fue desarrollar un software Educativo que mejore el desarrollo cognitivo conductual en niños y niñas entre 6 y 9 años de edad con trastorno de déficit de atención e hiperactividad (TDAH) de la U.E.N. "Roberto González", que es una herramienta valiosa para motivar el aprendizaje y reforzar conceptos clave en distintas áreas del conocimiento.

Este software fue diseñado de manera atractiva e interactiva, para ayudar a los niños a aprender de una forma divertida y estimulante, ofreciéndole al docente una alternativa innovadora. Sin embargo, es importante señalar que este tipo de herramientas tecnológicas no pueden reemplazar por completo a los métodos de

enseñanza tradicionales en el aula, sino que sirven de complemento para lograr una mejor integración entre lo presencial y lo virtual.

Del mismo modo, es necesario asegurar que el contenido educativo incluido esté debidamente revisado y adecuado por expertos en las distintas disciplinas, de manera que realmente contribuya al desarrollo cognitivo y académico infantil. Queda claro con esta investigación que el software educativo, cuando está bien diseñado e implementado, constituye una alternativa innovadora y enriquecedora para la educación de los niños.

Una vez finalizada la investigación y alcanzados los objetivos planteados, se encontraron puntos en los cuales el software puede crecer y fortalecerse como una mejor herramienta de aprendizaje. Por esto, se tienen las siguientes recomendaciones:

- Crear un módulo de idiomas que incluyan diferentes actividades.
- Permitir al docente crear contenido personalizado para los estudiantes.
- Implementar el software educativo en la institución educativa U.E.N. “Roberto González” para niños diagnosticados con TDAH.

### Referencias Bibliográficas

- [1] R. O. Scandar, *Inquietos, distraídos ¿diferentes? Orientación y consejos para padres y docentes de niños con déficit de atención e hiperactividad*. Editorial EDIBA, 2006.
- [2] F. Zenteno Ruiz, M. Carhuachín, y T. Rivera Espinoza, “Uso de software educativo interactivo para la enseñanza y aprendizaje de la matemática en educación básica, Región Pasco”, *Horizonte de La Ciencia*, vol. 10, no. 19, pp. 178-190, 2020. [En Línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7762164>
- [3] Per. R. Marqués Graells, “El software educativo. Una metodología para su diseño y desarrollo”, *Comunicación educativa y Nuevas Tecnologías*, pp. 119-144, 1996.
- [4] F. García, *Teorías de aprendizaje*, 2001. [En Línea]. Disponible en: <http://reescolar.ilce.edu.mx/redescolar/biblioteca/articulos/pdf/Lectura%201%20Teor%EDas.pdf>.
- [5] D. P. Ausubel, *Psicología educativa: Un punto de vista cognoscitivo*. 2a ed. Editorial Trillas, 1983.
- [6] B. Mergel, “Diseño instruccional y Teoría del aprendizaje”, Univ. de Saskatchewan, 1998. [En Línea]. Disponible en: <https://disenoinstrucciona.wordpress.com/wp-content/uploads/2007/09/diseno.pdf>
- [7] P. Pérez, *Una teoría educativa Vol. II*. Ediciones UDEP, 2015.
- [8] S. Palella, y F. Martins, *Metodología de la investigación cuantitativa*. 6a ed. FEDUPEL Editores, 2017.
- [9] J. Hurtado de Barrera, *Metodología de la investigación holística*. Fundación Sygal, Caracas, 2000.
- [10] F. Arias, *El Proyecto de Investigación. Introducción a la metodología científica*. 6a ed. Editorial Episteme, Caracas, 2012.
- [11] R. Hernández, C. Fernández, y M. Baptista, *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill, México D.F, México, 2010.
- [12] S. I. Mariño, y P. L. Alfonzo, “Implementación de SCRUM en el diseño del proyecto del Trabajo Final de Aplicación”. *Scientia Et Technica*, vol. 19, no. 4, pp. 413-418, 2014.



# Factores que afectan la condición del pavimento de la Avenida 16 Goajira, tramo Avenida Lago Mara y Plaza de Toros de la ciudad de Maracaibo

*Factors affecting the condition of the pavement of 16 Goajira Avenue, Lago Mara Avenue and Plaza de Toros of Maracaibo city*

**Jorge L. Leal-Sánchez**

Universidad Rafael Urdaneta. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. Maracaibo, Venezuela.  
<https://orcid.org/0009-0007-2388-8582>/Correo electrónico: [jorgeleal20x@gmail.com](mailto:jorgeleal20x@gmail.com)

**María A. García-Román**

<https://orcid.org/0000-0002-5799-3600>/Correo electrónico: [mariaamandag4@gmail.com](mailto:mariaamandag4@gmail.com)

Recibido:04-10-2024 Admitido:15-10-2024 Aprobado:03-11-2024

## Resumen

La Av. 16 Goajira o troncal No. 6, conecta la frontera de Colombia con el centro de Maracaibo, el tramo estudiado de 4,684 km de longitud, ha presentado frecuentes fallas en el pavimento después de varios mantenimientos. El objetivo de esta investigación fue identificar los factores que afectan la condición del pavimento en la Av. 16 Goajira, tramo Av. Lago Mara y Plaza de Toros. Para ello se desarrolló una investigación de tipo descriptiva con diseño de campo observacional descriptivo. El inventario vial reveló que el 70% de la calzada está en estado regular y el 30% en mala condición; mientras que, sus drenajes están mayormente obstruidos por vegetación y desechos sólidos. Aplicando la metodología del PCI, se obtuvo un PCI de 49,29 en el sentido norte-oeste (mala condición) y de 58,46 en el sentido oeste-norte (condición regular), las fallas más recurrentes fueron fisuras longitudinales y/o transversales (33%) y huecos (31%). Se realizaron ensayos de laboratorio al suelo entre las progresivas 2+951 y 3+863 en el sentido norte-oeste, revelando que el suelo es arenoso con mala gradación, influyendo en la estructura del pavimento, provocando un deterioro en sus propiedades, y reduciendo la capacidad de soportar las cargas del tráfico.

**Palabras clave:** PCI, pavimento flexible, drenajes laterales, granulometría del suelo, límites de consistencia.

## Abstract

*Avenue 16 Goajira or Trunk No. 6, connects the Colombian border with the center of Maracaibo, the studied section of 4.684 km in length, has presented frequent pavement failures after several maintenances. The objective of this research was to identify the factors affecting the condition of the pavement on Avenue 16 Goajira, section Av. Lago Mara and Plaza de Toros. For this purpose, a descriptive type of research was developed with a descriptive observational field design. The road inventory revealed that 70% of the roadway is in fair condition and 30% in poor condition, while its drains are mostly obstructed by vegetation and solid waste. Applying the PCI methodology, a PCI of 49.29 was obtained in the north-west direction (poor condition) and 58.46 in the west-north direction (fair condition); the most recurrent faults were longitudinal and transverse cracks (33%) and voids (31%). Laboratory tests were performed on the soil between 2+951 and 3+863 in the north-west direction, revealing that the soil is sandy with poor gradation, influencing the pavement structure, causing deterioration in its properties, and reducing its capacity to withstand traffic loads.*

**Key words:** PCI, flexible pavement, lateral drainage, soil granulometry, consistency limits.

## Introducción

Según la Universidad Mayor de San Simón - Facultad de Ciencias y Tecnologías UMSS, “un pavimento de una estructura, asentado sobre una fundación apropiada, tiene por finalidad proporcionar una superficie de rodamiento que permita el tráfico seguro y confortable de vehículos, a velocidades operacionales deseadas

y bajo cualquier condición climática” [1, Pág. 2]. A su vez, hay una gran diversidad de tipos de pavimentos, dependiendo del tipo de vehículos que transitan por él y del volumen de tráfico que lo utilizan.

Además, según American Association of State Highway and Transportation officials AASHTO [2], los pavimentos pueden dividirse en rígidos y flexibles. Los pavimentos flexibles se caracterizan por ser sistemas multicapas con capas de mayor calidad cerca de la superficie donde las tensiones son mayores. La capa superior es de concreto asfáltico. Un pavimento flexible trabaja distribuyendo la carga hasta que llega a un nivel aceptable para la sub-rasante. Por debajo de la capa de concreto asfáltico, se coloca una base que puede ser de piedra picada, grava bien graduada o materiales estabilizados. A su vez, de esta base se coloca una capa de menor calidad denominada sub-base. Por otra parte, un pavimento rígido, debido a la rigidez de la losa de concreto, produce una buena distribución de las cargas de las ruedas de los vehículos, dando como resultado tensiones muy bajas en la sub-rasante.

De tal manera que, el comportamiento del pavimento está influenciado por una variedad de factores que deben ser considerados para garantizar su durabilidad y funcionalidad. Entre estos factores, se destacan las características de los materiales de la estructura del pavimento, el espesor del pavimento, el clima, el drenaje existente de la vía y las cargas del tránsito.

Según UMSS, el índice de condición de pavimento (PCI) es un índice numérico que varía de 0 para pavimentos fallados, a 100 para pavimentos en perfectas condiciones, este índice fue desarrollado para proporcionar un índice de la integridad estructural del pavimento y condición operacional de la superficie. La información de anomalías obtenida como parte del estudio de la condición de PCI proporciona una visión de las causas de las anomalías, y si es debido a la carga o al clima. Para determinar el PCI de una sección de pavimento, primero se divide la sección en unidades de inspección, llamadas “Unidades de Prueba”. [1, Pág. 380]

Además, una unidad de prueba es convenientemente definida como una porción de una sección de pavimento designada solo con los propósitos de la inspección del pavimento. Para caminos sin pavimento y para caminos recubiertos de asfalto, una unidad de prueba está definida como un área de  $2500 \pm 1000$  pies<sup>2</sup> ( $232 \pm 93$  m<sup>2</sup>).

Con respecto al suelo, según Juárez y Rico “todo tipo de material terroso, desde un relleno de desperdicio” [3, Pág. 8], hasta arenisca parcialmente cementada y el agua contenida, juegan un papel fundamental en el comportamiento mecánico del suelo, que debe considerarse como parte del mismo.

Por otro lado, el comportamiento mecánico e hidráulico del suelo está principalmente definido por la compacidad de los granos, y su orientación. Los límites del tamaño de las partículas que constituyen un suelo, ofrecen un criterio obvio para una clasificación descriptiva del mismo.

Ahora bien, en Venezuela, la infraestructura vial ha experimentado un deterioro significativo, manifestado en “pavimentos irregulares, grandes huecos, baches y hundimientos” [4, Párr. 1], como se ha reportado en diversos periódicos nacionales como el Correo del Caroní a través de Alianza de medios. Sin embargo, Maracaibo no es la excepción, ya que hay evidencias en reportes nacionales que presenta la misma problemática.

Un caso resaltante es la Av. 16 Goajira en el tramo Av. Lago Mara y Plaza de Toros, el cual tiene una longitud de 4,684 km y es un tramo altamente transitado. Existiendo en esta vía un constante tráfico de vehículos pesados debido al comercio binacional que une a la frontera entre Colombia y Venezuela, en este tramo en particular se ha informado sobre deterioros vigentes de la vialidad, fallas de pavimentos como: baches, hundimiento y piel de cocodrilo. Así mismo, se reportaron accidentes debido a fallas estructurales. Al respecto, Cruz en su reporte periodístico informa: “mega hueco se “traga” carro en la avenida Guajira” [5, Tít. 1].

Es por lo anteriormente expuesto que, el presente estudio tiene como finalidad determinar los factores que afectan la condición del pavimento de la Av. 16 Goajira en el tramo Av. Lago Mara y Plaza de Toros.



## Materiales y Métodos

La investigación presentada es de tipo descriptiva, con diseño de campo de tipo observacional descriptivo. La unidad de estudio correspondió al tramo Av. Lago Mara y Plaza de Toros de la Av. 16 Goajira, ubicado en el Municipio Maracaibo del Estado Zulia, con una longitud total de 4,684 km. Para la recolección de datos, se empleó la técnica de observación participante estructurada.

Es importante destacar que la investigación se estructuró en tres fases. La primera fase consistió en realizar un inventario vial del estado actual del pavimento y de los drenajes laterales. La segunda fase se centró en la aplicación de la metodología del PCI para determinar la condición del pavimento según sus fallas más recurrentes. Y, por último, la tercera fase se basó en la caracterización del suelo que sirve de soporte al pavimento.

### Fase 1. Inventario vial del estado actual del pavimento y drenaje.

Primero se dividió el tramo Av. Lago Mara y la Plaza de Toros en cinco secciones, como se ilustra en la Tabla 1, luego se obtuvieron las progresivas y rumbos de las secciones, tal como se ilustra en la Tabla 2.

**Tabla 1. Secciones del tramo**

Sección	Progresivas	longitud (m)
1	0+000, 0+986	985,98
2	0+986, 2+012	1026,00
3	2+012, 2+951	938,89
4	2+951, 3+863	911,65
5	3+863, 4+684	821,40

**Tabla 2. Progresivas y rumbos del tramo**

Progresivas		°	‘	“		°	‘	“
0+000	N	10	43	49	W	71	37	40
0+986	N	10	43	20	W	71	37	46
2+012	N	10	42	56	W	71	38	20
2+951	N	10	42	27	W	71	38	21
3+863	N	10	41	59	W	71	38	13
4+684	N	10	41	34	W	71	38	6

Posteriormente, se llevó a cabo el diagnóstico del estado actual de la calzada utilizando una planilla de inspección, en la cual se registraron las progresivas correspondientes al tramo estudiado y la condición de la vialidad. Además, se evaluó el estado actual de los drenajes laterales mediante una planilla de inventario específica para drenajes, registrando la cantidad de drenajes laterales presentes en la vía y verificando sus condiciones. Ambos instrumentos fueron propuestos y validados por Márquez [6].

### Fase 2. Aplicación de la metodología del PCI para determinar la condición del pavimento.

Para comenzar se implementó la metodología del PCI, en la cual se determinó mediante la Ecuación 1 el número de unidades de prueba (N) de las cinco secciones.

$$N = \frac{\text{área de la sección}}{\text{área definida de la unidad de prueba}} \quad (\text{Ec.1})$$

En la Tabla 3 se presenta el ancho de la vía correspondiente a cada sección. Por su parte, la Tabla 4 muestra el criterio de muestreo utilizado para determinar las unidades de prueba que serán inspeccionadas en cada una de las secciones.

**Tabla 3. Ancho de las secciones**

Sección	Progresivas	ancho (m)
1	0+000, 0+986	10
2	0+986, 2+012	10
3	2+012, 2+951	9
4	2+951, 3+863	10
5	3+863, 4+684	9

**Tabla 4. Criterio de muestreo para determinar las unidades de prueba a ser inspeccionadas**

N	n
1-5	1
6-10	2
11-15	3
16-40	4
>40	10% redondeo al número superior

N: Número de unidades de prueba en la sección; n: Número de unidades a ser inspeccionadas [1]

Se debe agregar que, para pavimentos flexibles una unidad de prueba está definida como un área de  $232 \text{ m}^2 \pm 93 \text{ m}^2$ , referente a la investigación, se asumieron para las secciones 1,2 y 4 un área de  $250 \text{ m}^2$  (25 x10) m. para las secciones 3 y 5 un área de  $225 \text{ m}^2$  (25 x9) m, por otra parte, en la Tabla 5 se ilustra el número de unidades de pruebas a ser inspeccionadas en cada sección.

**Tabla 5. Unidades de prueba para cada sección y unidades de prueba a ser inspeccionas**

Sección	N	n
1	39	4
2	41	5
3	38	4
4	36	4
5	33	4

Adicionalmente, utilizando la planilla de inspección del PCI, propuesta y validada por Gómez [7], se identificó el tipo de falla presente en cada unidad de prueba. Posteriormente, se registraron las dimensiones correspondientes de cada falla y se determinó la densidad utilizando la Ecuación 2.

$$Densidad(\%) = \frac{\text{La cantidad de tipo de anomalía}}{\text{área definida de la unidad de prueba}} \times 100 \quad (\text{Ec.2})$$

Posteriormente, se obtuvo el valor deducido (VD) utilizando las figuras de densidades para cada tipo de falla. Además, se determinó el valor deducido corregido (CDV) mediante la figura de la curva de corrección del valor deducido para pavimentos flexibles. Estas figuras están validadas por la norma ASTM D 6433-07[8].

Cabe aclarar que, para realizar los cálculos del PCI se siguió este procedimiento, primero se sumaron los totales para cada tipo de anomalía en cada nivel de severidad, y se registraron en la columna “Total” en el formulario de evaluación. Las cantidades de la anomalía pueden ser medidas en ft<sup>2</sup> (m<sup>2</sup>), ft (m), o cualquier otra unidad de medida, dependiendo del tipo de anomalía.

Después, se dividió la cantidad de cada tipo de anomalía en cada nivel de severidad por el área total de la unidad de prueba, y luego se multiplicó por 100 para obtener en porcentaje, la densidad por unidad de prueba para cada tipo de anomalía y severidad. Por último, se determinó el “Valor Deducido” para cada tipo de anomalía y nivel de severidad de la curva de valores deducidos.

Luego se determinó el número de máximo aceptable de deducción ( $m_i$ ) con la ecuación (3), por medio de la siguiente fórmula:

$$m_i = 1 + \frac{9}{98}(100 - HDV_i) \quad (\text{Ec.3})$$

$m_i$ : número de máximo aceptable de deducción.

$HDV_i$ : Máximo valor deducido de la unidad de prueba.

Se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

Primero: si sólo un valor deducido (o ninguno) es  $>2$ , el valor total deducido se usa en lugar del valor máximo deducido corregido (CDV). Segundo: enlistar los “Valores Deducidos Individuales” en orden descendiente. Tercero: determinar el “Número Aceptable de Deducciones”, ( $m_i$ ). Cuarto: el número de valores deducidos individuales es reducido a  $m_i$ , incluyendo la parte fraccionada. Si menos que  $m_i$  valores deducidos están disponibles, entonces todos los valores deducidos son usados.

Seguidamente, se determinó el valor máximo deducido a través de los siguientes pasos: inicialmente se determinó el número de deducciones con un valor  $>2$ , que será igual a “ $q$ ”. Luego se estimó el “Valor Deducido Total”, sumando todos los valores deducidos individuales. Después se obtuvo el Valor Deducido Corregido (CDV) de “ $q$ ” y el valor total deducido por observación de la curva de corrección del valor deducido.

Después, se redujo hasta 2 el valor deducido individual, comenzando por el más pequeño que sea  $>2$ , hasta un valor menor al valor deducido máximo. Repetir los tres primeros pasos; hasta  $q=1$ . Por último, el máximo CDV es el valor más grande de CDV’s determinado.

Respecto al cálculo del PCI para cada unidad de prueba se utilizó la Ecuación 4 y para calcular el PCI de cada sección se usó la Ecuación 5.

$$PCI = 100 - \text{Maximo valor CDV} \quad (\text{Ec.4})$$

$$PCI_s = \frac{PCI_s}{\text{Numero total de muestras en la seccion}} \quad (\text{Ec.4})$$

Dónde:  $PCI_s$ : PCI de la sección y  $PCI_r$ : PCI medio de las muestras representativas.

### Fase 3. Caracterización del suelo que sirve de soporte al pavimento

Posterior al estudio realizado al pavimento, se extrajo una muestra de suelo de 8,669 kg en la progresiva 2+951-3+863 en el sentido norte-oeste, para llevar a cabo pruebas de análisis granulométrico, límites de consistencia y determinación del índice de plasticidad. Esto permitió caracterizar el suelo según los métodos S.U.C.S. y A.A.S.T.H.O. y verificar si tuvo una buena gradación. Se registraron los datos obtenidos en las planillas de granulometría por tamizado y límites de consistencia.

#### Ensayo de composición granulométrica por tamizado.

Este ensayo se basó en la norma ASTM C 136-06 [9], para ello primero se realizó el cuarteo obteniendo una muestra de 4,133 kg, segundo se seleccionaron los tamices para el agregado grueso y se procedió a colocar

la muestra en los mismos y, posteriormente, se colocaron en la tamizadora eléctrica por 10 min. Luego se pesó el agregado retenido en cada tamiz colocando la muestra en un bol, se tomó una muestra del agregado pasante del tamiz N°4, y se determinó la granulometría del agregado fino, usando los tamices especificados en la norma.

### **Ensayo límites de consistencia**

El procedimiento del ensayo se realizó de acuerdo al método multipunto, conforme a la norma ASTM D 4318-05[10], el cual sirvió para determinar el límite líquido del suelo mediante la adición de agua destilada y la medición del número de golpes necesarios para que las mitades del suelo se unan en la base de una ranura.

Para la primera muestra, se añadieron 6 ml, 3 ml, 2 ml y 2 ml de agua destilada en sucesión, se pesaron las cápsulas, se colocó la muestra en la cazuela de Casagrande, se formó un surco con el ranurador y se contaron 15 golpes hasta que las mitades del suelo se unieron, luego se extrajo y pesó el área unida. En la segunda muestra, se añadieron 6 mL, 3 mL, 2 mL y 1 mL de agua destilada, siguiendo el mismo procedimiento, obteniendo 24 golpes y pesando la muestra extraída. En la tercera muestra, se añadieron 6 mL, 3 mL y 1 mL de agua destilada, repitiendo el procedimiento y obteniendo 32 golpes, tras lo cual se pesó la muestra.

Finalmente, las muestras ya pesadas de suelo húmedo junto con las cápsulas, se colocaron en un horno a  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  para determinar los pesos del suelo seco y las cápsulas. Este procedimiento permitió evaluar el límite líquido del suelo mediante la observación de su comportamiento al ser sometido a diferentes cantidades de agua y golpes.

Respecto al límite plástico, primero, se pesaron las cápsulas, luego, se enrollaron las muestras de suelo con la palma de la mano, aplicando suficiente presión para formar un hilo de diámetro uniforme a lo largo de toda su longitud. Este hilo debe deformarse con cada movimiento hasta alcanzar un diámetro de 3,2 mm (1/8 de pulgada) en no más de 2 minutos. A continuación, los rollos se colocaron en las cápsulas y se pesaron. Finalmente, las cápsulas con los rollos de suelo se colocaron en un horno a una temperatura de  $105 \pm 5^\circ\text{C}$ , y luego se pesaron nuevamente para obtener el peso del suelo seco.

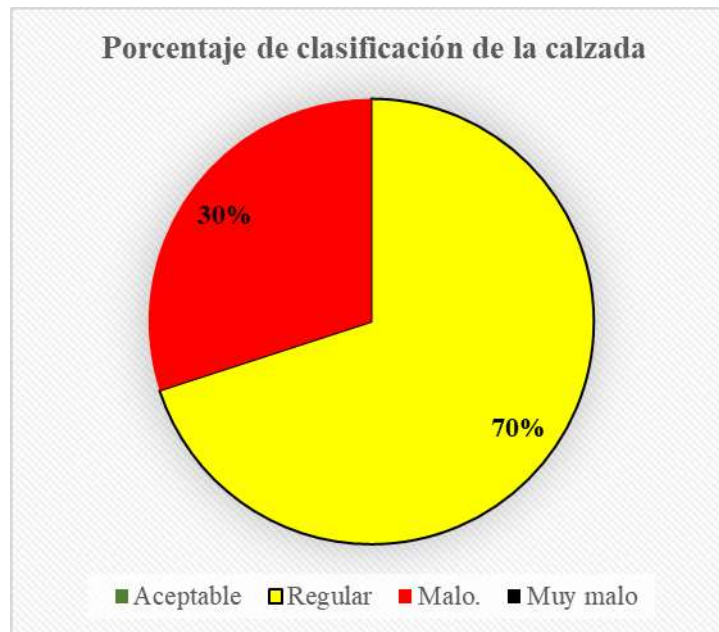
### **Clasificación del suelo**

La clasificación de las muestras de suelo permitió identificar y categorizar los diferentes tipos de suelos según sus propiedades físicas y mecánicas. Dos de los métodos más utilizados son el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y el método AASHTO. El SUCS clasifica los suelos en categorías como grava, arena, limo y arcilla, basándose en la granulometría y la plasticidad. Por otro lado, el método AASHTO se enfoca en la idoneidad de los suelos para la construcción de carreteras, agrupándolos en clases que van desde A-1 (gravas y arenas bien graduadas) hasta A-7 (suelos con alto contenido de limo y arcilla), considerando también el tamaño de las partículas, el índice de grupo y el índice de plasticidad.

## **Resultados y discusión**

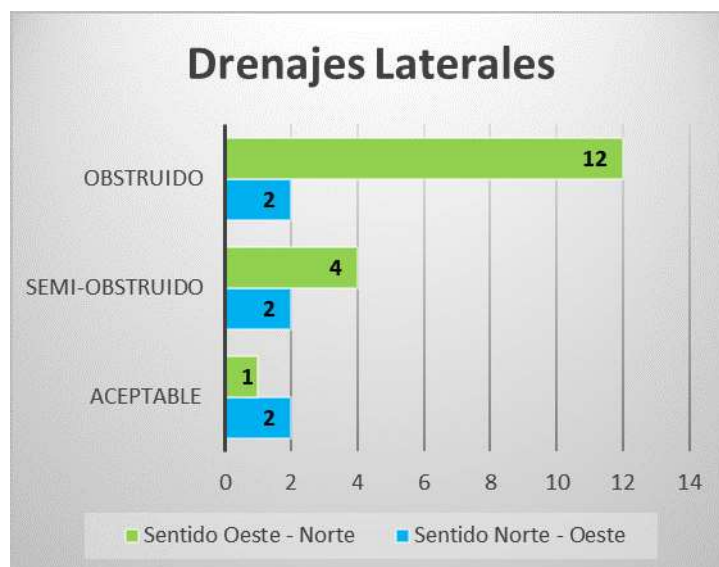
### **Fase 1. Inventario vial del estado actual del pavimento y drenaje**

Las Figuras 1 y 2 se ilustran la condición actual de los elementos que conforman la vía, se debe mencionar que de la aplicación de las planillas “Planilla de inspección de la calzada” y “Planilla de inspección de los drenajes laterales” se obtuvieron los resultados mostrados.



**Figura 1. Porcentaje del estado actual de la calzada del tramo Av. Lago Mara y Plaza de Toros**

Respecto al análisis del estado actual de la calzada del tramo en estudio, se reveló que aproximadamente el 70% de la superficie se encontró en condiciones regulares; mientras que, el 30% restante presentó un estado malo. Este deterioro significativo de la estructura del pavimento sugiere la necesidad de intervenciones urgentes para evitar un mayor deterioro.



**Figura 2. Clasificación de los drenajes laterales del tramo Av. Lago Mara y Plaza de Toros**

Además, se observó que los drenajes laterales están mayoritariamente obstruidos o semi-obstruidos debido a la acumulación de vegetación y desechos sólidos, lo cual contribuye al mal funcionamiento del sistema de drenaje y acelera el deterioro de la vialidad. Es importante destacar también, la ausencia de drenajes laterales en la dirección norte-oeste, la falta de un adecuado sistema de drenaje no solo compromete la integridad del pavimento, sino que también incrementa los costos de mantenimiento y reparación a largo plazo de la vialidad.

## **Fase 2. Aplicación de la metodología del PCI para determinar la condición del pavimento**

Primero, se implementó la metodología del PCI mediante el uso de la planilla "Hoja de datos de estudio de PCI" identificando las fallas con su nivel de severidad, determinando el PCI para cada unidad de prueba con

la ecuación 4 y con la ecuación 5 de cálculo el PCI del tramo en el sentido norte – oeste y oeste – norte, en las figuras 3 y 4 se ilustran los resultados obtenidos.

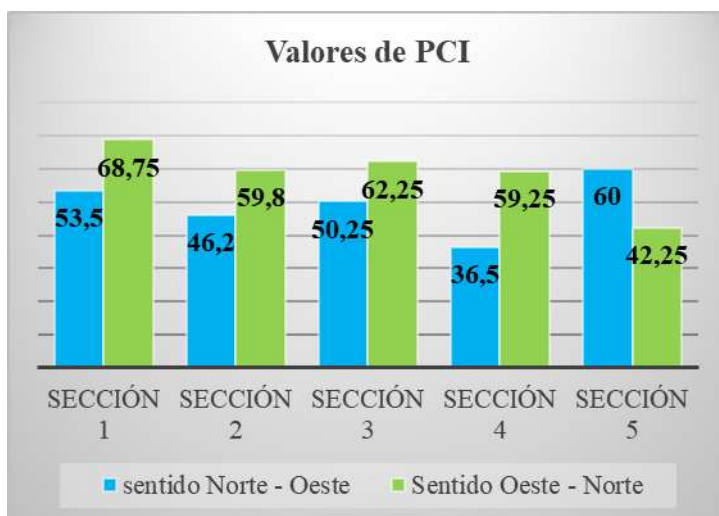


Figura 3. Valores de PCI del tramo av. Lago Mara y Plaza de Toros en el sentido N-O y O-N.



Figura 4. Comparación del PCI del tramo Av. Lago Mara – Plaza de Toros.

De acuerdo con los datos obtenidos en la tabla 3, se observó que la sección 4, en el sentido norte-oeste, presentó un PCI de 36,5. Este valor indica una condición muy mala del pavimento, caracterizada por la presencia de numerosos huecos y hundimientos de alta severidad. Por otra parte, en la sección 4 en el sentido oeste – norte se observó un PCI de 59,25 el cual se clasifica como condición regular. La baja puntuación del PCI reflejó un deterioro significativo de la superficie de rodadura, lo cual no solo afecta la comodidad y seguridad de los usuarios, sino que también incrementa los costos de mantenimiento y reparación de la vía.

Comparando el tramo entre la Av. Lago Mara y la Plaza de Toros en ambos sentidos, se obtuvo que el sentido norte-oeste tuvo un PCI de 49,29, lo que indica un estado malo; mientras que, el sentido oeste-norte exhibió una condición regular. Se resalta que el sentido norte-oeste se encuentra en un estado crítico y requiere atención prioritaria.

Respecto a las fallas evaluadas en la Av. 16 Goajira, tramo Av. Lago y Plaza de Toros, se observó que el 33% corresponden a fisuras longitudinales y/o transversales, estas fallas son causadas por cargas de tráfico, movimientos verticales y horizontales del pavimento. Además, el 31% de las fallas son huecos, los cuales son causados por drenaje deficiente y cargas de tráfico. En la figura 5 se ilustran los tipos de fallas diagnosticadas en la vía estudiada.



Figura 5. Fallas más recurrentes en el tramo Av. Lago Mara y Plaza de Toros.

Fase 3. Caracterización del suelo que sirve de soporte al pavimento

Ensayo de composición granulométrica por tamizado.

Utilizando la planilla de “Granulometría por tamizado”, se registró el peso retenido del suelo en cada tamiz y el porcentaje pasante correspondiente. Este proceso permitió determinar la distribución de tamaños de partículas en la muestra de suelo. Los resultados obtenidos se representan gráficamente en la figura 6, donde se muestra la curva granulométrica del suelo.

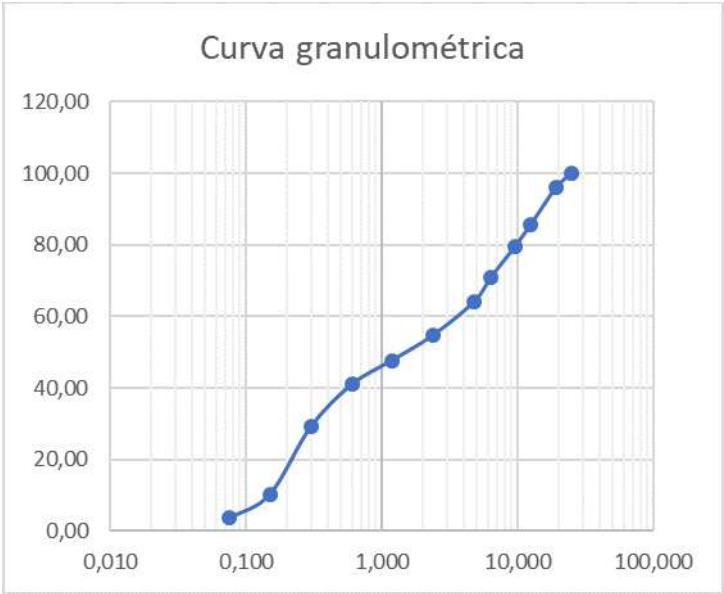


Figura 6. Curva granulométrica del suelo

Con respecto al ensayo de granulometría se obtuvo una precisión  $< 0,3\%$ , por lo cual se encontró en un rango aceptable según la norma ASTM C 136-06 [9] y, mediante la curva granulométrica, se determinaron los coeficientes de curvatura ( $C_c$ ) y uniformidad ( $C_u$ ), con el fin de conocer si el suelo está bien gradado o no. El coeficiente de uniformidad se calculó según la ecuación 6 y el coeficiente de curvatura se calculó tal como se visualiza en la Ecuación 7.

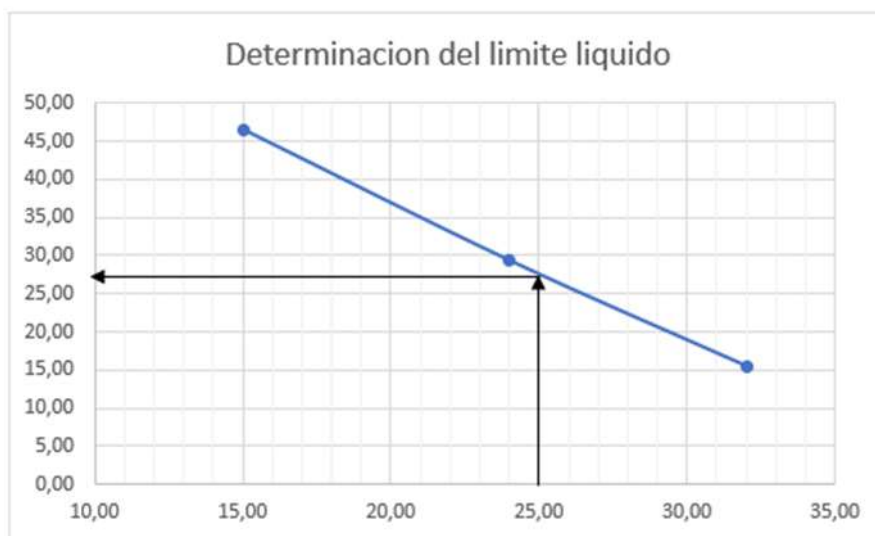
$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (\text{Ec.6})$$

$$C_c = \frac{(D_{60})^2}{D_{60} \times D_{10}} \quad (\text{Ec.7})$$

Como resultado se obtuvo un  $C_u$  de 25,44 y un  $C_c$  de 0,19, según el sistema S.U.C.S. para que un suelo este bien gradado debe cumplir con un  $C_u < 3$  y un  $1 < C_c < 3$ , lo cual indica que el suelo no está bien gradado, y amerita tratamientos o mezcla con otros materiales para mejorar sus propiedades físicas evitando así, problemas de compactación y estabilidad.

### Ensayo límites de consistencia

Con la aplicación de la planilla de “límites de consistencia” se registraron los porcentajes de humedad de las muestras correspondientes al límite líquido y al límite plástico. Además, se presentaron los valores del límite líquido, límite plástico y el índice de plasticidad del suelo. En la Figura 7 se muestra la curva utilizada para la determinación del límite líquido, proporcionando una representación visual de cómo se comporta el suelo bajo diferentes condiciones de humedad.



**Figura 7. Determinación del límite líquido en la curva de flujo**

Un valor de índice de plasticidad del 14% indica una plasticidad moderada, lo que hace que el suelo sea susceptible a la deformación bajo carga y a retener más agua, afectando su estabilidad. Esto puede requerir medidas adicionales de estabilización, como un buen drenaje o la adición de materiales estabilizantes.

### Clasificación del suelo

Siguiendo el método A.A.S.T.H.O. primero se determinó el índice de grupo (IG) mediante la siguiente ecuación:

$$IG = (F - 35) \times [0,2 + 0,005 \times (LL - 40) + 0,01 \times (F - 15) \times (IP - 10)] \quad (\text{Ec.8})$$

Obteniendo un  $IG = 0$ . Ahora bien, en base a los requerimientos expuestos en la norma, se debe verificar una serie de condiciones para determinar el tipo de suelo, por lo cual para un  $IP = 14\%$ ,  $LL = 28\%$ , % pasante



N° 10 = 49,94 %, % pasante N° 40 = 35,02 y % pasante N° 200 = 3,59, se tiene que el suelo pertenece al grupo A-2-6, el cual es un suelo de grava y arena arcillosa limosa, con un comportamiento en la subrasante de regular a pobre.

Por otra parte, de acuerdo al método SUCS se tiene con base al análisis granulométrico, un valor de  $C_u = 25,44$  y un  $C_c = 0,19$  por lo cual es un suelo mal gradado. Ahora bien, el % pasante N° 200 < 50%, lo clasifica como un suelo grueso; además tuvo un % pasante N° 4 > 50% y un % pasante N° 200 = 3,59 %, por lo que se clasifica como un suelo arenoso mal gradado (SP).

## Conclusiones

El inventario vial reveló el mal estado de los drenajes en el tramo oeste-norte, los cuales en su mayoría se encuentran obstruidos, además de la falta de drenajes laterales en el sentido norte – oeste, lo cual es un factor que influye en el estado de la condición del pavimento.

Aplicando la metodología del PCI, en el tramo de la Av. Lago Mara – Plaza de Toros, se registró una diferencia en el valor del PCI, en el sentido norte-oeste, con valor de 49,29%, lo que califica al pavimento de mala condición. Por otro lado, en el sentido oeste-norte, se obtuvo un PCI de 58,46%, catalogado como de condición regular. Esta diferencia se debe a las fallas recurrentes, con un 33% de fisuras longitudinales y/o transversales y un 31% de huecos, causadas por las cargas de tránsito que soporta la estructura, la falta de drenajes en el sentido norte-oeste y el mal estado de los drenajes laterales en el sentido oeste-norte, lo cual aumenta el deterioro de la vía en ese sentido.

Al realizar la caracterización del suelo a través de los ensayos de laboratorio de Granulometría y límites de consistencia a la muestra de suelo obtenida en las progresivas 2+951 y 3+863 en el sentido norte-oeste, indicaron que la mala gradación del suelo, atribuida a la falta de partículas de tamaño medio, está afectando negativamente su estabilidad. Además, se calculó el índice de plasticidad del suelo (14%), junto con el índice de grupo (IG=0) los cuales son indicadores de baja capacidad soporte del suelo para las cargas actuales del tránsito, y que posiblemente esté afectando la estructura del pavimento, manifestándose en las fallas recurrentes existentes.

## Referencias bibliográficas

- [1] Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Ciencias y Tecnologías, *Manual completo Diseño de Pavimentos*, 1a ed. 2004.[En Línea]. Disponible en: <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2021/01/diseno-de-pavimentos-umss.pdf>
- [2] American Association of State Highway and Transportation Officials, *AASHTO guide for design of pavement structures*. 3aed. Nueva York, Estados Unidos, 1993.[En Línea]. Disponible en: <https://habib00ugm.wordpress.com/wp-content/uploads/2010/05/aashto1993.pdf>
- [3] E. Juárez, y A. Rico, *Mecánica de Suelos*, 2a ed. Editorial Limusa. México, 1974.[En Línea]. Disponible en: [https://www.academia.edu/43300523/MECANICA\\_DE\\_SUELOS\\_TOMO\\_I\\_JUAREZ\\_BADILLO](https://www.academia.edu/43300523/MECANICA_DE_SUELOS_TOMO_I_JUAREZ_BADILLO)
- [4] Alianza de medios, “Vías de Venezuela: aventura peligrosa”, *Correo del Caroní*, 2022. [En Línea]. Disponible en: <https://correodelcaroni.com/pais-politico/vias-de-venezuela-aventura-peligrosa/>
- [5] J. Cruz, “Megahueco se traga carro en la avenida Goajira”, *Diario Versión Final*, 2022. [En Línea]. Disponible en: <https://diarioversionfinal.com/ciudad/megahueco-se-traga-un-carro-en-la-avenida-guajira/>
- [6] E. Márquez, “Propuesta de plan de mantenimiento correctivo – preventivo de la vía pública Paseo Colon, Municipio Libertador, Caracas”, trabajo especial de grado. Univ. Nueva Esparta. Caracas, Venezuela, 2018. [En Línea]. Disponible en: <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/5192821>

[7] L. Gómez, “Evaluación del pavimento flexible en la Avenida El Milagro del estado Zulia aplicando la metodología del índice de condición de pavimento”, trabajo especial de grado. Univ. Rafael Urdaneta. Maracaibo, Venezuela, 2024.[En Línea]. Disponible en: <https://documentos.uru.edu/pdf/2301-24-14313.pdf>

[8] American Society for Testing and Materials, ASTM D-6433-07, Práctica, estándar para estudios del índice de condición del pavimento de carreteras, Norma 6433, Estados Unidos. ASTM International, 2007.[En Línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/472807352/ASTM-D-6433-07-en-es>

[9] American Society for Testing and Materials, ASTM C-136-06, Métodos Reglamentarios de Prueba o Ensayo para el Análisis de Agregados Finos y Gruesos, norma 136, Estados Unidos. ASTM International, 2006. [En Línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/290637472/ASTM-C-136>

[10] American Society for Testing and Materials, ASTM D-4318, Los métodos estándar de ensayo para Límite Líquido, Límite de plástico, y el índice de plasticidad de los suelos, Norma 4318, Estados Unidos. ASTM International, 2005.[En Línea]. Disponible en: <https://ensayosdelaboratoriosuelos.files.wordpress.com/2015/12/traduccic3b3n-astm-d4318.pdf>

# Implementación de sistema prototipo IIoT para la detección de fallas en líneas de transmisión de 138 kv

## *Implementation of IIoT prototype system for fault detection in 138 kv transmission lines*

**Rafael D. Rubio-Romero**

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

 <https://orcid.org/0009-0003-8794-8899> | Correo electrónico: [rafaeldariorr@gmail.com](mailto:rafaeldariorr@gmail.com)

Recibido:13-09-2024 Admitido:30-09-2024 Aprobado:25-10-2024

### **Resumen**

La investigación propone un sistema basado en la tecnología emergente IIoT para la detección de fallas y monitoreo de líneas de transmisión de 138 kV, permitiendo una localización más exacta de las anomalías que sucedan, mediante el método de la medición fasorial. Sustentada en planteamientos de Kong et al., Bricchi et al., Kadechkar et al., siguiendo de forma generalizada los lineamientos de la normativa IEEE std. C37.118.1-2011, se investigaron los distintos tipos de fallas que pueden presentarse en la línea de transmisión de 138 kV escogiendo los casos más frecuentes. Posteriormente se diseñó un modelo de red IIoT compuesto de unidades de medición fasorial dispuestas sobre las torres de la línea de transmisión, implementando un prototipo físico de uno de ellos a un generador de señales que permite evaluar las condiciones de falla extraídas de redes reales modeladas en una herramienta de simulación para sistemas de potencia. A través de un sistema centralizado de recolección de datos simulado en MATLAB, evaluando las respuestas del prototipo, se obtuvieron resultados favorables utilizando variaciones de los esquemas de protección 21 y 87L y la lógica difusa, así como la interacción satisfactoria entre Cliente-Servidor para la transmisión de datos ante una falla localizada

**Palabras clave:** Medición sincrofasorial, Conexión en “T”, Torres de transmisión, Prototipo IIoT

### **Abstract**

*The research proposes a system based on the emerging IIoT technology for fault detection and monitoring of 138 kV transmission lines, allowing a more accurate location of the abnormalities that occur through the phasor measurement method. Supported by approaches of Kong et al., Bricchi et al., Kadechkar et al., following in a generalized way the guidelines of IEEE std. C37.118.1-2011, the different types of faults that can occur in the 138 kV transmission line were investigated by choosing the most frequent cases. Subsequently, a IIoT network model composed of phasor measurement units arranged on the transmission line towers is designed, implementing a physical prototype of one of them to a signal generator that allows evaluating fault conditions extracted from real networks modeled in a simulation tool for power systems. Through a centralized data collection system simulated in MATLAB, evaluating the responses of the prototype, favorable results were obtained using variations of protection schemes 21 and 87L and fuzzy logic, as well as the successful interaction between Client-Server for data transmission in the event of a localized fault.*

**Keywords:** Synchrophasor measurement, “T” connection, Transmission towers, IIoT prototype.

### **Introducción**

La energía eléctrica es el principal recurso para la industria, el desarrollo y la sociedad de todo país, la cual es obtenida convencionalmente por la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas natural, entre otros), fisión nuclear y el movimiento de masas de agua, y de forma alternativa, por la luz solar, el movimiento de viento u olas del mar, bio combustibles, entre otros recursos menos utilizados; transformando mediante procesos determinados la energía calórica, potencial o química, de estos recursos a energía eléctrica. En tal sentido, para el logro de esta transformación a gran escala se requiere generarla en lugares donde sea de fácil

acceso y más económica la obtención de la materia prima, que suelen estar ubicadas generalmente en lugares muy alejados de los sitios de consumo. Como consecuencia, surge el problema de transportar económicamente grandes cantidades de energía eléctrica a largas distancias [1].

Para la rentabilidad de la transmisión de energía eléctrica, es necesario utilizar alta tensión, lo cual implica mayores necesidades de aislamiento y, por lo cual, es ampliamente extendido el uso de la disposición aérea. Como lo menciona Barrero [2], para trasladar mayor potencia con menor nivel de corriente, se requiere mayor tensión, consiguiendo esto al emplear conductores desnudos aéreos separados entre sí y del suelo, mediante una distancia determinada por el nivel de tensión.

Con respecto al sistema de transmisión, Gönen [3], lo señala como un sistema en alto voltaje, el cual transporta una gran cantidad de potencia a un centro de carga o usuarios industriales con requerimientos más allá de los sistemas de distribución a media tensión; la mayoría de ellos son trifásicos en corriente alterna, así como existe el auge de implementar la nueva tecnología HVDC que emplea la corriente directa. Estos sistemas, están compuestos de todo terreno, estructura y equipo desde la fuente de alimentación, incluyendo líneas, transformadores de potencia, interruptores, dispositivos de control de potencia reactiva, subestaciones eléctricas entre la generación y la carga, como también cualquier equipo cuya función principal sea incrementar, integrar o unir juntos diferentes sistemas de suministro de potencia; siendo el más importante de estos la línea de transmisión, encargada de proporcionar el camino por el que fluye la corriente eléctrica.

Las líneas de transmisión tienen gran relevancia en el sistema eléctrico y son ampliamente estudiadas. Al respecto, Widi [4] menciona algunos puntos importantes en su diseño como son: el voltaje de operación, la distancia que va a recorrer la línea, la cantidad de energía activa a transmitir, calibre y disposición física de sus conductores, entre otros factores los cuales definirán sus características equivalentes resistivas, inductivas y capacitivas; afectando en consecuencia su funcionamiento. Están clasificadas comúnmente por la distancia que recorren en líneas cortas, medias y largas, variando su voltaje entre 115kV hasta más de 800kV. Además, son susceptibles a fenómenos perjudiciales como las sobretensiones atmosféricas, sobretensiones de maniobra, efecto corona en los aisladores, ondas viajeras, entre otras anomalías, aunque sus efectos pueden aminorarse o preverse al realizar un buen diseño de la línea con los sistemas de seguridad, plan de mantenimiento preventivo y monitoreo convenientes

Grainger y Stevenson [5] explican eventualidades que perjudican el flujo de potencia al modificar las conexiones físicas de la línea, cambiando enormemente la magnitud como la fase del voltaje y corriente en ella, siendo estas principalmente las fallas monofásicas, línea-línea, línea a tierra, línea-línea a tierra, trifásicas y circuito abierto. Estas eventualidades ocurren cuando un conductor u objeto conecta entre sí, a tierra o rompe indebidamente uno o varios conductores de la línea, como por ejemplo: el fallo de un aislador, el contacto de un conductor con la rama de un árbol, o el impacto con un vehículo aéreo; originando un flujo de corriente indeseado que deriva en la actuación del sistema de protección para aislar la falla y la salida de servicio de la línea de transmisión, momentáneo, temporal, prolongado o de manera permanente que amerite la intervención de una cuadrilla para solventar la anomalía

En la actualidad, los métodos más usados para la detección y localización de fallas en sistemas trifásicos, mencionados por Goh et al. [6] son el método de ondas viajeras, caracterizado por el estudio del tiempo relativo que toma a los equipos de medición observar la onda reflejada producida por la energización, el transitorio y la falla, en uno o dos extremos de la línea; y el método de impedancia base, caracterizado por la medición de los fasores de corriente y voltaje, estimando la localización de la falla mediante un simple cálculo conociendo la impedancia por unidad de distancia de la línea; sin embargo, aclara que este método presenta grandes errores en algunos tipos de fallas, cuando se tienen líneas recalentadas o usa compensación reactiva en serie, requiriéndose algoritmos computacionales y estadísticos avanzados para aminorar esta inexactitud.

Al respecto, Chen, Huang y He [7] aclaran que con mayor información recopilada en distintos puntos de la red los investigadores serían capaces de desarrollar métodos más inteligentes de diagnóstico de fallas en un sistema que en los últimos años se ha visto una tendencia en la investigación en redes de sensores autónomos que recopilan información de voltajes y corrientes, conteniendo estas mediciones todo lo necesario para caracterizar la falla, no obstante es extremadamente difícil delimitar una serie de criterios para extraer la información importante de la señal en función al tiempo, por ello se han desarrollado técnicas para procesar

dichas señales y extraer la información importante disminuyendo la variación de los métodos de localización en el estudio de distintos sistemas.

Particularmente, Jian, Peng, Xuang, Lai y Lai [8] señalan que, la tecnología tradicional para la detección de fallas, su localización y selección de la o las fases están bien desarrolladas y otorgan una buena aproximación; mientras que, las localizaciones exactas de las causas externas siguen sin tener una metodología detallada, ocasionando que los despachadores y personal de mantenimiento no logren una rápida actuación, requiriendo cuadrillas de inspección para patrullar en el sitio y localizar con exactitud de la falla, lo cual es una tarea ardua e intensiva que depende enormemente de la experiencia y juicio subjetivo del personal.

Otro aspecto a resaltar es lo planteado por Vadivel [9], quien señala que durante las fallas en líneas de transmisión, el principal objetivo es restablecer el servicio de la línea lo más rápido posible para suplir a los consumidores afectados, y en segundo plano tratar de aminorar el efecto económico de reconstruir y restaurar la línea, el cual depende enormemente del tiempo que pase la línea fuera de servicio o en situación de contingencia debido al prolongado periodo donde no se transmite potencia, para lo cual es crucial el tiempo de respuesta, ya que en pocas horas, con planes de respuesta de emergencia es posible restaurar el servicio de la línea con instalaciones provisionales, permitiendo una mejor planeación para la reconstrucción del tramo afectado sin acarrear enormes pérdidas monetarias.

Algunos autores [10, 11], proponen el uso de una red IoT para mejorar la detección de fallas, la cual consiste de una serie de dispositivos acoplados a diversos equipos que monitorean características en ellos, conectados entre sí mediante una red inalámbrica con acceso a internet, permitiendo la comunicación y el envío de información sin la necesidad de la intervención humana. Estos dispositivos se colocan en lugares estratégicos a lo largo de la línea, supervisando valores fasoriales de corriente y de voltaje que permiten determinar de forma más precisa la localización, tipo y posibles causas de la falla, proporcionando localización GPS, así como también datos importantes a los despachadores y cuadrillas que tratarán de restablecer el servicio lo antes posible.

Por lo anteriormente documentado, esta investigación tiene como objetivo desarrollar un sistema prototipo a baja escala de monitoreo para líneas de alta tensión, basado en tecnología IIoT, que permita la detección y localización de fallas en redes de transmisión de 138 kV, ahondando en la detección de los distintos tipos de falla de la línea de transmisión mediante la medición de los fasores de voltaje y corriente, así como el registro de las condiciones previas del sistema y causantes de la falla.

## Metodología

La presente investigación según su alcance corresponde a una explicativa, ya que busca describir y explicar el funcionamiento del prototipo a partir de los casos de estudio realizados. Además, con base en su objetivo general, es del tipo proyectista, dando como producto un sistema prototipo IIoT de monitoreo y localización de fallas en líneas de transmisión.

Se define el diseño de la investigación como documental y experimental, considerándola documental debido al requerimiento de analizar diversos libros, artículos y normativas, con el fin de sentar las bases en el diseño del prototipo y, a su vez, la caracterización de las fallas en líneas de transmisión. Como también, siendo de diseño experimental por las distintas pruebas que se realizaron para validar su correcto funcionamiento o destacar áreas susceptibles a mejora, lo que implicó la manipulación de variables.

Se manejaron las siguientes unidades de análisis: información teórica-práctica del comportamiento de la falla, detección de fallas en líneas de transmisión, normativas, aspectos técnicos de la tecnología IIoT, datos técnicos de las líneas de transmisión de 138 kV y, por último, datos técnicos de componentes eléctricos y electrónicos. Se utilizaron las siguientes técnicas e instrumentos de recolección de datos: la observación documental y entrevistas estructuradas realizadas a expertos, para recabar información útil en distintas áreas con el objetivo de lograr un mejor diseño del prototipo. Además de la observación directa de los casos de estudio simulados para la obtención de fasores de fallas típicas, para la posterior aplicación en las pruebas de la programación del prototipo y la red IIoT.

La investigación se condujo en cuatro fases: en la Fase I “Caracterización de las fallas en líneas de transmisión” se recopiló y analizó a profundidad información sobre las fallas más frecuentes en los sistemas

de transmisión. En la fase II “Diseño del prototipo IIoT” se consideraron referentes bibliográficos, normativas, aspectos técnicos y antecedentes relacionados a la temática para la creación de la propuesta. La fase III “Implementación del prototipo IIoT en el generador de señales” consistió en diseñar un generador de señales con control de ángulo y magnitud para inyectarle al prototipo escenarios de falla que pueda monitorear, realizando múltiples pruebas funcionales. Finalmente, en la fase IV “Evaluación del prototipo” se simulieron los casos de estudio seleccionados para recopilar fasores de tensión y corriente, los cuales se inyectaron al prototipo para evaluar su funcionamiento general en una posible implementación.

## Resultados

### Caracterización de las fallas en líneas de transmisión

La clasificación de las fallas en las líneas de transmisión se realizó según lo sugerido por Al Mtawa, Haque y Halabri [12], tal como se observa en la Figura 1, dividiendo las mismas en transitorias y no transitorias. El primer tipo corresponde a una anomalía de corta duración provocada mayormente por el contacto de árboles o animales con los conductores, el impacto de un rayo o por maniobras en el sistema de transmisión, siendo difíciles de localizar y registrar en el sistema de potencia. En contraste al tipo anterior, el segundo corresponde a las fallas no transitorias siendo esta permanente hasta que una cuadrilla de ingenieros la solventa, dividiéndose en circuito abierto cuando uno o varios conductores se rompen sin hacer contacto con otro objeto o tierra, y cortocircuito cuando hay un contacto anormal o una baja impedancia entre dos elementos con una diferencia de potencial debido a eventos impredecibles.

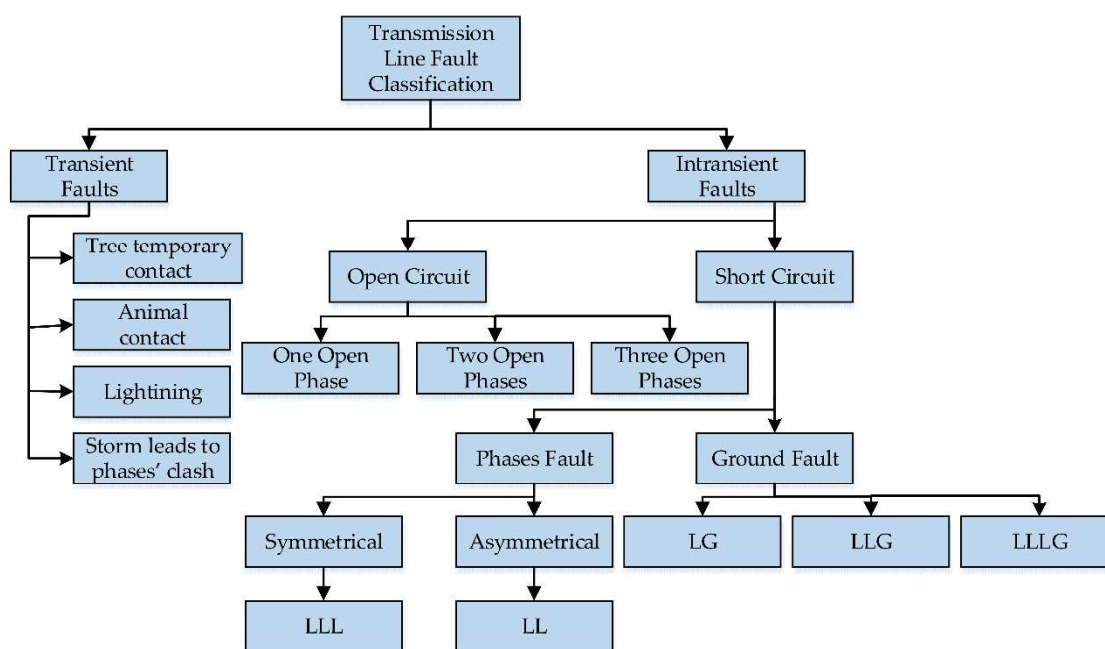


Figura 1. Clasificación de fallas en líneas de transmisión[12].

Debido al carácter prolongado de las fallas no transitorias y su posible impacto permanente en la operación de la red, la evaluación del prototipo IIoT se centró en detectar, clasificar y localizar estas eventualidades, en concreto las fallas de cortocircuito, ya que estas son las fallas más comunes, en especial la falla monofásica abarcando el 70% de la probabilidad de ocurrencia, seguido de las fallas bifásicas con 15%, según Gönen [13].

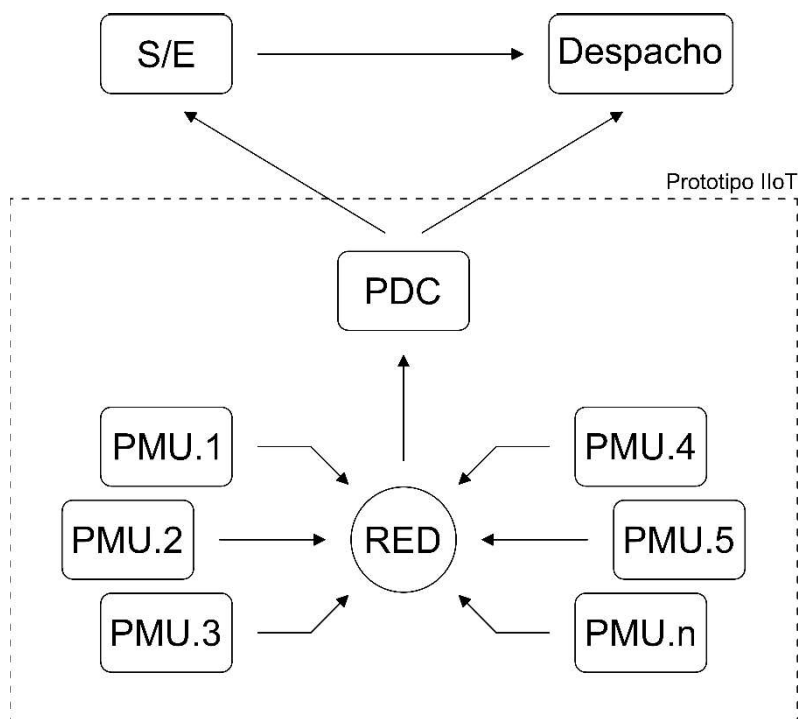
### La tecnología IIoT y los métodos de diagnóstico de fallas

Con el fin de caracterizar las fallas en líneas de transmisión en la tecnología actual, primeramente, se debe seleccionar cuál de estas cumple los criterios de diseño para su aplicación en la tecnología IIoT. En este sentido Kong et al. [14] y Das y Vittal [15] concuerdan en que para conseguir la eficiencia en el análisis de la información en los dispositivos IIoT son necesarios métodos de caracterización y localización de fallas que

supongan una baja carga computacional, optando por una estrategia clásica aplicando la descomposición en componentes simétricos de mediciones fasoriales. Profundizando en lo expuesto por Ferreira et al. [16], el autor comenta sobre la necesidad de establecer sistemas de diagnóstico de fallas más sofisticados ocasionados por el aumento en la cantidad de información y complejidad de los sistemas de transmisión en años recientes. Con base en los aspectos anteriores, se planteó el sistema a partir de la normativa IEEE std. C37.118.1-2011 [17] estipulando estándares para la medición sincrofasorial en conjunto con variaciones de los esquemas de protección 21 y 87L.

### Propuesta para el diseño del prototipo

A partir de las investigaciones de Kong et al., Bricchi et al., y Kadechkar et al. [14, 18, 19] y siguiendo los lineamientos de la IEC 30141-2018 [20] acerca de la arquitectura de sistemas IoT, se plantea el prototipo IIoT, como se muestra en la Figura 2, conformado de un grupo de unidades de medición fasorial (PMU) autónomos compuestos de microcontroladores, un transmisor y sensores de campo electromagnético capaces de inferir la tensión y corriente en la torre de la línea de transmisión donde estén dispuestos, cuya finalidad es detectar comportamientos anormales para informar a la unidad de concentración de fasores (PDC) mediante una señal inalámbrica.



**Figura 2. Esquema general del prototipo IIoT**

Dicho PDC se encargará de controlar a los PMUs, recibir sus reportes, identificarlos, analizar la información recibida y en caso de ocurrir una eventualidad proporcionar a la subestación o al centro de despacho de carga datos relevantes acerca del tipo de falla y su localización para una actuación rápida. Este se encontrará en una de las subestaciones próximas a la línea o un lugar céntrico a esta.

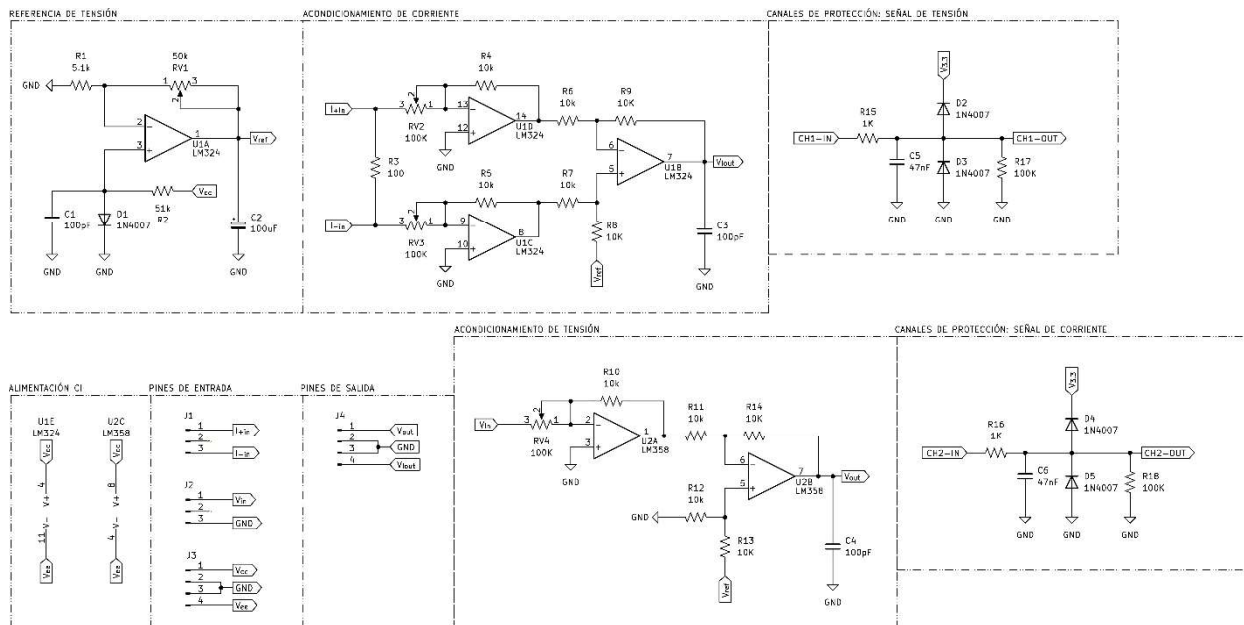
El mayor beneficio de este planteamiento es la posibilidad de segmentar las líneas de transmisión en tramos más pequeños definidos por la ubicación de los PMU, permitiendo mediante variaciones de esquemas lógicos comúnmente vistos en la filosofía de los relés de protección para las funciones 67N, 87L y 21, determinar los tramos sanos de la línea y con las mediciones fasoriales más cercanos al tramo afectado aplicar algoritmos para la localización más precisa del suceso. Como también en líneas con conexiones en “T” despreciar el efecto infeed al disponer una serie de PMU en el punto de unión.

### Diseño del PMU

El PMU es representado por un circuito de acondicionamiento de señal que lee la salida de sensores de campo electromagnético capaces de inferir el comportamiento de los fasores de tensión y corriente en el conductor donde esté dispuesto, estas señales son entregadas a los convertidores analógico digital del ADC para

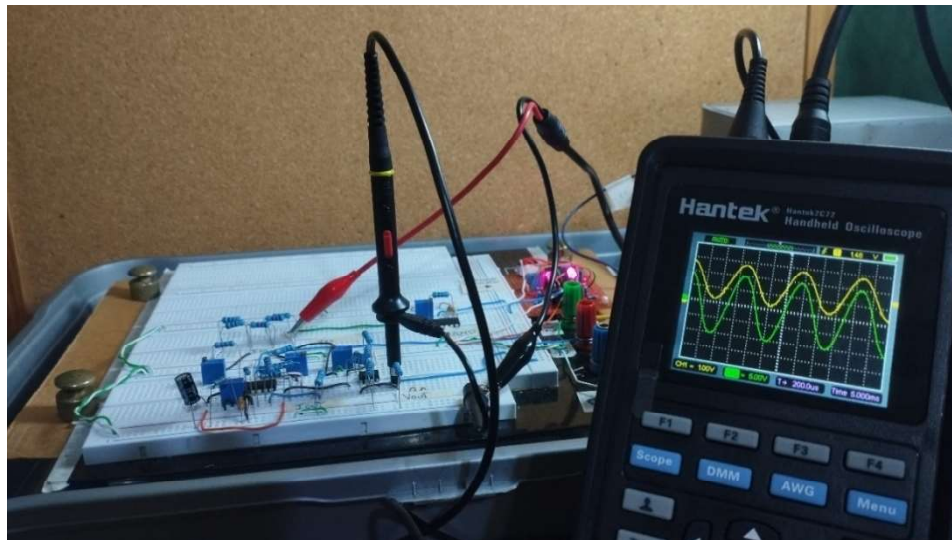


su lectura y posterior procesamiento. El diseño del circuito se realizó con base en los ejemplos de aplicación de Green et al. [21] teniendo una vista general del mismo en la Figura 3.



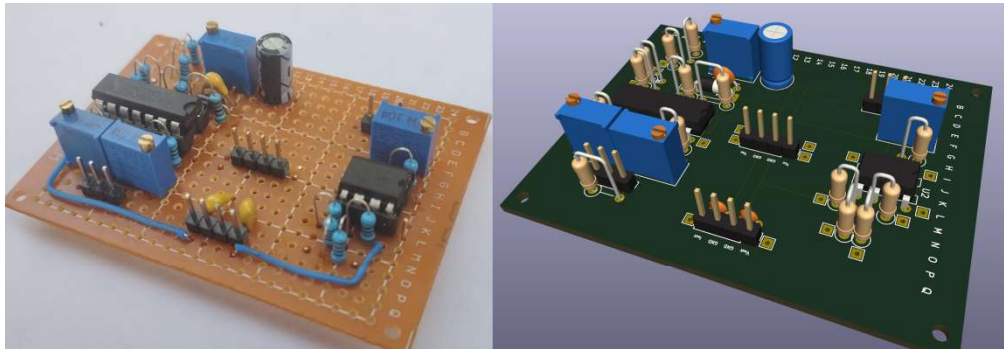
**Figura 3. Circuito de acondicionamiento de señal**

Posteriormente, se procedió con las pruebas locales, simulando el circuito en el software NI Multisim, dando los resultados esperados prosiguiendo con el montaje en un tablero de pruebas demostrando su funcionamiento en un entorno físico, como se muestra en la Figura 4; finalizando con la disposición del circuito en una placa fenólica perforada usando el software KiCad y soldando los componentes en físico para cada una de las fases, como se muestra una de ellas en la Figura 5.



**Figura 4. Circuito de acondicionamiento de señal: entrada vs salida**



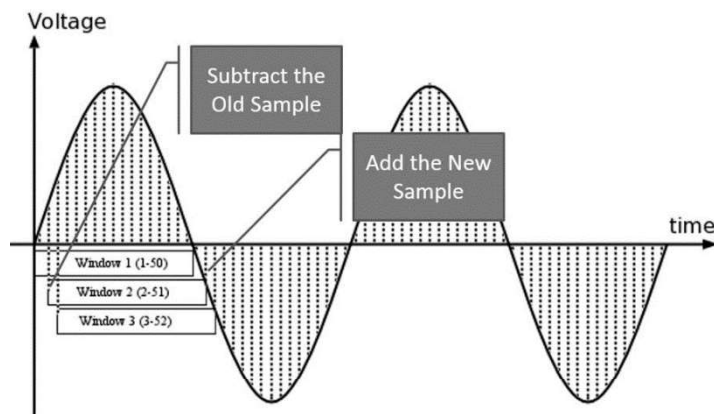


**Figura 5. Circuito de acondicionamiento de señal: vista 3D y montaje físico.**

Respecto al software, este se basó en lo estipulado por la IEEE std. C37.118.1-2011[17] sobre las mediciones sincrofasoriales, definiendo las características que tiene que registrar un PMU, siendo estas la magnitud, el ángulo, la variación de la frecuencia (COF) y la tasa de variación de la frecuencia (ROCOF), otorgando estos datos información importante acerca del estado de la red. Para el procesamiento de las señales, se usó el algoritmo recursivo de la transformada discreta de Fourier propuesto por Khanet al. [22], como se muestra en las ecuaciones 1, 2 y en la Figura 6.

$$X_{r(new)} = X_{r(previous)} - \frac{\sqrt{2}}{N} (x_{new} - x_{oldest}) * \cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right) \quad (\text{Ec. 1})$$

$$X_{i(new)} = X_{i(previous)} - \frac{\sqrt{2}}{N} (x_{new} - x_{oldest}) * \sin\left(\frac{2\pi n}{N}\right) \quad (\text{Ec. 2})$$



**Figura 6. Circuito de acondicionamiento de señal: vista 3D y montaje físico[22].**

El código fue realizado en el simulador web de microcontroladores Wokwi facilitando el desarrollo del algoritmo mostrado en la Figura 7, donde primero se leen las mediciones guardándolas en un buffer de datos para tener un registro del oscilograma de la eventualidad, luego se calcula el DFT de la nueva muestra, se escalan los fasores obtenidos a valores primarios y se crea un reporte a la espera de dos condiciones para su envío instantáneo, una sobrecorriente o una disminución en la tensión, si ninguna de estas condiciones se cumple el PMU envía el reporte al PDC dentro del intervalo especificado por la normativa.

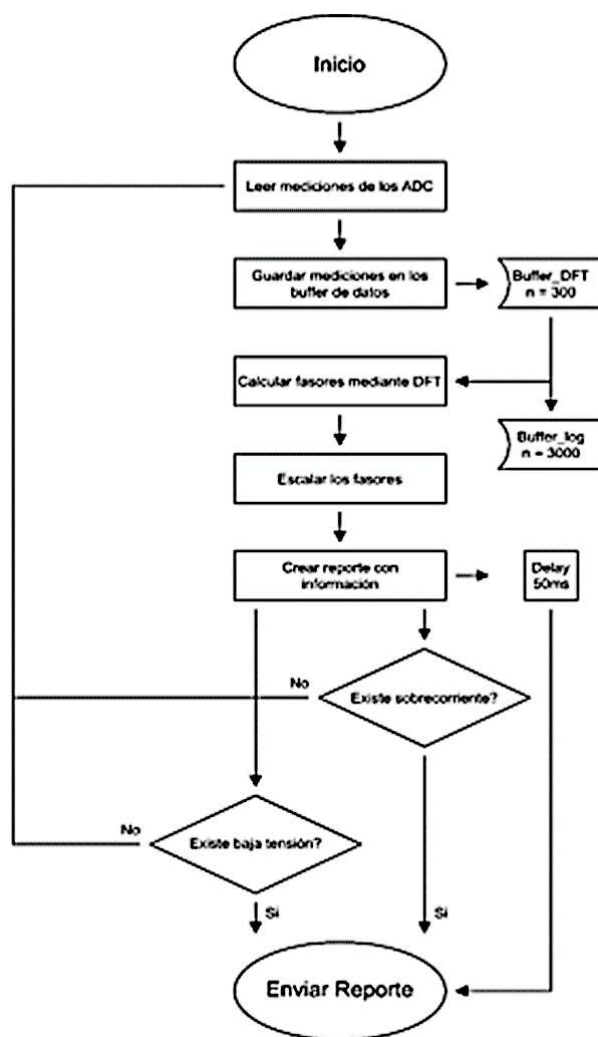


Figura 7. Algoritmo para el prototipo IIoT-PMU

### Diseño del PDC

El centro de concentración de datos fasoriales será el que recopile la información de todos los PMU dispuestos en la red IIoT, organizando los reportes recibidos mediante los identificadores únicos de cada equipo, analizándolos para detectar una eventualidad y describirla. Ferreira et al. [16] mencionan que los sistemas de monitoreo de fallas abarcan la detección, clasificación y localización de anomalías en líneas de transmisión, siendo estos tres módulos los principales considerados para el diagnóstico de la falla.

Dentro de la detección de fallas en la línea de transmisión, se usaron esquemas modificados de las protecciones de distancia 21 y la diferencial de línea 87L, usando como referencia lo expuesto por Calero y Altuve [23], que definen ecuaciones de los lazos de medición de impedancia, y Prado et al. [24] que realizaron una breve descripción de los fundamentos de la protección diferencial.

En cuanto a la clasificación del tipo de falla, se usó el modelo de sistema de lógica difusa propuesto por Das y Vittal [15] al ser un algoritmo simple y con mucha fiabilidad para una gran cantidad de escenarios; por último, en cuanto a la localización de fallas se siguió la propuesta de Kong et al. [14] la cual, mediante el modelado de la línea de transmisión en parámetros distribuidos, consigue hallar la localización de la falla entre dos PMU dispuestos en una red de distribución de poco error.

### Implementación de la red IIoT

Para la evaluación del prototipo son necesarias seis señales senoidales controlables en magnitud y ángulo, estas se obtuvieron mediante 6 salidas PWM de otro ESP32, cuya función es generar una señal senoidal

modulada por amplitud de pulso a partir de un conjunto de muestras discretas, pasándolas por un filtro pasa bajas pasivo convirtiéndolas en una senoide. Después, dicha señal transcurre por un amplificador de ganancia ajustable, el ángulo se controla mediante el código del ESP32 y la magnitud mediante los potenciómetros de los amplificadores, una prueba de este generador de señal es mostrado en la Figura 8. Además, en el circuito final se implementó el sincrofase mediante un pulso PWM de un pin digital en el generador de señales marcando una referencia de ángulo para las lecturas del prototipo.

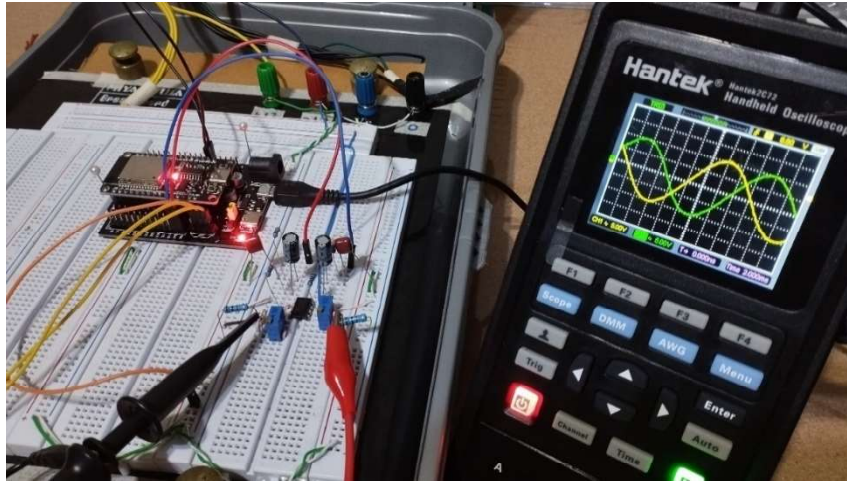


Figura 8. Prueba del generador de señales con dos ondas separadas 120.4°

Por último, considerado la red de comunicación entre el PMU y el PDC, esto se realizó utilizando las funciones del protocolo TCP/IP usando un router como enlace y evaluando los mensajes enviados mediante el software Wireshark enviando las mediciones como una cadena de caracteres. En las Figuras 9, 10 y 11, se muestra el prototipo completo.

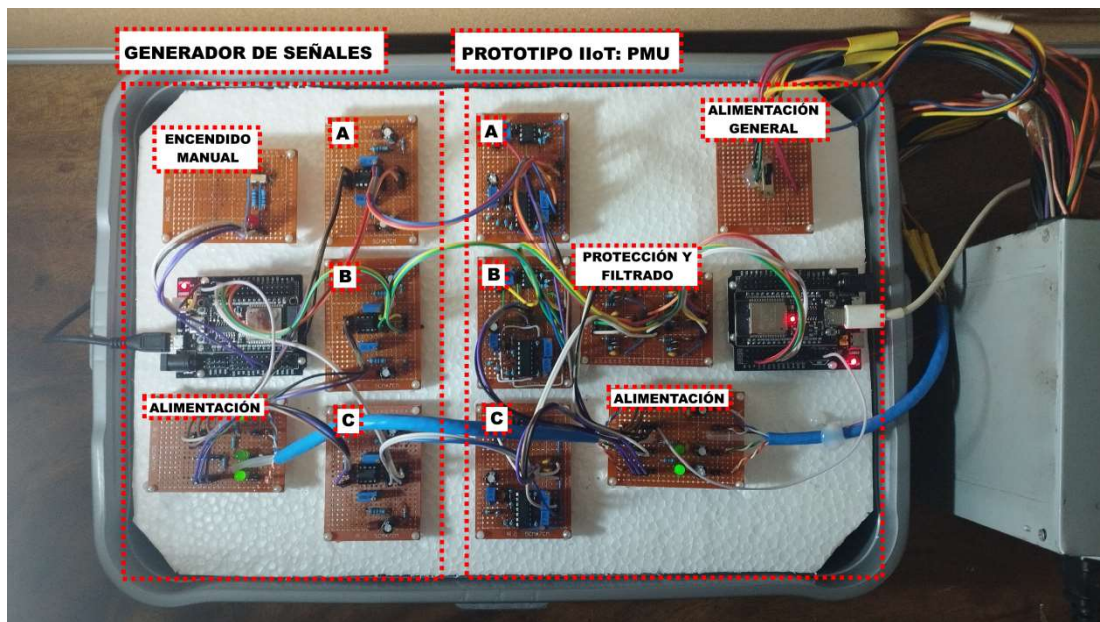


Figura 9. Montaje físico del prototipo IIoT detallado



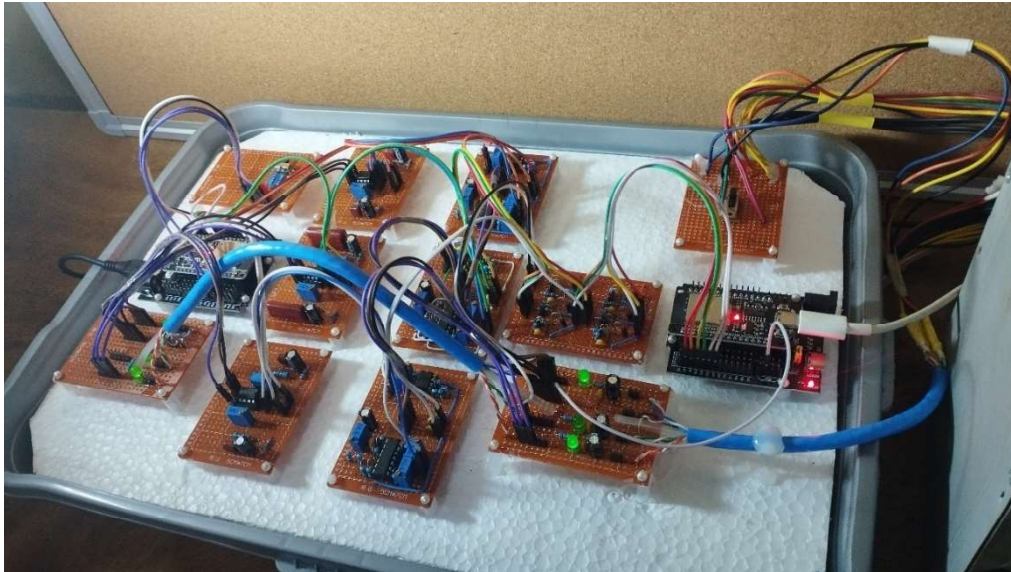


Figura 10. Acercamiento al montaje físico del prototipo IIoT

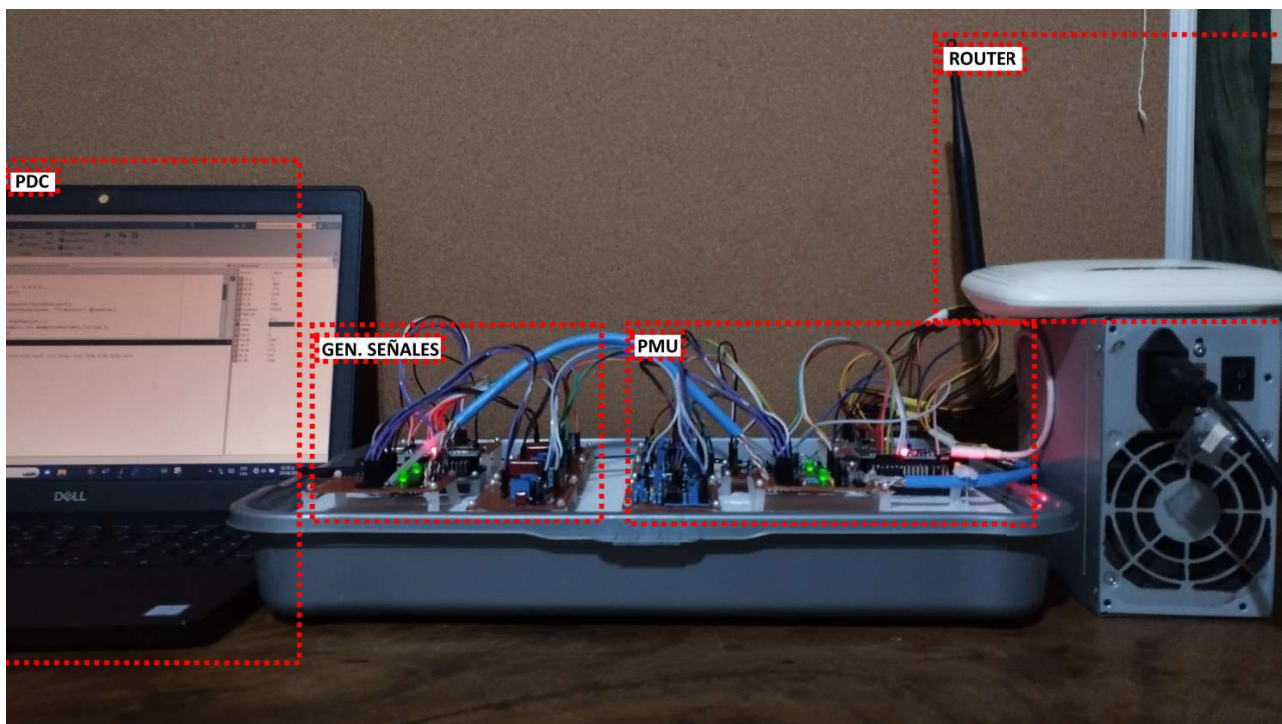


Figura 11. Montaje final del prototipo IIoT PMU - PDC

### Casos de estudio

Los dos casos de estudio fueron proporcionados por la empresa BRIPCO E&S C.A. que contienen líneas de transmisión en 138 kV de importancia. El primero es el caso más característico para una posible implementación del prototipo representando una línea de transmisión en una región rural que alimenta centros urbanos de la localidad alejados de la central de generación como se muestra en la Figura 12, está compuesto de dos tramos de diferente conductor y disposición física, siendo su longitud de 154 y 24 km para un total de 178 km. El segundo caso, representa una línea de transmisión de 40 km entre dos subestaciones eléctricas que posee una interconexión en T de 20 km a la acometida en 138 kV de una empresa zuliana, mostrado en la Figura 13. Estos sistemas fueron modelados con una herramienta de simulación para sistemas de potencia.

Después de tabular los valores fasoriales de tensión y corriente en cada escenario, el prototipo y la red IIoT implementada, se probó mediante el Software MATLAB y SIMULINK, ante la inyección del generador de señales con los datos de entradas de los estudios de cortocircuito obtenidos en la fase anterior.

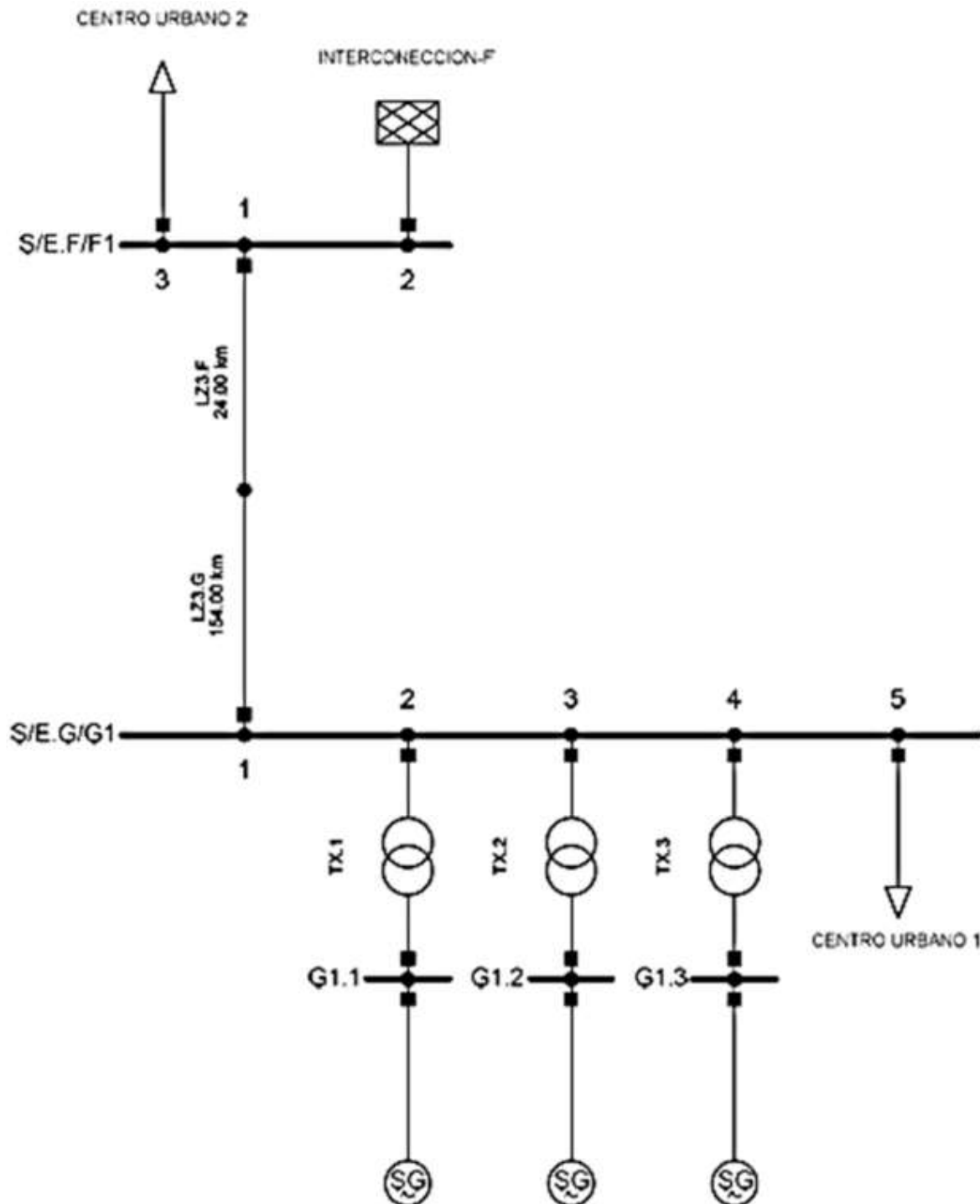


Figura 12. Diagrama unifilar del Caso de estudio 1

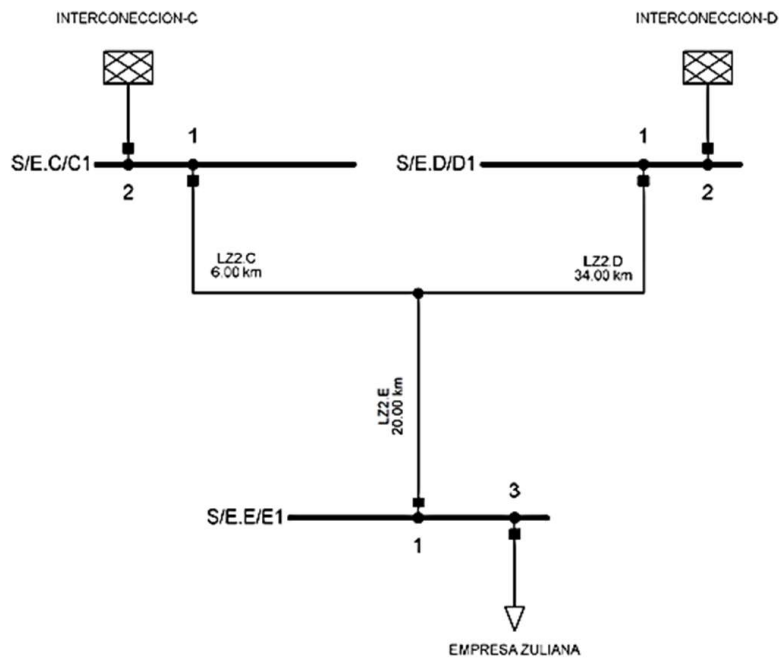


Figura 13. Diagrama unifilar del Caso de estudio 2

#### Caso de estudio 1. Línea de transmisión larga

Con el fin de corroborar la funcionalidad de la propuesta de prototipo de red IIoT en un caso real, se utilizará la disposición de PMUs sobre la línea de transmisión mostrada en la Figura 14 dividiendo los 178 km en secciones de 30,8 km para el tramo G y 24 km para el tramo F, siendo monitoreados mediante las mediciones registradas por los PMU. Es importante aclarar, que con el fin de simplificar la evaluación de la red IIoT solo se tomaron en cuenta los primeros cuatro PMU

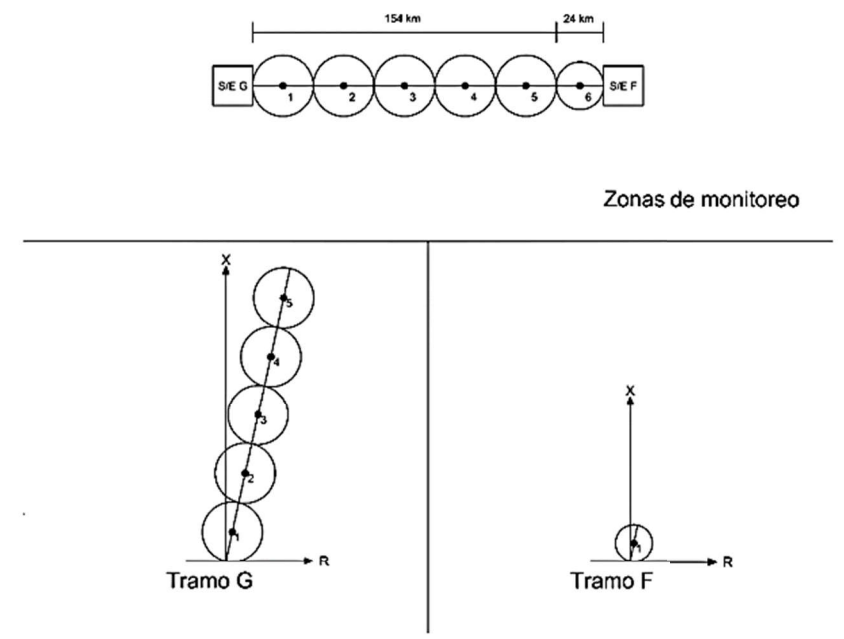


Figura 14. Disposición de PMUs propuesta para el caso 1

Se aplicó una falla monofásica en la fase A a 35,42 km respecto a la subestación G con una impedancia de falla de  $4\Omega$  totalmente resistivo, evaluándola mediante el método completo en la herramienta de simulación para sistemas de potencia, luego se encendió el generador de señales con el ajuste fasorial resultando en el

oscilograma registrado por el PMU físico visto en la Figura 15, notando que la medición de la corriente en la fase C presenta un error muy elevado debido a que el ADC integrado del ESP32 no cuenta con la suficiente resolución para conservar señales tan pequeñas, por lo que se realizó una corrección al fasor IC para evitar dañar el resto de la prueba.

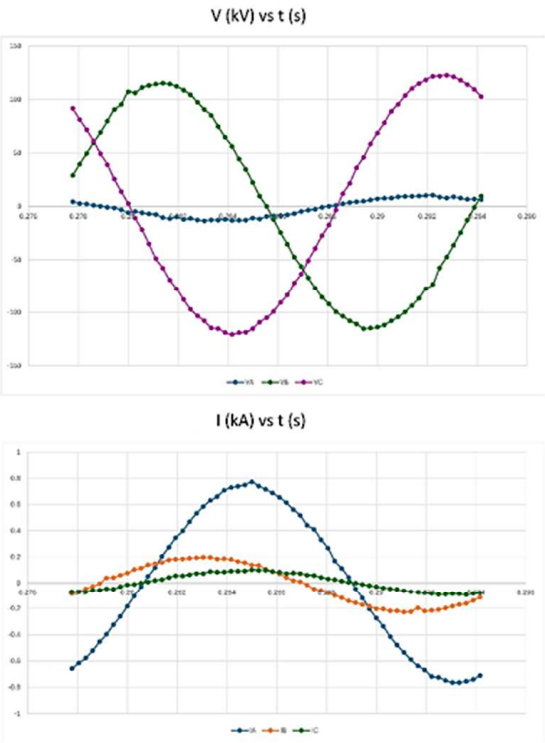


Figura 15. Oscilograma de tensión y corriente registrados por el PMU

Se aplicó el lazo de medición de impedancia AG, obteniendo los resultados vistos en la Tabla 1 que son positivos, ya que detectó la falla dentro de la zona del PMU 2, donde se había emulado la falla monofásica. Luego del evento, los datos fasoriales del PMU 2 son enviados al sistema difuso de clasificación de fallas programado en MATLAB para emular el controlador en la subestación, computando los datos de la Tabla 2 y los resultados de la Figura 16.

Tabla 1. Resultados de la detección de fallas por zonas de impedancia

PMU	Medición del lazo AG ( $\Omega$ /prim)		Límite de la zona ( $\Omega$ /prim)	¿Detecto la falla?
	$ X $	$\angle$		
1	11,11	58,57	7,61	No
2	4,314	30,32	7,61	Si
3	11,86	-153,1	7,61	No
4	17,77	-134,3	7,61	No

Tabla 2. Datos de entrada del sistema de lógica difusa

$ang\_A$	$ang\_B$	$ang\_C$	$R_{of}$	$R_{2f}$
7,768	127,768	112,2320	1,1949	0,8892

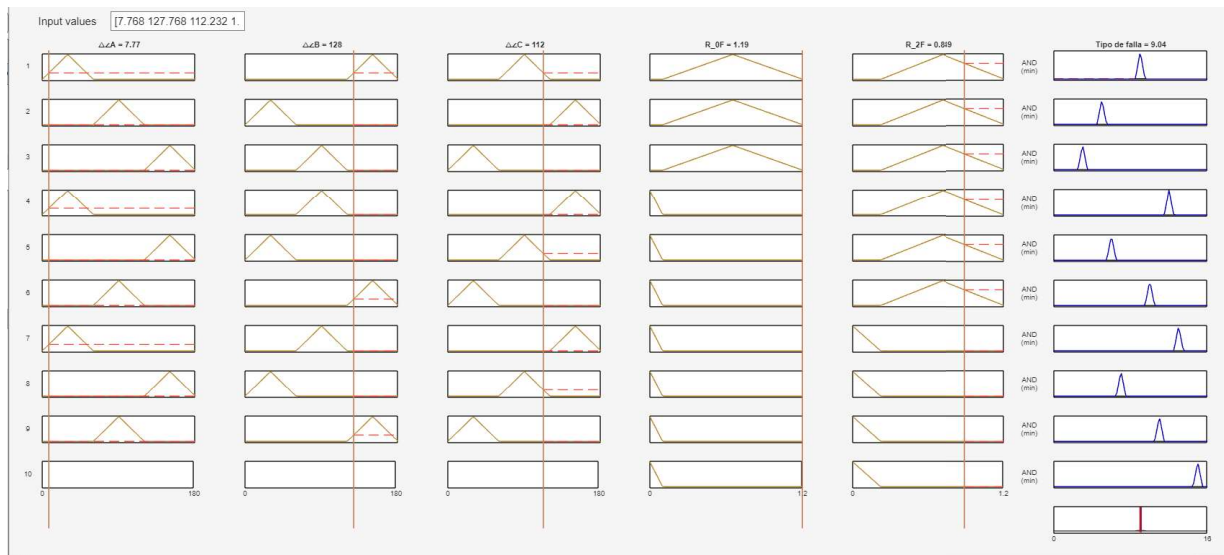


Figura 16. Resultados de la clasificación de fallas mediante el sistema de lógica difusa

Como se observa en la imagen, el modelo del sistema de lógica difusa fue capaz de determinar con un valor de 9.04 que la falla era monofásica en la fase A, ya que se encuentra dentro de su función de pertenencia, cercano al valor óptimo que sería 9 como se reseña en Das y Vittal [14]. Finalmente, se calculó la distancia de la falla utilizando las mediciones fasoriales de los PMU 2 y 3, dando los resultados vistos en la Tabla 3, siendo 4,1203 km relativo a la posición del PMU 2, realizando el ajuste correspondiente y calculando el error relativo se obtiene un resultado favorable de 1,4107%.

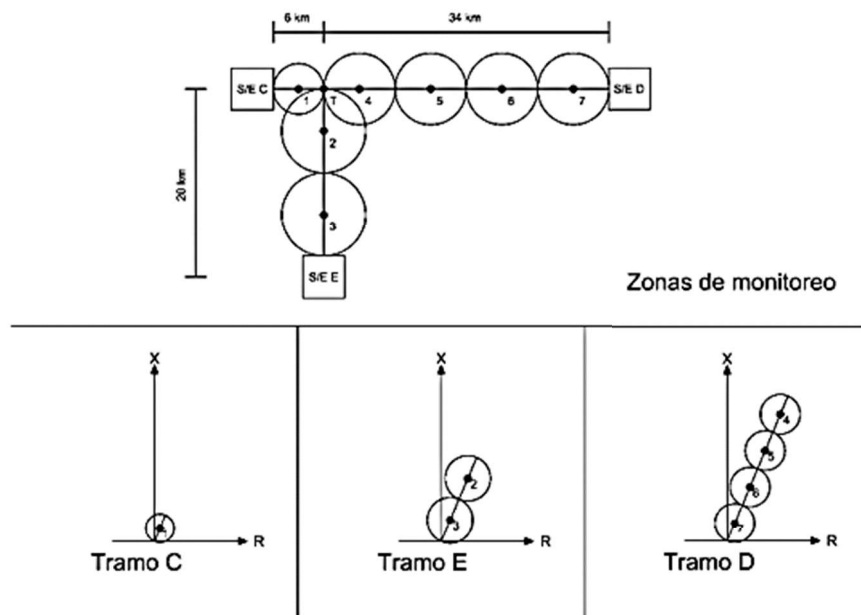
Tabla 3. Resultados de la localización de la falla mediante el modelo de parámetros distribuidos

$X_{real} = 30,8 + 4,1203 = 34,9203 \text{ Km}$
$X_r(\%) = \frac{ 34,9203 - 35,42 }{35,42} * 100 = 1,4107\%$

### Caso de estudio 2. Línea de transmisión con conexión en T

En el caso 2 se plantea una disposición de los PMU mostrados en la Figura 17, dividiendo la línea D, E y C en tramos de 8,5 km, 10 km y 6 km respectivamente; el escenario presenta una de las ventajas de la propuesta IIoT al disponer un PMU en la conexión en T que registra los fasores de tensión y corriente que fluye por cada uno de los tramos permitiendo distinguir cuál de ellos es el afectado al ocurrir una anomalía, dejando de ser necesarias las correcciones para los cálculos en una línea en T; como ya se corroboró el principio de operación entre dos PMU se hará énfasis en los PMU 1, 2, 4 y T. Se aplica mediante la simulación de un cortocircuito una falla bifásica entre las fases A y B a una distancia de 18 km respecto a la subestación E con una impedancia de falla de  $4\Omega$  totalmente resistivo.





**Figura 17. Disposición de PMUs propuesta para el caso 2**

Para la detección de la falla se aplicó el esquema diferencial, mostrando sus resultados en la Tabla 4, concluyendo que el esquema diferencial logró identificar el tramo con la eventualidad siendo el PMU 2 – T, así como también determinar cuáles fases están involucradas en ésta. Resultando de gran beneficio el esquema diferencial en esta situación donde existe una o más interconexiones en T.

**Tabla 4. Detección de la falla por unidad diferencial**

Tramo	Fases	$I_{op}$	$SLP * I_{res} + k_o$	¿Detectó la falla?
PMU 1-T	A	0,0005323	5,47	No
	B	0,0005009	5,20	No
	C	0,0007184	1,1940	No
PMU 2-T	A	4,2553	4,0220	Si
	B	4,2551	3,9577	Si
	C	0,0013	0,9735	No
PMU 3-T	A	0,0043	2,6460	No
	B	0,0036	2,8552	No
	C	0,0071	1,1212	No

## Conclusiones

Se estudiaron las fallas más perjudiciales para el traslado de potencia en la línea de transmisión, siendo éstas las no transitorias, donde en base a la bibliografía consultada y la entrevista realizada a un experto en el área, concuerdan que las fallas monofásicas son las más comunes consistiendo en el 70% de las fallas de cortocircuito seguida por la falla bifásica con un 15%.

Al ser la tecnología IoT en desarrollo dentro del sector industrial, esta presenta un marco normativo escaso, obteniendo varios de los criterios de seguridad a partir de otras normas no relacionadas a la temática, consistiendo la mayoría de la bibliografía existente en artículos realizados por investigadores. Sin embargo, por parte de instituciones como la IEC, se han comenzado a desarrollar estándares que facilitan la implementación de esta tecnología como la IEC 30141:2018, Internet of Things (IoT) – Reference architecture.

El mayor beneficio de este planteamiento es la posibilidad de segmentar las líneas de transmisión en tramos más pequeños definidos por la ubicación de los PMU, permitiendo el desarrollo de variaciones o nuevas filosofías de protección de la línea de transmisión. Representando el prototipo IIoT desarrollado un recurso de alto valor técnico y académico, dado que ejemplifica la forma cómo las nuevas tecnologías pueden mejorar sistemas dentro de las normativas vigentes, como la medición fasorial descritos en la IEEE std. C37.118.1-2011. Asimismo, complementa a otras tecnologías IIoT en desarrollo como es el caso de dispositivos patentados para la detección de fallas estructurales en torres de transmisión, encaminando con este prototipo el estudio de nuevas tecnologías para la modernización a nivel de protecciones ante fallas eléctricas propias de las redes de transmisión.

Mediante las pruebas realizadas en el Caso de estudio 1, donde se evaluó una falla monofásica de baja impedancia, se logró verificar las ventajas de la red IIoT al permitir la detección de anomalías y el monitoreo del estado en diferentes puntos de una línea larga, representando el caso de zonas rurales con valles y montañas que dificultan el acceso a la línea, siendo primordial la localización de la anomalía para solventarla. En profundidad logró detectar la falla utilizando el esquema general de la función de distancia (21), logrando identificar su tipo con un índice de 9,04 dentro de su función de pertenencia AG y localizando el lugar exacto de la anomalía con un error del 1,4109%. Además, otra de las grandes utilidades de esta tecnología sobre los relés convencionales, fue corroborada en el Caso de estudio 2, donde se logró detectar los tramos perjudicados en una línea de transmisión con una conexión en T despreciando el efecto infeed característico de este tipo de arreglo y mediante esquemas de protección diferencial, representando un caso típico de una acometida industrial en alta tensión.

Ante las dos evaluaciones, se concluye que el prototipo físico y la configuración de la red IIoT en MATLAB, permiten emular la transmisión de detección y localización de falla en las líneas de 138kV.

### Referencias bibliográficas

- [1] D. Kothari, y I. Nagrath, *Modern Power System Analysis*. 3a ed. McGraw Hill, 2003.
- [2] F. Barrero, *Sistemas de energía eléctrica*. Editorial Paraninfo, 2004.
- [3] T. Gönen. *Electric power transmission system engineering*. John Wiley & Sons, 1988.
- [4] T. Wildi, *Máquinas eléctricas y sistemas de potencia*. 6a ed. Pearson Educación, 2007.
- [5] J. Grainger, y W. Stevenson, *Análisis de sistemas de potencia*. McGraw Hill, 1996.
- [6] H. Goh, et al., "Transmission Line Fault Detection: A Review". *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 8, no. 1, pp.199-205, 2017. [En Línea]. Disponible en: <https://ijeecs.iaescore.com/index.php/IJECS/article/view/9757/7734>
- [7] K. Chen, C. Huang, y J. He, "Fault detection, classification and location for transmission lines and distribution systems: a review on the methods". *High Voltage*, vol. 1, no. 1, pp.25-33, 2016. [En Línea]. Disponible en: <https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1049/hve.2016.0005>
- [8] S. Jian, X. Peng, H. Yuan, C. Lai, y L. Lai, "Transmission line fault-cause identification based on hierarchical multiview feature selection". *Applied Sciences*, vol. 11, no. 17, 7804, 2021. [En Línea]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/17/7804>
- [9] K. Vavidel, "Emergency restoration of high voltage transmission lines". *The Open Civil Engineering Journal*, vol. 11, no. 2, pp.778-785, 2017. [En Línea]. Disponible en: <https://opencivilengineeringjournal.com/contents/volumes/V11/TOCIEJ-11-778/TOCIEJ-11-778.pdf>

- [10] K. Navaneetha, L. Niranjana, N. Shyamsundar, y C. Venkatesan, "IoT based transmission line fault monitoring system". *International Journal of Research and Analytical Reviews*, vol. 7, no. 3, pp.465-468, 2020. [En Línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.20627.91685>
- [11] M. Apotikar, V. Chandak, S. Deberao, y S. Shah, "IoT based transmission line monitoring system". *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, vol.2, no.2, pp.550-553, 2022. [En Línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.48175/IJARSCT-3349>.
- [12] Y. Al Mtawa, A. Haque, y T. Halabi, "A Review and Taxonomy on Fault Analysis in Transmission Power Systems". *Computation*. vol. 10, 144, 2022. [En Línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/computation10090144>
- [13] T. Gönen, *Modern power system analysis*. 2 ed. Taylor & Francis Group, 2013.
- [14] X. Kong, et al., "Fault location technology for power system based on information about the power internet of things". *IEEE Transactions on industrial informatics*, vol. 16, no. 10, pp.6682-6692. 2019. [En Línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/TII.2019.2960440>
- [15] B. Das, y J. Vittal, "Fuzzy-logic-based fault classification scheme for digital distance protection". *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 20, no.2, pp.609-616, 2005.[En Línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2004.834294>
- [16] V. Ferreira, et al., "A survey on intelligent system application to fault diagnosis in electric power system transmission lines". *Electric Power Systems Research*, vol. 136, pp.135-153, 2016. [En Línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2016.02.002>
- [17] Standard for Synchrophasor Measurements for Power System, Norm IEEE C37.118.1-2011, New York, USA: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2011.
- [18] A. Bricchi, D. Moore, y J. Rostron, "Fault Location Detection on Tapped Transmission Lines". CIGRÉ Canada. *Conference on Power Systems Vancouver*, October 17- 19, 2010.
- [19] A. Kadechkar, J. Riba, M. Moreno, y J. Perez, "SmartConnector: A Self-Powered IoT Solution to Ease Predictive Maintenance in Substations". *IEEE Sensors Journal*, vol. 20, no. 19, pp.11632-11641, 2020. [En Línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/JSEN.2020.2998157>
- [20] Internet of Things (IoT) – Reference architecture, Norm IEC 30141:2018, Londres, Reino Unido: International Electrotechnical Commission, 2018.
- [21] T. Green, P. Semig, y C. Wells, *Analog Engineer's Circuit Cookbook: Amplifiers*. 2a ed. Texas Instruments, 2019.
- [22] S. Khan, S. Imtiaz, H. Mustafa, A. Aijaz, y M. Ali, "Design and Development of a Synchrophasor Measurements Unit as per IEEE Standard C37.118.1-201", *Engineering and Technology History Wiki*, 2014. [En Línea]. Disponible en: <https://ethw.org/w/images/5/5b/Design-and-Development-of-a-Synchrophasor-Measurement-Unit-as-per-IEEE-Standard-C37.118.1-2011-Saeed-Hassan-Khan-20151112-1.pdf>
- [23] F. Calero, y H. Altuve, "Identifying the proper impedance plane and fault trajectories in distance protection analysis", en *66th Annual Georgia Tech Protective Relaying Conference*, Atlanta Georgia, 2012.
- [24] I. Prado, R. Medeiros, F. Costa, y K. Silva, "A Performance Analysis of Transmission Line Differential Protection", *Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos-SBSE*, vol. 1, no 1, 2020.



# Propuesta de redistribución de áreas para el matadero Frimica

## *Proposal for redistribution of areas for Frimica slaughterhouse*

**Loredana M. Baglieri-Acebo**

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

 <https://orcid.org/0009-0003-2709-6268> | Correo electrónico: [loredanabaglieri12@gmail.com](mailto:loredanabaglieri12@gmail.com)


**Ysabella Barboza-Trejo**

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

 <https://orcid.org/0009-0000-9307-9106> | Correo electrónico: [ysabellabarbozatrejo@gmail.com](mailto:ysabellabarbozatrejo@gmail.com)

**Ángel D. González-Portillo**

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

 <https://orcid.org/0000-0001-5648-919X> | Correo electrónico: [angeldongonzalezp30@gmail.com](mailto:angeldongonzalezp30@gmail.com)

Recibido:03-03-2023 Admitido:20-03-2023 Aprobado:05-06-2023

### Resumen

Se realizó una investigación descriptiva con el fin de proponer una redistribución de áreas para el matadero Frimica. Para ello, fue necesario diagnosticar la situación actual de distribución de áreas según los factores de Muther. Posteriormente, analizar el patrón de flujo de materiales, determinar el espacio requerido de las áreas y seleccionar la alternativa óptima de asignación. Los resultados indican que los factores en peor estado son el factor movimiento, hombre y servicio, teniéndose en cuenta para la propuesta. Las áreas fueron asignadas de tal manera que, el túnel de congelación y las cavas de conservación quedaron próximas, el área sucia se redujo a una sola área común y el despacho se encuentra cerca de las cavas, resultando un flujo en L, armonioso, sencillo y reduciendo la distancia recorrida significativamente hasta unos 116 metros para las canales y 34 metros para ciertos subproductos.

**Palabras clave:** Redistribución, matadero, patrón de flujo, cálculo de espacios.

### Abstract

*A descriptive investigation was carried out in order to propose a redistribution of areas for the Frimica slaughterhouse. For this, it was necessary to diagnose the current situation of area distribution according to Muther's factors. Subsequently, analyze the material flow pattern, determine the required space of the areas and select the optimal allocation alternative. The results indicate that the factors in the worst condition are the movement, man and service factors, which are taken into account for the proposal. The areas were assigned in such a way that the freezing tunnel and the storage cellars were close together, the dirty area was reduced to a single common area and the office is close to the cellars, resulting in a harmonious, simple L-shaped flow and significantly reducing the distance traveled to about 116 meters for carcasses and 34 meters for certain by-products.*

**Key words:** Redistribution, slaughterhouse, flow analysis, spaces calculation.

### Introducción

El diseño de instalaciones de manufactura, “se refiere a la organización de las instalaciones físicas de la compañía con el fin de promover el uso eficiente de sus recursos, como personal, equipo, materiales y energía” [1, Pág.1].

Contar con una buena distribución de planta se traduce en mejoras considerables en todo el aparato productivo; logra un adecuado orden y manejo de las áreas de trabajo y equipos; minimiza tiempo, espacio y

costos; combina la mano de obra, los materiales y el transporte de estos dentro de la instalación; ordena las áreas de trabajo y del equipo de la forma más económica y a la vez más segura. Cubriendo así las demandas e incluso garantizando mejores resultados que la competencia [2].

En Venezuela, la mayoría de las distribuciones en planta se han diseñado para las condiciones de inicio o de arranque de la empresa, de manera empírica, buscando la funcionalidad de los espacios disponibles sin abordar todos los aspectos humanos, económicos, técnicos, sanitarios que el diseño engloba. Sin embargo, a medida que la organización ha ido creciendo y se ha tenido que adaptar a los cambios internos y externos, esta distribución inicial ha ido perdiendo eficacia, volviéndose menos adecuada, hasta llegar al momento en el que la redistribución se hace necesaria, razón por la cual sus principales objetivos no pueden ser llevados a cabo en su totalidad [3].

La región zuliana siendo rica en el sector agropecuario, por lo que resulta beneficioso hacer un análisis a las instalaciones destinadas al aprovechamiento de este rubro. Frigorífico Milagro C.A es una empresa de servicios agropecuarios encargada del sacrificio, refrigeración, comercialización, venta y distribución de productos cárnicos en condiciones óptimas para el consumo humano. La misma cuenta con un área de producción en tres zonas y seis cavas. A través de una inspección previa en planta se pudo evidenciar la insuficiencia de condiciones para funcionar de manera efectiva; entre las cuales se encuentran los largos recorridos en determinadas áreas, circulación del producto por áreas no asépticas y estaciones de trabajo ineficientes con necesidades de mejora en cuanto a las comodidades del operario. Asimismo, presenta congestión en el acceso a las cavas de almacenamiento y despacho del producto final.

Por tanto, de continuar operando bajo estas condiciones se afecta a largo plazo el desarrollo y crecimiento de la empresa. Por este motivo, la empresa necesita una mejor distribución de sus instalaciones físicas y equipos de trabajo con la finalidad de optimizar la productividad laboral, analizando los factores y criterios que permitirán dar una solución a sus actuales problemas considerando el patrón de flujo de los materiales y el espacio requerido en las áreas de trabajo.

### **Materiales y métodos**

La investigación fue desarrollada en el Matadero Industrial Frigorífico Milagro C.A, ubicado en el municipio Jesús Enrique Lozada, estado Zulia, Venezuela.

A continuación, se presentarán por medio de etapas los distintos procedimientos y actividades que se llevaron a cabo durante la investigación para conseguir la distribución más apropiada en cuanto a flujo, distancias recorridas y productividad para el matadero.

#### **Etapla 1: Diagnóstico de la distribución actual y Norma COVENIN 794-86**

Mediante la lista de verificación de elaboración propia en base a la planteada por Muther [2] se realizó un análisis de la situación actual de distribución de las áreas de recepción, producción y despacho de la planta sujeta a estudio, con el fin de determinar si es necesaria o no, una nueva distribución de áreas.

La lista de verificación está constituida por múltiples divisiones y subdivisiones, con el fin de abarcar los ocho aspectos que según Muther [2], afectan a la distribución de plantas. De esta forma, se evalúa la necesidad de una redistribución de acuerdo a los elementos: material, maquinaria, hombre, movimiento (manejo de materiales), espera/almacenamiento, servicio, edificio y cambio. Siendo el factor movimiento, hombre y servicio los que se encontraron en peor estado en la planta.

Por su parte, mediante la lista de verificación en base a la Norma COVENIN 794-86 [4], se realizó un análisis de la situación actual de las prácticas de higiene para el matadero industrial en cuanto a la construcción, instalación y controles sanitarios respecta, con el fin de examinar el cumplimiento de la misma para garantizar la calidad sanitaria de la carne y subproductos para consumo humano.

#### **Etapla 2: Análisis de patrón de flujo**

El análisis del patrón de flujo de materiales se centra en conocer todos los movimientos que realiza el material en la planta desde que llega a recepción, procesado y almacenado para su despacho. Para esto se hace el uso exclusivo de los diagramas de recorrido por cada proceso y, a raíz de estos, evaluar las áreas de congestionamiento y calcular las distancias recorridas por producto. Conforme a estos resultados se plantea cuál sería el patrón más conveniente para cada alternativa.

### **Etapla 3: Cálculo y diseño de áreas**

Al tener en consideración cada uno de los elementos requeridos, la zona perteneciente en que el trabajador pueda operar con facilidad y el espacio disponible en la planta, se calcula cada una de las áreas necesarias junto que el diseño preliminar de la redistribución interna, como lo son área de vísceras blancas, área de cabeza, área de cuero, despacho, sala de primeros auxilios, vestuario, oficina de supervisor, cuarto de herramientas.

### **Etapla 4: Asignación de áreas**

La asignación de las áreas de las propuestas planteadas se realizó en función al flujo del proceso, es decir, primeramente, se tomaron en consideración los criterios de: relación entre los departamentos, distancias recorridas, naturalidad del proceso, características del edificio, requerimientos espaciales de ciertos departamentos, entre otros, y luego se definió donde se y ubicaría el área de recepción y despacho, finalmente se asignaron al área de acuerdo al flujo acordado, realizando modificaciones a cada área por los criterios considerados.

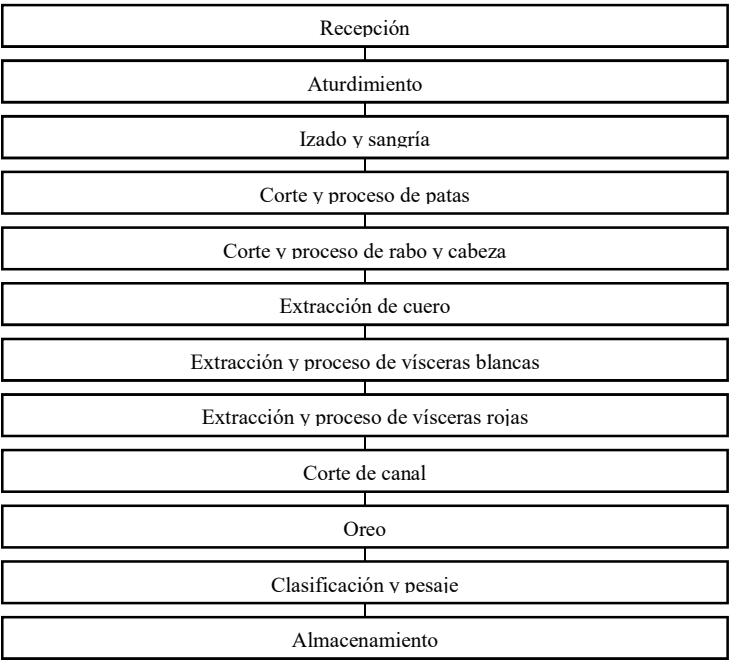
### **Etapla 5: Selección de alternativa**

Para la selección de la mejor alternativa de distribución de espacio para la empresa Frigorífico Milagro, C.A, se ha implementado como herramienta de selección la evaluación de pros y contras, la cual consiste en una lista de ventajas y desventajas de cada alternativa, seleccionando así la alternativa que posea más cualidades positivas.

## **Resultados**

### **Análisis del proceso productivo**

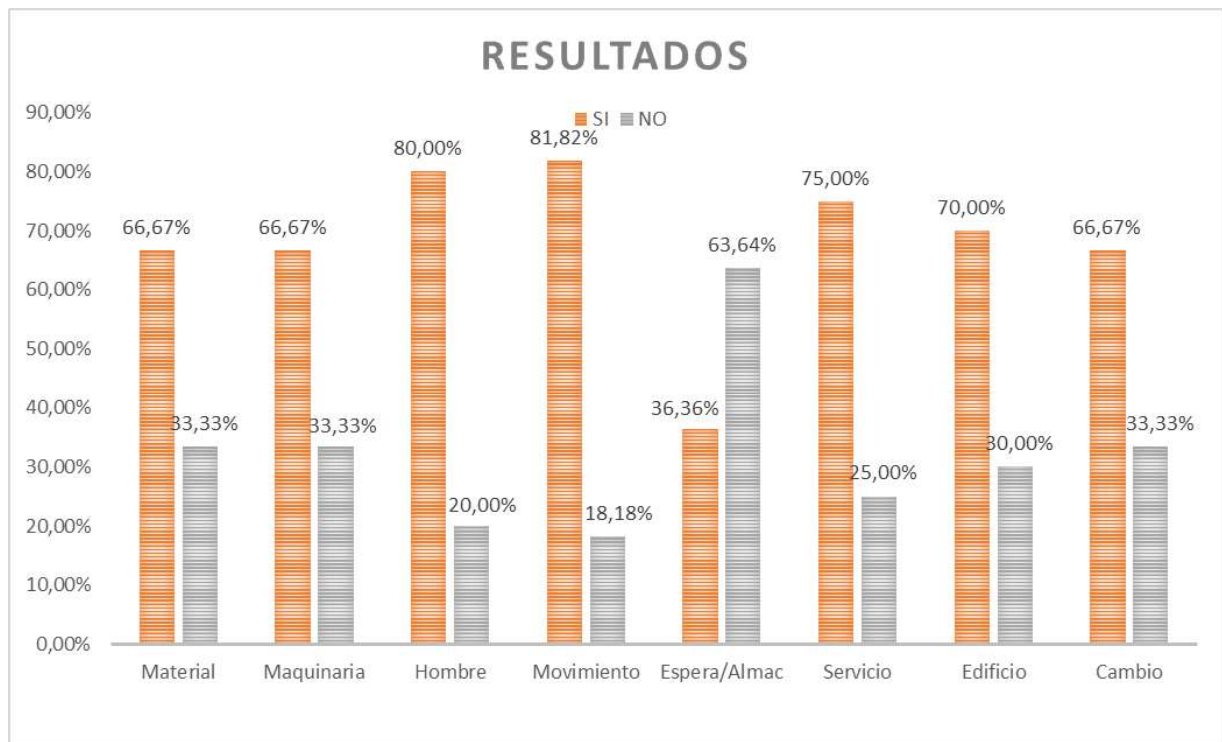
En la Figura 1 se muestra el diagrama del proceso productivo general del matadero.



**Figura 1. Proceso de producción de la Empresa**

### **Diagnóstico de la situación actual de distribución**

Una vez aplicada la lista de verificación se procede a realizar el análisis de la misma, para lo cual se destacan los resultados obtenidos por cada factor, mostrados a continuación (Figura 2).



**Figura 2. Resultados de lista de verificación con factores de Muther**

Asimismo, se presenta a continuación la Tabla 1 que señala cada dimensión, considerando el total de ítems evaluados, porcentaje de respuestas afirmativas y negativas.

**Tabla 1. Tabulación de resultados de lista de verificación**

Factores	Ítems evaluados	# de SI	# de NO	% SI	% NO
Material	6	4	2	66,67%	33,33%
Maquinaria	6	4	2	66,67%	33,33%
Hombre	10	8	2	80,00%	20,00%
Movimiento	11	9	2	81,82%	18,18%
Espera/ Almac.	11	4	7	36,36%	63,64%
Servicio	8	6	2	75,00%	25,00%
Edificio	10	7	3	70,00%	30,00%
Cambio	6	4	2	66,67%	33,33%
	68	46	22	67,65%	32,35%

De acuerdo a la Tabla 1, se tiene que un 67,65% corresponde a respuestas afirmativas, lo cual da lugar a la clasificación dentro del rango tabulador de decisión de beneficios seguros mejorando la distribución actual del matadero Frigorífico Milagro C.A. Por otro lado, se encontró que los factores con mayores deficiencias encontradas actualmente son, movimiento con un 81,82% consecuente del flujo congestionado, traslados frecuentes y largos recorridos que se deben realizar para los subproductos por su ubicación al otro extremo del



área donde se procesan; hombre con un 80% debido a las condiciones de trabajo poco seguras; servicio con 75% originado por las obstrucciones de los pasillos, ventilación de la instalación, maquinaria parada, material en espera a lo largo del proceso.

Es por ello que, la distribución actual de las áreas de recepción, producción y despacho presenta algunas disconformidades en cuanto a las condiciones de trabajo de los operadores, esperas entre departamentos, flujo congestionado y cruces, ventilación inapropiada tanto para el personal como para el producto, comprobando los resultados obtenidos y los cuales deben tenerse en cuenta en el diseño de la redistribución.

**Examinación del cumplimiento de inocuidad basado en la Norma COVENIN 794-86**

La lista de verificación está conformada por dos apartados y múltiples subdivisiones dentro de los mismos, con la finalidad de considerar los aspectos de la norma a los que la distribución física concierne. Estos son: construcción e instalación y controles sanitarios.

Para analizar la lista de verificación en base a si la planta necesita ser ajustada a la norma o no, se tomará en cuenta el cumplimiento e incumplimiento, resultando dos posibles opciones, que se necesite ajustar o que permanezca como está funcionando en la actualidad (Tabla 2, Figura 3).

**Tabla 2. Leyenda para lista de verificación COVENIN 794-86**

Possible respuesta	Decisión
Cumple	Sigue funcionando en las mismas condiciones.
No cumple	Se realizan ajustes para el cumplimiento a cabalidad de la Norma.



**Figura 3. Resultados de lista de verificación Norma COVENIN 794-86**

En líneas generales, se puede constatar en la gráfica de barras que ambos criterios poseen un valor similar en cuanto al porcentaje de cumplimiento e incumplimiento de la norma, lo cual señala que la empresa cumple en gran medida con la mayoría de los apartados propuestos referentes a la construcción e instalación y controles sanitarios del matadero Frigorífico Milagro C.A. Sin embargo, se logra inferir que existen algunas deficiencias que pueden ser mejoradas a través de la redistribución de áreas de la empresa y que permitirán alcanzar la totalidad de las condiciones higiénicas deseables para el faenado de ganado, almacenamiento refrigerado, despacho de las canales y subproductos comestibles.

### Análisis de patrón de flujo de materiales

El análisis del patrón de flujo de materiales se centra en conocer todos los movimientos que realiza el material en la planta desde que llega a recepción, procesado y almacenado para su despacho. Para esto se hace el uso exclusivo de los diagramas de recorrido por cada proceso y, a raíz de estos, evaluar las áreas de congestionamiento y calcular las distancias recorridas por producto.

A continuación, se presentan los diagramas de recorrido para canales, patas, cabeza, vísceras blancas, vísceras rojas y diagrama de intensidad, así como la leyenda de símbolos y colores (Figura 4).

Leyenda	
	Canales
	Operación
	Transporte
	Inspección
	Almacén
	Demora

Figura 4. Leyenda de símbolos y colores

En los diagramas de flujo se evidencia que todos los productos cuentan con retrocesos constantes, a su vez, se observa que en el área de producción es donde se realizan las mayorías de las actividades, ocasionando poco aprovechamiento del espacio en resto de las instalaciones. Por otro lado, la ubicación de las cavas originalmente definida para subproducto se encuentra alejada de sus procesos y se almacenan junto con las canales en la actualidad. Y, por último, se puede observar que existen intersecciones entre el flujo, lo que en pocas palabras se resumen como una gran pérdida del tiempo de operación.

### Diagrama de flujo de canales

En el diagrama de recorrido mostrado a continuación (Figura 5) se ve reflejado el recorrido de las canales desde la llegada de la res a la línea de producción hasta su almacenaje en las cavas. Posee una alta utilización del área de producción, se evidencia un patrón de flujo definido con retroceso, cruces y contraflujo en el área de las cavas.

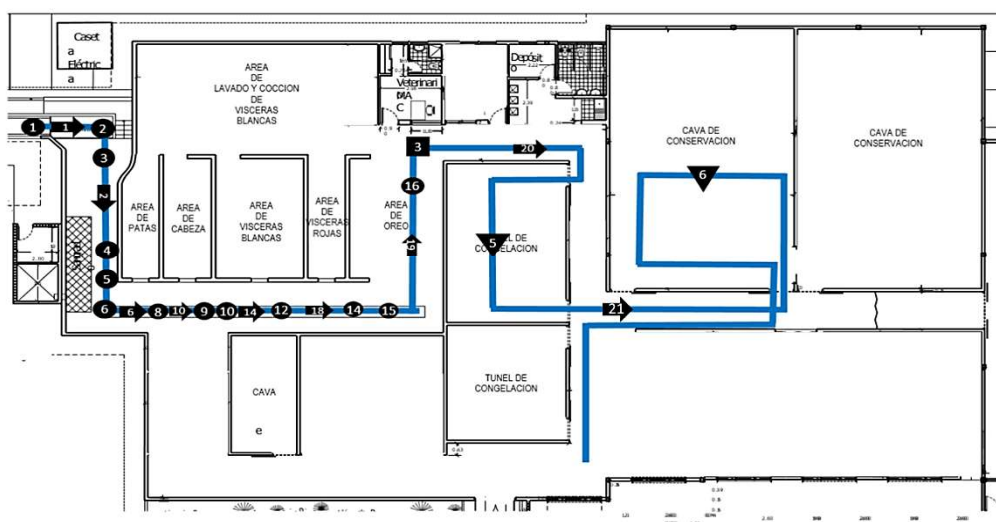
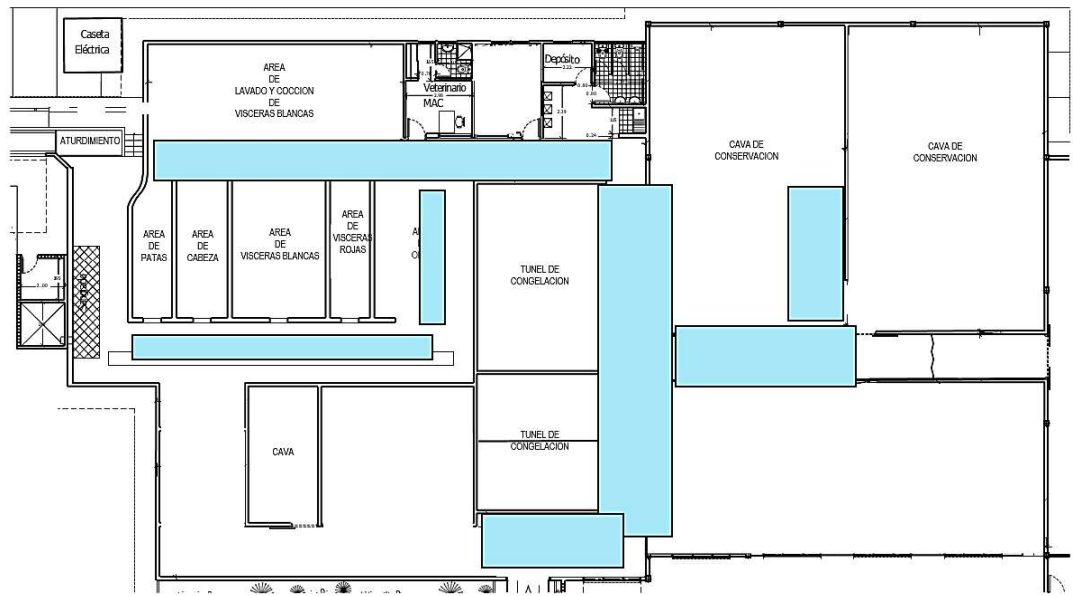


Figura 5. Diagrama de recorrido de canales

**Diagrama de intensidad**

En el diagrama mostrado a continuación (Figura 6), se muestra el congestionamiento presente en las áreas de producción, almacenamiento y despacho, causadas por los cruces de líneas, recorridos que realizan retornos en las mismas áreas, o bien, pasillos definidos incorrectamente.



**Figura 6. Diagrama de intensidad de flujo**

**Distancia recorrida**

Las distancias a recorrer son ideales para cuantificar cada recorrido, permitiendo visualizar la cantidad de metros que se necesita para el procesamiento de cada producto y subproducto. Con el fin de contrastar la cantidad de metros que recorre en la actualidad con los que recorrerá en los diseños propuestos, y con ellos determinar cuál es el más óptimo (Tabla 3).

**Tabla 3. Distancias a recorrer**

Producto	Recorrido máximo (m)
Canal	180.69
Patas	92.71
Cabeza	85.255
Vísceras blancas	83.24
Vísceras rojas	80.06

**Determinación del espacio requerido para las áreas**

Para determinar el espacio requerido de cada una de las áreas propuestas es necesario tomar ciertas consideraciones desarrolladas a continuación.

**Identificación de elementos del área de producción**

Para identificar los elementos de las áreas descritos en las fichas técnicas, se presentará un cuadro descriptivo (Tabla 4).

**Tabla 4. Elementos presentes en las áreas a diseñar**

Área de producción		
Área	Maquinaria	Equipo auxiliar
Área de vísceras blancas	Lavadora	Carrito
	Bañeras	
	Mesa larga	
	Mesa corta	
	Contenedor	Cestas
	Olla	
	Carrito para chinchurria	
Área de cabeza	Mesa	Cestas
Área de patas	Mesa	Cestas
		Contenedor
Área de extracción de cuero	High-puller	Plataforma
		Carretilla

#### Cálculo de espacio de las áreas

Las áreas a estimar para el matadero Frigorífico Milagro, C.A., son las áreas de producción, despacho, vestuario, cuarto de herramientas, oficina de supervisor de despacho, sala de primeros auxilios. Además del área destinada a pasillos, con el fin de obtener la cantidad de metros cuadrados necesarios para cada una de estas áreas (Tabla 5).

**Tabla 5. Tabla resumen de la estimación de áreas necesarias a redistribuir**

Áreas estimadas totales			
Áreas		m <sup>2</sup>	Total m <sup>2</sup>
Producción	Vísceras blancas	38,409	70,469
	Proceso de cabeza	20,06	
	Cuero	12	
Despacho		151,202	151,202
Almacenamiento para el cuero		21,235	21,235
Vestuario		11,34	11,34

Cuarto de herramientas	19,278	19,278
Sala de primeros auxilios	3,3489	3,3489
Pasillos (20%)		55,3746
TOTAL		332,2475

**Asignación de áreas**

La asignación de las áreas de las propuestas planteadas se realizó en función al flujo del proceso, es decir, primeramente, se tomaron en consideración los criterios de: relación entre los departamentos, distancias recorridas, naturalidad del proceso, características del edificio, requerimientos espaciales de ciertos departamentos, entre otros, y luego se definió donde se y ubicaría el área de recepción y despacho, finalmente se asignaron al área de acuerdo al flujo acordado, realizando modificaciones a cada área de acuerdo a los criterios considerados.

**Alternativa X**

Para el despacho de las canales, se considera ubicar la zona al frente de las cavas de conservación de las canales, espacio que se encuentra sin uso en la actualidad y puede ser aprovechado, disminuyendo significativamente el recorrido que realizan las mismas al momento de salir de la planta. Asimismo, el despacho de los subproductos (vísceras blancas, vísceras rojas, cabeza, patas) se plantea justo al lado del despacho de las canales, dado a que es la zona de despacho más cercana a las cavas de subproductos y se cuenta con el espacio disponible, evitando el congestionamiento en el área y pasillos donde concurrían todos los elementos.

Por otro lado, siguiendo también el principio de circulación se plantea reubicar la cava de vísceras blancas más cerca de su zona de producción, evitando así el contacto con la carne de consumo directo y separando las dos zonas de despacho, siguiendo de esta manera el principio de espacio cúbico al utilizar de manera efectiva cada una de las áreas del matadero. En cuanto a la distribución actual se puede evidenciar que se disminuyeron las distancias de manera significativa, A continuación, se presenta una tabla resumen y la propuesta (Tabla 6, Figura 7).

**Tabla 6. Comparación de distancias entre distribución actual y alternativa X**

Producto	Distancia Distribución Actual (m)	Distancia Alternativa X (m)	Diferencia (m)
Canales	180.69	78,87	101,82
Patatas	92.71	51,54	41,17
Vísceras blancas	85.255	50,93	34,25
Vísceras rojas	83.24	44,33	38,91
Cabeza	80.06	35,28	44,78

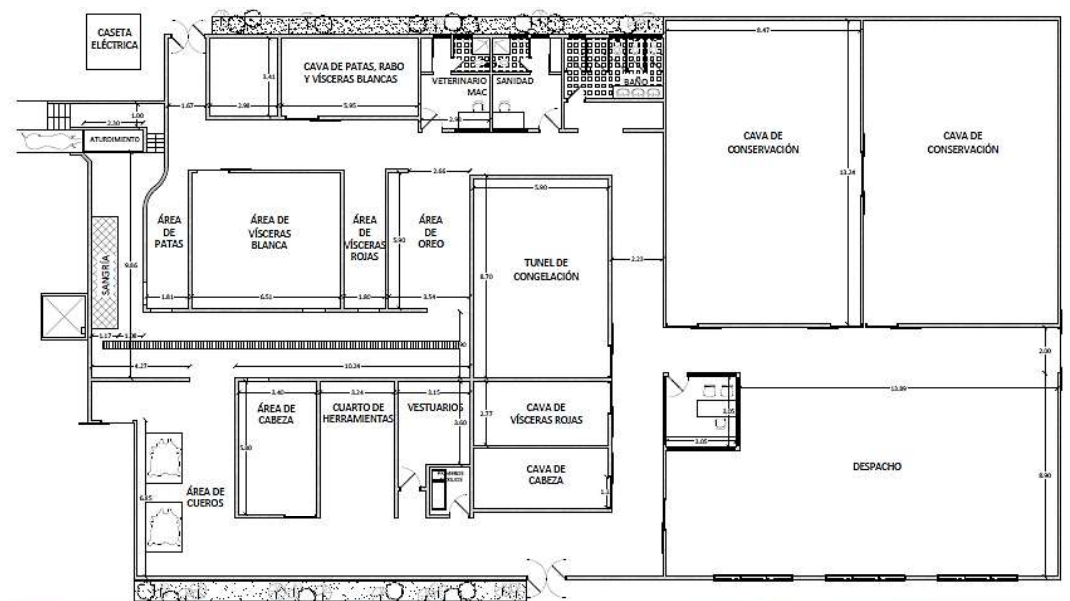


Figura 7. Plano alternativa X

**Alternativa Y**

Esta alternativa como la anterior propone un flujo en L, reubicando las áreas externas al proceso productivo de acuerdo a la relación entre las mismas, de igual manera se incluye todas las modificaciones y consideraciones planteadas en los objetivos anteriores como el filtro sanitario, vestuario, enfermería, cuarto de herramientas y el traslado de las oficinas de clasificación y sanidad, la cava de cabeza vísceras y túnel de congelación.

Para esta alternativa se consideró tener una cercanía del túnel de congelación con las cavas de conservación, disminuyendo de esta manera recorridos incensarios y obtener un flujo más uniforme a lo largo de la planta, para esto se trasladó la oficina de clasificación y sanidad hacia abajo teniendo igual visibilidad de las reses que llegan del proceso, además de habilitar una puerta en el túnel conectándolo con la cava. En cuanto a la distribución actual se puede evidenciar que se disminuyeron las distancias de manera significativa. A continuación, se presenta una tabla resumen y la propuesta (Tabla 7, Figura 8).

Tabla 7. Comparación de distancias entre distribución actual y alternativa Y

Producto	Distancia Distribución Actual (m)	Distancia Alternativa Y (m)	Diferencia (m)
Canales	180.69	64,45	116,24
Patatas	92.71	50,12	42,59
Vísceras blancas	85.255	48,94	36,315
Vísceras rojas	83.24	42,36	40,88
Cabeza	80.06	39,28	40,78

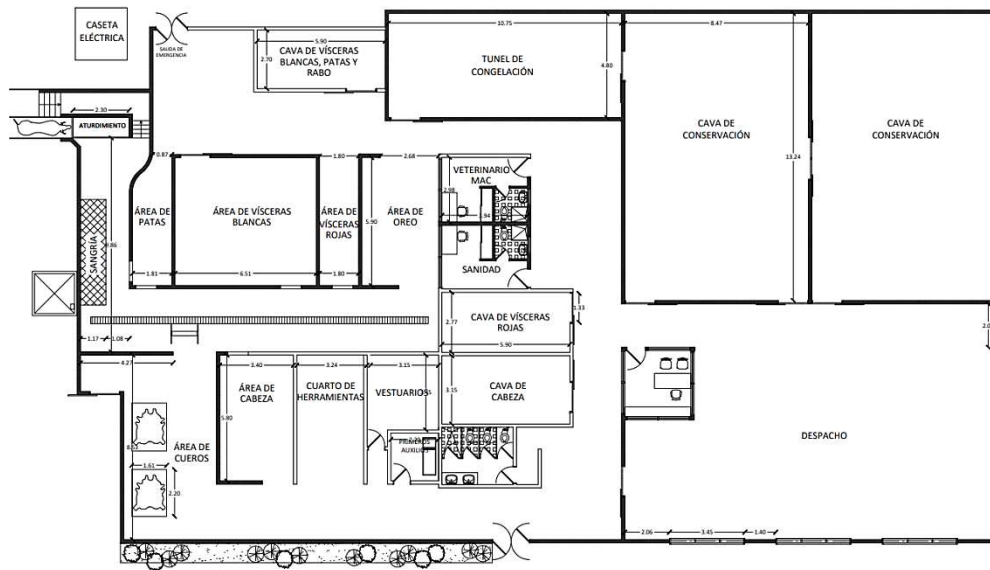


Figura 8. Plano alternativa Y

### Alternativa Z

Finalmente, se presenta una tercera propuesta como la ideal para la planta, reubicando cada una de las áreas desde cero, para esta se tomó en consideración las condiciones higiénicas, disminución de distancias, espacio cúbico, mejoras en el flujo de la línea de producción, cercanía de las cavas y despacho, además de tener en cuenta las áreas diseñadas en las propuestas anteriores, por lo cual el flujo que mejor se adapta a esta propuesta sería el flujo en T, quedando una trayectoria uniforme de las canales alrededor de la planta y obteniendo un recorrido mínimo por parte de los subproductos. A continuación, se muestra el flujo y propuesta descrita (Figura 9).

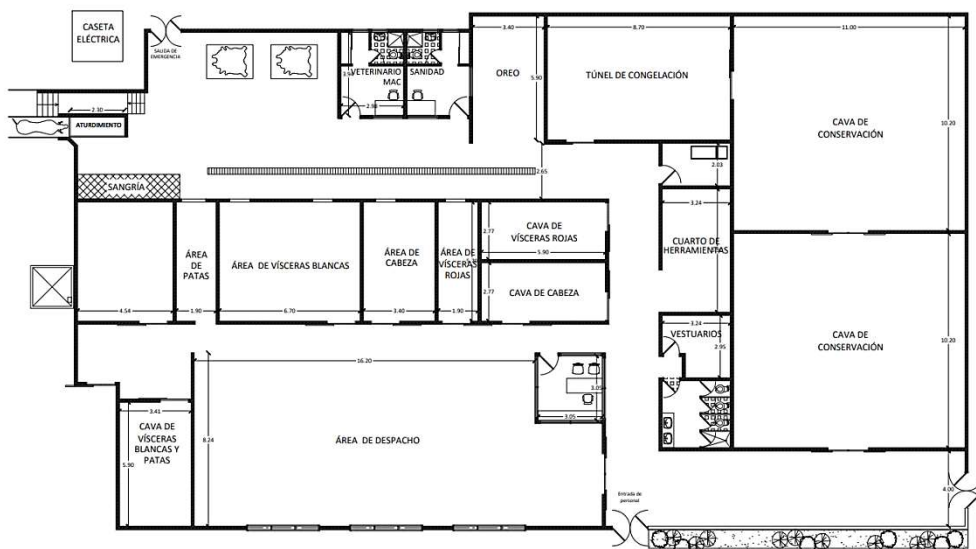


Figura 9. Plano alternativa Z

### Selección de alternativa de distribución óptima

Para la selección de la mejor alternativa de distribución de espacio para la empresa Frigorífico Milagro, C.A, se ha implementado como herramienta de selección la evaluación de ventajas y desventajas, la cual consiste en una lista de ventajas y desventajas de cada alternativa, seleccionando así la alternativa que posea más cualidades positivas

Luego de realizar la lista de pros y contra, se obtuvo como resultado que la propuesta de redistribución Y, es la más óptima de aplicar, esto se debe a que dicha propuesta incide directamente de manera positiva en las fases de operación de la empresa, se debe considerar que esta-propuesta requiere una inversión mayor para ser implantada. Esta es la opción recomendada por los investigadores, más, sin embargo, el estatus financiero de la empresa debe ser tomado en cuenta al decidir qué alternativa es más viable.

**Tabla 8. Lista de pros y contras de las alternativas**

	Alternativa X	Alternativa Y
Pros	Vincula el producto, hombre y equipos de manera secuencial. Sin embargo, presenta interrupciones de flujo para el túnel de congelación.	Vincula el producto, hombre y equipos de manera secuencial.
	Puede prestarse a futuros arreglos sin representar mayor costo.	Con este arreglo se reduce la distancia hasta unos 116,24 metros en el producto principal.
	Requiere modificaciones menores y aprovechamiento de las facilidades actuales.	La distribución está diseñada en el orden en que se transforma el producto, teniendo en cuenta la desagregación de la res hasta su despacho.
	Brinda espacios disponibles para futuros proyectos dentro de la planta, aprovechando el espacio tanto vertical como horizontal.	Con este flujo se reducen las curvas, promoviendo un flujo más sencillo.
	-	La recepción y despacho se encuentran separadas evitando la comunicación de la entrada y la salida del producto por el mismo lugar.
Contras	Presenta un flujo un poco complejo debido a las constantes curvas que debe realizar el producto.	Se desaprovechan espacios debido a la distribución de algunas áreas., quedando pasillos espaciosos.
	Los primeros auxilios se encuentran lejanos a la zona de producción.	Esta reasignación representa mayores cambios en la planta actual, moviendo elementos como cavas, oficinas, que elevan los costos.
	Con este arreglo se reduce la distancia hasta unos 101,82 metros en el producto principal.	-
	El baño está situado de forma lejana de los vestuarios, siendo ambos elementos de uso del operario.	-

Mencionado todo lo anterior, se puede concluir que la alternativa de redistribución Y es la ideal para el Frigorífico Milagro, C.A, con la cual se solventarán numerosos inconvenientes y retrasos, brindándole un mejor servicio a sus clientes.



## Conclusiones

Se analizaron las condiciones de distribución de la empresa, basada en la lista de verificación de los ocho factores que afectan a la misma; arrojando un 67.65% de respuestas “SI”, es decir, que existen beneficios seguros mejorando la distribución actual de la empresa, y se considera que las dimensiones en peor estado son, el movimiento con 81.82%, el hombre con 80%, y servicio con un 75%.

La norma COVENIN 794-86 se incumple con un 17,1% para la construcción y 24,4% para las instalaciones y controles sanitarios, para los cuales se debe implementar mallas anti insectos en las aperturas entre el techo y la pared, cerca perimetral de ciclón, cintas anti resbalantes, calentador de agua, revisar constantemente las rejillas de desagüe, cambiar los grifos de acción manual por mecanismo de pedales o con sensor, agregar papel secante o secadores de aire. Esto con el fin del cumplimiento a cabalidad de Norma Venezolana.

El análisis del patrón de flujo reflejó que existen numerosas áreas de congestión en la distribución actual, especialmente el área de cava y de despacho ya que, todos los productos transitan por tales zonas comunes, presentando retrocesos, contraflujos y cruces.

Se estimó que el área de vísceras blancas requiere un espacio mínimo de 38,409 m<sup>2</sup>, cabeza 20,06 m<sup>2</sup>, cuero 12 m<sup>2</sup>, almacenamiento de cuero 21,235 m<sup>2</sup>, vestuarios 11,34 m<sup>2</sup>, sala de primeros auxilios 3,3489 m<sup>2</sup>, cuarto de herramientas 19,278 m<sup>2</sup>, despacho 151,202 m<sup>2</sup>. Siendo los pasillos un 20% del área total, necesitando un área mínima total de 332,2475 m<sup>2</sup>. Contando con un área disponible de 393,4127 m<sup>2</sup>, la propuesta se considera factible al ser inferior la cantidad de metros necesarios a la que se tiene actualmente.

Con el cálculo de las áreas se realizó la asignación de las mismas tomando en cuenta el flujo, resultando la alternativa X con una disminución de recorrido para las canales de 101,82 metros; patas 41,17 metros; vísceras blancas 34,25 metros; vísceras rojas 38,91 metros y cabeza 44,48 metros, con un patrón general de flujo en L, quedando un espacio considerable posiblemente destinado para una actividad que agregue valor al proceso como lo puede ser una sala de procesamiento de grasas para la fabricación de cera. Asimismo, la alternativa Y con una disminución de recorrido para las canales de 116,24 metros; patas 42,59 metros; vísceras blancas 36,315 metros; vísceras rojas 40,88 metros y cabeza 40,78 metros, con un patrón general de flujo en L, quedando un espacio posiblemente destinado para la misma función. Asimismo, se añadió una tercera alternativa Z que representa el patrón de flujo propuesto ideal si la planta fuese redistribuida desde cero.

La selección de la mejor alternativa se obtuvo mediante una lista de pros y contras, considerando los 6 principios de distribución de planta. Esta técnica dio como resultado que la distribución óptima es la alternativa Y, ya que vincula el producto, hombre y equipos de modo que resulte el compromiso mejor entre cada uno de ellos. Además, se reducen las curvas y se promueve un flujo más sencillo. Sin embargo, esta alternativa representa mayores cambios en la planta actual, al mover más elementos como cavas y oficinas.

## Referencias bibliográficas

- [1] F. Meyers, y M. Stephens, *Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales*. México. Pearson Educación, 2006.
- [2] R. Muther, *Distribución en planta*. 2a ed. Editorial Hispano Europea, 1970. [En Línea]. Disponible en: [https://www.academia.edu/49232937/Distribucion\\_de\\_Planta\\_Richard\\_Muther](https://www.academia.edu/49232937/Distribucion_de_Planta_Richard_Muther)
- [3] P. Pérez, “La importancia y los beneficios de una eficiente distribución en planta”. *Vidrio Perfil*, 2020. [En Línea]. Disponible en: <https://www.vidrioperfil.com/es/noticia-es/la-importancia-y-los-beneficios-de-una-eficiente-distribucion-en-planta>
- [4] Comisión Venezolana de Normas Industriales, COVENIN 794-86, Código de prácticas de higiene para mataderos industriales, mataderos frigoríficos industriales, frigoríficos industriales y salas de matanza municipales o privadas, Caracas, Venezuela. Fondonorma, 1986.



# Corrección de pendientes para sistemas de drenaje urbano en áreas críticas del estacionamiento de la Universidad Rafael Urdaneta

*Slope correction for urban drainage systems in critical areas of the parking lot at Rafael*

**Jorge De J. Rincón-Pérez**

Universidad Rafael Urdaneta. Decanato de Postgrado e Investigación. Especialización en Construcción de Obras Civiles, Mención Edificaciones. Maracaibo, Venezuela.

 <https://orcid.org/0009-0007-6656-8749> /Correo electrónico: [jorgejrincop01@gmail.com](mailto:jorgejrincop01@gmail.com)

**Carlos L. Espinoza-Suárez**

Universidad Rafael Urdaneta. Decanato de Postgrado e Investigación. Especialización en Construcción de Obras Civiles, Mención Edificaciones. Maracaibo, Venezuela.

 <https://orcid.org/0009-0001-3217-8327> /Correo electrónico: [c.l.espinoza.suarez@gmail.com](mailto:c.l.espinoza.suarez@gmail.com)

Recibido: 13/03/2023 Admitido: 21-03-2023 Aprobado: 29/05/2023

## Resumen

La investigación tuvo como objetivo proponer la corrección de pendientes para las áreas críticas del estacionamiento de la Universidad Rafael Urdaneta que garantice la conducción de las aguas pluviales hacia la implementación de sistemas de drenaje urbano. Para ello se seleccionó un diseño de fuente mixta por medio de la documentación del levantamiento topográfico de la unidad de estudio, así como la implementación de la Norma OS.060 de Drenaje Pluvial Urbano para la corrección de pendientes, y el uso de software como AutoCAD y Surfer para la modelación y diseño de la propuesta. Asimismo, se calcularon las áreas de corte y de relleno con la intersección de las secciones transversales de la propuesta y del terreno actual, para concluir con la obtención de los volúmenes de movimiento de tierra generados al corregir las pendientes de las zonas estudiadas.

**Palabras clave:** Pavimento, Pendientes, Levantamiento topográfico, Diseño, Drenaje pluvial urbano.

## Abstract

*The objective of the research was to propose the correction of slopes for the critical areas of the parking lot of the Rafael Urdaneta University that guarantees the conduction of rainwater towards the implementation of urban drainage systems. For this, a mixed source design was selected through the documentation of the topographic survey of the study unit, as well as the implementation of the OS.060 Urban Storm Drainage standard for slope correction, and the use of software such as AutoCAD. and Surfer for the modeling and design of the proposal. Likewise, the cut and fill areas were calculated with the intersection of the cross sections of the proposal and the current terrain, to conclude with obtaining the volumes of earthworks generated by correcting the slopes of the studied areas.*

**Keywords:** Pavement, Slopes, Topographic survey, Design, Urban storm drain

## Introducción

A nivel internacional, uno de los elementos vigentes necesarios para resolver la accesibilidad y movilidad urbana es la construcción de pavimentos, mantenerlo en buen estado es de suma importancia para garantizar la comodidad y seguridad de los usuarios, así como evitar sobrecostos de operación en el transporte de las personas y bienes.

Los criterios tradicionales para el diseño y construcción de los pavimentos usualmente se refieren a la accesibilidad y a la resistencia; sin embargo, en las áreas urbanas hay aspectos que no se han abordado suficientemente en el diseño, a pesar de que pueden ser de impacto significativo. Estableciendo que uno de estos aspectos es una adecuada conducción y evacuación del agua sobre el pavimento producto de las pendientes estandarizadas.

González [1] establece que, “en los pavimentos un elemento principal que causa problema es el agua, ya que provoca la disminución de la resistencia de los suelos, por lo que se presentan fallas en terraplenes, cortes y superficie de rodamientos”. Asimismo, CA&CCA [2] comenta que, “el exceso de agua provocado por lluvias o desbordamientos puede afectar negativamente a las propiedades geomecánicas, hidrostáticas y volumétricas del pavimento”. Por estas razones resulta necesario considerar aspectos de ingeniería para evitar estos problemas.

La topografía permite identificar de manera anticipada los posibles riesgos geotécnicos y topográficos del terreno. Al analizar la estabilidad del suelo, la pendiente y la posibilidad de inundaciones, se pueden tomar medidas preventivas para mitigar estos riesgos, evitando acumulaciones no deseadas, garantizando un mejor manejo del agua y asegurando que la construcción cumpla con las regulaciones locales, regionales y nacionales.

En algunas zonas urbanas de Venezuela, los pavimentos son realizados sin tomar en cuenta la importancia de las normas establecidas por los organismos encargados de velar que las mismas se cumplan para la recolección, conducción y disposición de las aguas pluviales, al no considerar aspectos topográficos que permitan un adecuado bombeo del agua hacia los sistemas de drenaje implementados en momentos de precipitaciones.

Uno de los sucesos ocurridos por fuertes lluvias aconteció en la tarde del 31 de octubre de 2022 en la ciudad de Maracaibo (estado Zulia), donde el gran caudal de agua causó la anegación de varias calles y avenidas; junto a ello, varios vehículos se dañaron por la fuerza de las aguas [3]. De igual manera, otro acontecimiento ocurrido fue la lluvia de la mañana del sábado 7 de noviembre de 2020, que causó deslaves en los cerros e inundó las vías y las casas aledañas a la Avenida El Milagro [4].

Estos hechos justifican la gran importancia de aplicar ciertas medidas y consideraciones al momento de diseñar un pavimento; y a su vez, de tomar en cuenta los aspectos topográficos para establecer las pendientes mínimas recomendadas para una buena conducción y desalojo de las aguas pluviales, considerando el aumento exponencial de la población.

Hoy en día, la Universidad Rafael Urdaneta no se escapa de esta situación, dado que al encontrarse en una zona de alta densidad poblacional por medio del desarrollo urbanístico, aumenta la probabilidad de generar grandes escorrentías al momento de las lluvias, sin posibilidad de infiltrar a la capa vegetal por su bajo nivel freático con respecto a la superficie.

La investigación realizada por González-Caraballo y Benítez [5] identificó que, en algunas zonas del pavimento del estacionamiento de vehículos de la Universidad Rafael Urdaneta se generan grandes encharcamientos e inundaciones que impiden la movilidad peatonal haciendo inutilizables algunos puestos de estacionamiento por la acumulación de láminas de agua debido a los aspectos topográficos de altimetría y desniveles del terreno; estos últimos generan pendientes que no permiten la conducción del agua hacia las áreas de drenajes. De igual forma, los autores recomendaron realizar la corrección de pendientes del pavimento antes de plantear cualquier solución con sistemas de drenaje.

Es de mencionar que, rediseñar un pavimento que cumpla con las pendientes establecidas radica en evaluar las condiciones existentes de la zona, así como garantizar el cumplimiento de las pendientes establecidas por las normativas estandarizadas que permitan una buena conducción y desalojo de las aguas de lluvia.

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue proponer la corrección de pendientes para las áreas críticas del estacionamiento de la Universidad Rafael Urdaneta, de manera que posteriormente se garantice la conducción de las aguas pluviales hacia los sistemas de drenaje urbano.

## Metodología

La investigación se clasificó de tipo proyectiva [6], ya que el objetivo general fue proponer la corrección de pendientes para las áreas críticas del estacionamiento de la Universidad Rafael Urdaneta para en estudios posteriores garantizar la conducción de las aguas pluviales hacia los sistemas de drenaje urbano. Para ello, la presente investigación se basó en describir las condiciones topográficas de la zona estudiada para determinar la dirección y los porcentajes de las pendientes de las áreas críticas del pavimento. Del mismo modo, se estableció el diseño del pavimento con las pendientes que debe cumplir según las especificaciones técnicas recomendadas de los sistemas de drenaje pluvial; para así, determinar los volúmenes de movimiento de tierra necesarios para corregir esas pendientes longitudinales y transversales.

De igual forma, esta investigación tiene una fase de diseño de fuente mixta, ya que la información se origina por fuentes documentales a través de la obtención de datos estudiados con anterioridad; así como también de normativas, de libros y de artículos científicos previamente existentes. De igual forma los datos se analizaron mediante fuentes virtuales a través de programas de diseño para la modelación y cálculo de datos necesarios para la realización de la propuesta planteada. Igualmente, la investigación se enmarca en el diseño contemporáneo transeccional, ya que la temporalidad de recolección de datos es ejecutada en el presente y en un momento único; además, es importante mencionar que se clasificó como una investigación de diseño univariable, ya que solo se estudia un único evento o variable de estudio [6].

Para la presente investigación se seleccionó un caso de estudio que se encuentra ubicado en la Universidad Rafael Urdaneta, en la ciudad de Maracaibo del Estado Zulia, donde se toma como unidad de estudio el pavimento de su estacionamiento, considerando aquellas áreas con características críticas para la obtención de datos y diseño de esta propuesta.

El pavimento del estacionamiento de la Universidad Rafael Urdaneta tiene dos áreas con características críticas, en las cuales se visualizan encharcamientos e inundaciones tras las fuertes precipitaciones pluviales. Estas áreas intervenidas fueron denominadas Zona 1 y Zona 2 para la presentación de todos los datos y parámetros estudiados en la presente investigación (Figura 1).

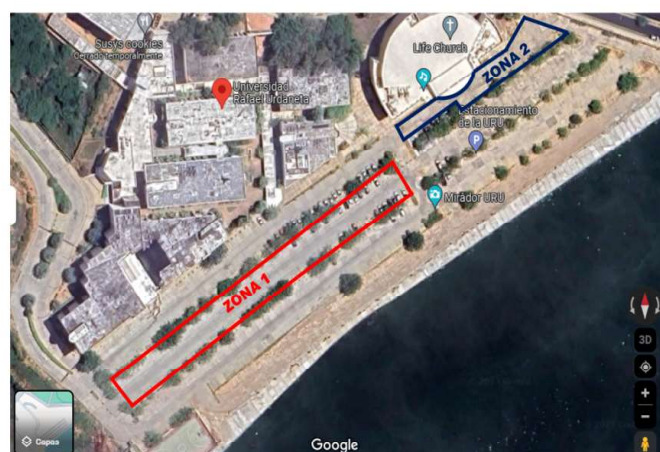


Figura 1. Áreas críticas del estacionamiento de la Universidad Rafael Urdaneta [7].

Para alcanzar el logro del objetivo principal de la investigación se estudiaron los criterios a considerar en la corrección de las pendientes en pavimentos existentes, ya que es una fase predominante para describir y analizar las propiedades de las variables que podrían intervenir en la propuesta. Dependiendo de estas variables y criterios adoptados, se obtiene una clara noción del funcionamiento de las pendientes que el pavimento debe tener en el transcurso de su vida útil.

Las características topográficas del terreno, la dirección y cumplimiento normativo de las pendientes longitudinales y transversales, así como el cálculo de los volúmenes del movimiento de tierra, son los principales criterios que intervienen en la corrección de las pendientes en los pavimentos existentes para una adecuada conducción de las aguas hacia los sistemas urbanos de drenaje, siendo estas las variables estudiadas y descritas para la propuesta de la presente investigación.

### Estudio topográfico

En el diseño y ejecución de cualquier proyecto de ingeniería de obras que tengan como asiento la superficie de la tierra, es necesario el uso de la topografía. En obras viales es fundamental, ya que define la posición y las formas circunstanciales del suelo, estudiando al detalle la superficie terrestre y todos los accidentes que en ella existan, sean naturales o debidos a la mano del hombre.

Para efectos de la presente investigación se utilizó como referencia los parámetros establecidos en la investigación desarrollada por González-Caraballo y Benítez [5], los cuales serán descritos para identificar las cuencas en las áreas críticas del estacionamiento de la Universidad Rafael Urdaneta.

La realización del levantamiento topográfico fue aplicado y evaluado en las áreas con características críticas de la Universidad Rafael Urdaneta (Figura 1), y se realizó planteando una serie de puntos definidos por las esquinas de cada uno de los paños del pavicreteo actual. Estos puntos pueden verse reflejados en la Figura 2. Se describieron todos los datos arrojados del levantamiento topográfico, para la definición de las alturas y distancias (cotas) actuales de cada uno de los puntos establecidos en el terreno, curvas de nivel y la caracterización del espacio en donde se aplica la propuesta planteada.

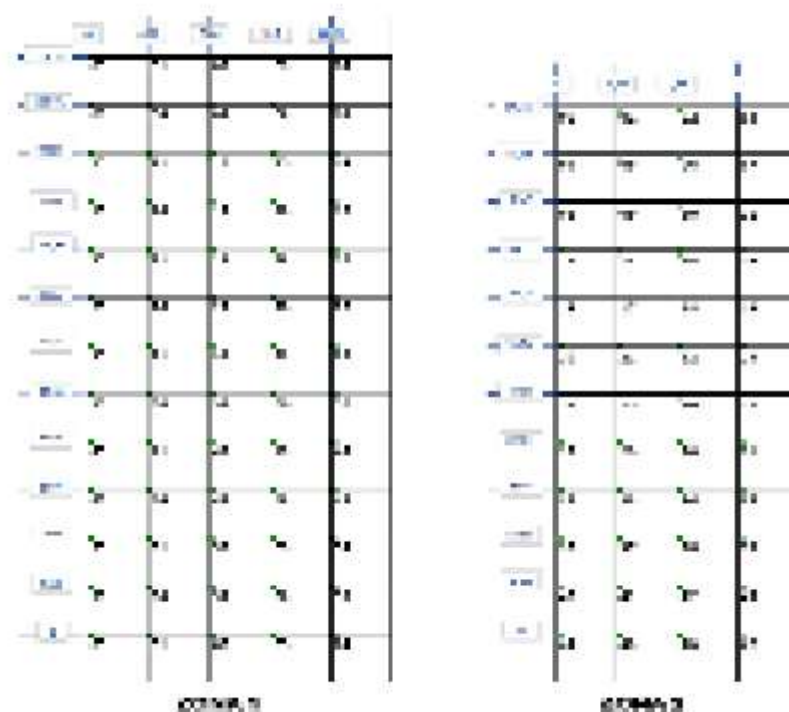


Figura 2. Distribución de puntos del levantamiento topográfico

## Pendientes longitudinales y transversales

Las pendientes longitudinales y transversales del pavimento juegan un papel de suma importancia que conjuntamente con el diseño geométrico influyen en garantizar la comodidad, la conducción y la eficiencia en el uso que se le da para los vehículos y para los usuarios que lo transitan.

En términos de hidráulica, un buen diseño de pendientes garantiza una buena orientación del caudal hacia los sistemas de drenaje implementados; por esta razón, para la presente investigación se realizó el cálculo de las pendientes entre cada uno de los puntos establecidos por el levantamiento topográfico, para observar si existe continuidad y cumplimiento normativo para el bombeo de agua hacia los sistemas de drenaje urbano.

Para el cálculo de estas pendientes se usó la ecuación de la recta punto-pendiente, la cual hace énfasis en la pendiente de la recta y un punto en esta (que no sea la ordenada al origen) [8].

$$y_2 - y_1 = m \times (x_2 - x_1) \rightarrow m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

$m$ , es la pendiente de la recta.

$y_2 - y_1$ , incremento de altura en el eje de las ordenadas.

$x_2 - x_1$ , incremento de distancia en el eje de las abscisas.

De igual manera, tomando como parámetros las características topográficas, la dirección y los porcentajes de pendientes longitudinales y transversales obtenidas del terreno actual; se rediseñó el pavimento haciendo una corrección de pendientes en las áreas críticas del estacionamiento a través de especificaciones normalizadas.

Para ello, se tomó en cuenta lo establecido en la Norma Técnica O.S.060 [9], la cual establece que para facilitar la concentración de agua que incide sobre el pavimento hacia los extremos o bordes de la calzada, las pendientes a considerar son las siguientes:

Pendientes longitudinales (SJ) > 0.5 %.

Pendientes transversales (ST) de 2% a 4%.

Para garantizar el cumplimiento de la Norma OS.060 [9], se procedió a calcular las elevaciones o las alturas que tendrían cada uno de los puntos establecidos en la Figura 2, considerando las pendientes propuestas para esta investigación. Estas elevaciones fueron calculadas mediante el despeje de la ecuación de la recta punto-pendiente.

$$y_2 - y_1 = m \times (x_2 - x_1) \rightarrow y_2 = (m \times (x_2 - x_1)) + y_1 \quad (\text{Ec. 2})$$

Para garantizar que la propuesta no afecte negativamente las condiciones de acceso de otras calles o espacios públicos, se calcularon las diferencias de altura entre los puntos que se encuentran en los laterales del pavimento, para así observar la modificación de la altura que se le debe realizar a los bordillos laterales, de tal forma que la circulación del agua no afecte las zonas adyacentes del pavimento. Los puntos laterales para cada una de las zonas se ven reflejados en la Figura 2 y se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 1. Puntos laterales de la Zona 1 y Zona 2**

PUNTOS LATERALES (PV)	Zona 1	0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5	5	6	6
		0	4	5	9	0	4	5	9	0	4	5	9	0	4	5	9	0	4	5	9	0	4	5	9	0	4
	Zona 2	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	4	4		
		0	3	4	7	8	1	2	5	6	9	0	3	4	7	8	1	2	5	6	9	0	3	4	7		

Las pendientes de cada uno de los tramos, así como las cotas del diseño del pavimento con pendientes corregidas, y las diferencias de altura para ambas zonas; serán presentadas y discutidas en los resultados de esta investigación.

### **Volúmenes de los movimientos de tierra**

Los volúmenes de tierra, son movimientos de tierra que se realizan de una parte de la superficie de la Tierra a otro, para poder crear una nueva forma y condición física deseada al menor costo posible.

Con el diseño del pavimento propuesto con pendientes corregidas para las áreas críticas del estacionamiento de la Universidad Rafael Urdaneta y los datos actuales de altimetría y planimetría del terreno, se procedió a calcular los volúmenes de los movimientos de tierra, y de esta manera, tener una visión clara de los volúmenes de corte y de relleno necesarios para ejecutar la propuesta.

Para medir las cantidades de los movimientos de tierra, primero se requiere del cálculo de las áreas en las secciones transversales. Esto se puede hacer mediante planímetros o a través de cálculos generados con programas virtuales. Para efectos de esta investigación, todas las áreas de las secciones transversales del pavimento actual interceptadas con el pavimento propuesto, se calcularon por medio del software de diseño AutoCAD.

Con las intersecciones realizadas en todas las secciones, se calcularon las áreas que se encuentran por encima del pavimento propuesto (áreas de corte) y las áreas que se encuentran por debajo del pavimento propuesto (áreas de relleno), las cuales fueron denominadas de la siguiente manera:

ACORTE: Área de Corte.

ARELLENO: Área de Relleno.

A partir de las áreas obtenidas se procedió a calcular los respectivos volúmenes. La distancia entre las secciones transversales depende de la precisión que se requiera en el cálculo de los volúmenes. Según el libro de Topografía de McCormac [10] “las secciones transversales se trazan a distancias de 50ft a 100ft (15 metros a 30 metros) en el caso de las carreteras o vías férreas”. Por consiguiente, para obtener resultados más precisos y equilibrados, las secciones transversales se trazaron a distancias de 20 metros para las superficies cuyas áreas adyacentes sean similares, y 10 metros para las superficies cuyas áreas adyacentes son diferentes.

El volumen de tierra generado entre dos o más secciones transversales forma un prismoide aproximado, siendo éste un cuerpo sólido que tiene caras o extremos paralelos y planos (o bases) y lados que son superficies planas. Existen dos métodos para la estimación de volumen de estos prismoides establecidos por McCormac [10]:

### **Método del promedio de áreas extremas.**

Método calculado con la fórmula del prismoide.

Debido a las diferencias que existen en algunas de las superficies del terreno actual entre las áreas adyacentes de las secciones transversales, se seleccionó el método con la fórmula del prismoide para el cálculo del volumen. La expresión fue desarrollada aplicando la regla de un tercio de Simpson para la determinación del volumen de estos cuerpos [10], como se muestra en la Figura 3:

$$V = \frac{L}{27} \left( \frac{A_1 + 4A_m + A_2}{6} \right) \quad (\text{Ec. 3})$$

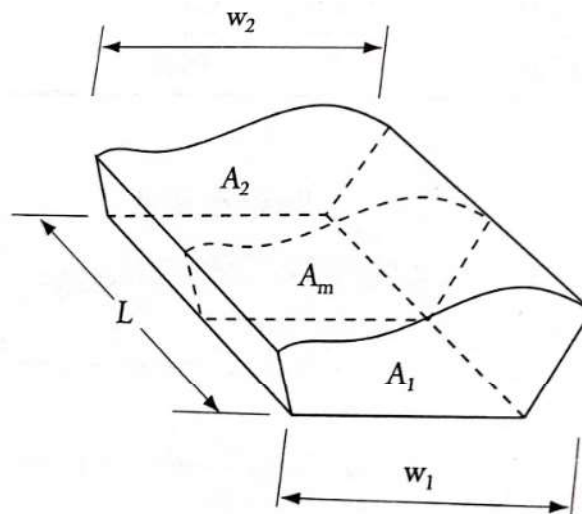
Donde:

$A_1$  y  $A_2$ , son las áreas de las secciones transversales en los extremos o bases del prismoide.

$A_m$ , es el área de la sección ubicada a la mitad entre los dos extremos.

$L$ , es la distancia entre las dos secciones transversales extremas.





**Figura 3. Representación del prismoide [10]**

Para establecer la superficie predeterminada y diseñada con las pendientes corregidas se calcularon dos tipos de volúmenes (corte y relleno), los cuales fueron denominados de la siguiente manera:

$V_{CORTE}$ : Volumen de Corte.

$V_{RELLENO}$ : Volumen de Relleno.

Considerando que el Volumen de Corte ( $V_{CORTE}$ ) sea aproximado al Volumen de Relleno ( $V_{RELLENO}$ ) para evitar sobrecostos de producción, operación y traslado de material movido.

### Resultados y discusión

Para la descripción de los datos topográficos de la propuesta de la presente investigación, se tomó como base los resultados del estudio realizado por González-Caraballo y Benítez [5].

#### Descripción de datos topográficos

Por medio del levantamiento topográfico realizado en la Zona 1 y Zona 2 (Figura 2), se obtuvieron las cotas de los ejes X, Y y Z presentados en las Tablas 2 y 3, para obtener la información detallada y precisa del terreno actual.

Es importante recalcar que las coordenadas del eje X fueron medidas a lo largo del eje este-oeste, las coordenadas del eje Y a lo largo del eje norte-sur, y para las coordenadas del eje Z se tomó la altura o elevación de los puntos estudiados, como se muestra en las Tablas 2 y 3.

**Tabla 2. Cotas de terreno de la Zona 1 del estacionamiento de Universidad Rafael Urdaneta [5]**

Pv	X	Y	Z	Pv	X	Y	Z	Pv	X	Y	Z
0	00.00	119.76	20.000	22	08.06	79.84	20.3	44	16.05	39.92	20.479
1	04.10	119.76	19.999	23	12.20	79.84	20.3	45	00.00	29.94	20.421
2	08.06	119.76	19.939	24	16.05	79.84	20.3	46	04.10	29.94	20.411
3	12.20	119.76	20.019	25	00.00	69.86	20.4	47	08.06	29.94	20.378

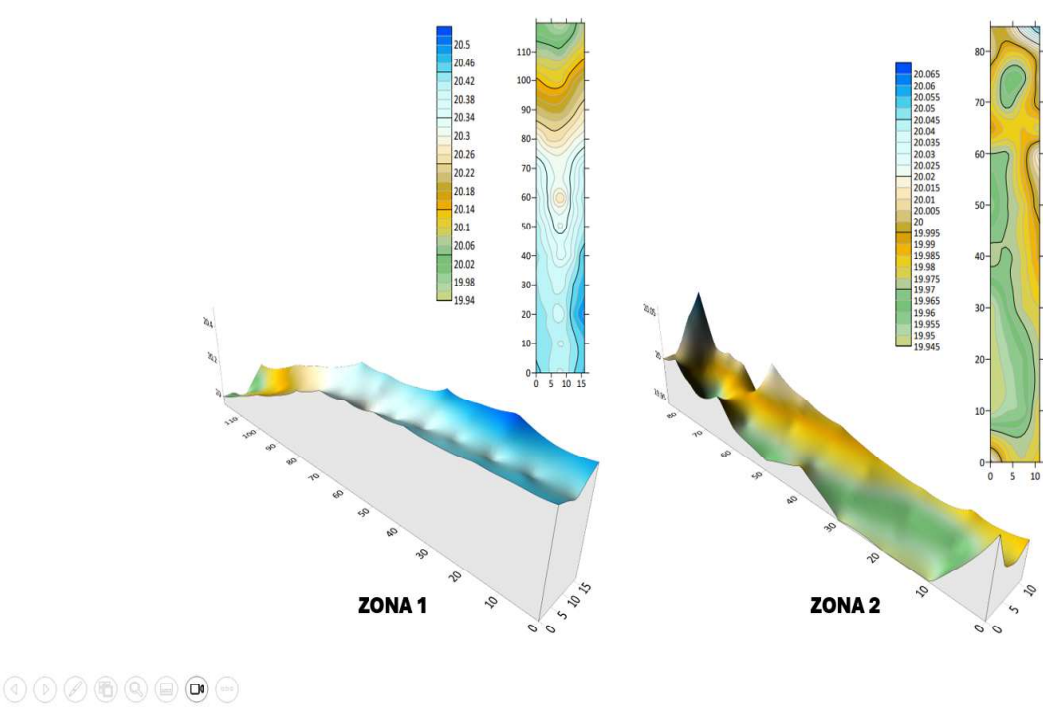
4	16.05	119.76	20.089	26	04.10	69.86	20.3	48	12.20	29.94	20.441
5	00.00	109.78	20.071	27	08.06	69.86	20.3	49	16.05	29.94	20.477
6	04.10	109.78	20.071	28	12.20	69.86	20.3	50	00.00	19.96	20.437
7	08.06	109.78	20.044	29	16.05	69.86	20.4	51	04.10	19.96	20.418
8	12.20	109.78	20.099	30	00.00	59.88	20.4	52	08.06	19.96	20.371
9	16.05	109.78	20.124	31	04.10	59.88	20.3	53	12.20	19.96	20.464
10	00.00	099.80	20.150	32	08.06	59.88	20.2	54	16.05	19.96	20.509
11	04.10	099.80	20.124	33	12.20	59.88	20.4	55	00.00	09.98	20.439
12	08.06	099.80	20.114	34	16.05	59.88	20.4	56	04.10	09.98	20.434
13	12.20	099.80	20.177	35	00.00	49.90	20.4	57	08.06	09.98	20.391
14	16.05	099.80	20.210	36	04.10	49.90	20.4	58	12.20	09.98	20.430
15	00.00	089.20	20.214	37	08.06	49.90	20.3	59	16.05	09.98	20.457
16	04.10	089.20	20.195	38	12.20	49.90	20.4	60	00.00	00.00	20.449
17	08.06	089.20	20.191	39	16.05	49.90	20.4	61	04.10	00.00	20.424
18	12.20	089.20	20.227	40	00.00	39.92	20.4	62	08.06	00.00	20.390
19	16.05	089.20	20.267	41	04.10	39.92	20.4	63	12.20	00.00	20.437
20	00.00	079.84	20.308	42	08.06	39.92	20.3	64	16.05	00.00	20.469
21	04.10	079.84	20.254	43	12.20	39.92	20.4				

Tabla 3. Cotas de terreno de la Zona 2 del estacionamiento de Universidad Rafael Urdaneta [5]

Pv	X	Y	Z	Pv	X	Y	Z	Pv	X	Y	Z
0	00.00	84.66	20.000	16	00.00	64.74	19.996	32	00.00	29.88	19.945
1	03.65	84.66	20.000	17	03.65	64.74	19.984	33	03.65	29.88	19.964
2	07.33	84.66	20.035	18	07.33	64.74	19.986	34	07.33	29.88	19.976
3	11.00	84.66	20.060	19	11.00	64.74	19.974	35	11.00	29.88	19.980
4	00.00	79.68	20.009	20	00.00	59.76	19.969	36	00.00	19.92	19.945
5	03.65	79.68	19.968	21	03.65	59.76	19.967	37	03.65	19.92	19.954
6	07.33	79.68	19.986	22	07.33	59.76	19.989	38	07.33	19.92	19.960
7	11.00	79.68	20.004	23	11.00	59.76	20.020	39	11.00	19.92	19.976

8	00.00	74.70	19.990	24	00.00	49.80	19.957	40	00.00	09.96	19.946
9	03.65	74.70	19.960	25	03.65	49.80	19.970	41	03.65	09.96	19.955
10	07.33	74.70	19.963	26	07.33	49.80	19.977	42	07.33	09.96	19.956
11	11.00	74.70	20.006	27	11.00	49.80	19.997	43	11.00	09.96	19.983
12	00.00	69.72	19.983	28	00.00	39.84	19.976	44	00.00	00.00	20.024
13	03.65	69.72	19.964	29	03.65	39.84	19.967	45	03.65	00.00	19.983
14	07.33	69.72	19.984	30	07.33	39.84	19.977	46	07.33	00.00	19.975
15	11.00	69.72	20.002	31	11.00	39.84	19.993	47	11.00	00.00	19.985

Estas cotas fueron ingresadas al software Surfer para la visualización en 3D, la creación de isolíneas, y el modelado de las superficies de las zonas estudiadas (Figura 4).



**Figura 4. Modelación en 3D y curvas de nivel de las Zonas 1 y 2 del estacionamiento de la Universidad Rafael Urdaneta**

Por medio de las cotas obtenidas y la modelación en 3D de las zonas críticas, se puede observar que en la Zona 1 los puntos con menor altura en el eje transversal del pavimento se encuentran justo en el centro del mismo, ocasionando inundación y encharcamiento en el área central, generando un contrapendiente transversal para un diseño óptimo y normativo de un pavimento. Del mismo modo, se observa que los puntos de altura en el eje longitudinal van en descenso a medida que se avanza en la medición, por lo que existe una pendiente longitudinal que resulta beneficiosa al momento de corregir las pendientes.

Por otra parte, los puntos con menor altura en la Zona 2, tanto en el eje transversal como en el eje longitudinal se encuentran distribuidos en toda el área del pavimento, produciendo encharcamientos e

inundaciones en diferentes sitios de la zona. Además, no se observa una pendiente definida, por lo que resulta necesario realizar su corrección.

A continuación, se presenta de forma general la caracterización de las zonas estudiadas (Tabla 4):

**Tabla 4. Caracterización de la Zona 1 y Zona 2 [5]**

Zona	Área (m <sup>2</sup> )	Longitud (m)	Elevación (msnm)	
1	1992,148	119,76	Máxima	20,509
			Mínima	19,939
2	931,260	84,66	Máxima	20,06
			Mínima	19,945

### Cálculo de pendientes

Una vez definidas las cotas del terreno de las zonas estudiadas (Tabla 2 y Tabla 3), se realizó el cálculo de las pendientes entre cada uno de los puntos establecidos en el levantamiento topográfico (Figura 2). Estos resultados se visualizan en la Figura 5, los cuales fueron calculados por medio de la ecuación de la recta punto-pendiente. Es importante recalcar que las flechas indican la dirección de la pendiente y, por ende, indican la dirección hacia donde se dirige el flujo de las precipitaciones.



**Figura 5. Pendientes entre puntos de las Zonas 1 y 2 [5]**

A simple vista se observa que existe discontinuidad entre las pendientes, e incluso hay tramos entre los puntos que no tienen pendiente. Asimismo, se determinó que algunos de los valores obtenidos estuvieron fuera de lo establecido por la Norma OS.060 [9], visualizándose tramos en los que la dirección de las pendientes se encuentra invertida, formando así un contrapendiente en el pavimento, resultando imposible drenar el flujo hacia los bordes laterales del pavimento.

Corrección de pendientes

Tomando como premisa lo establecido en la Norma OS.060 [9] para garantizar una buena orientación de caudal hacia la implementación posterior de los sistemas de drenaje, se propusieron las pendientes presentadas en la Tabla 5 para el diseño y corrección en cada una de las zonas.

Tabla 5. Pendientes propuestas para la Zona 1 y Zona 2

Porcentaje de pendientes		
Eje	Zona 1	Zona 2
Longitudinal (a lo largo de todo el pavimento)	0,60%	0,50%
Transversal (del eje central al borde del pavimento)	2,50%	2%

Considerando las elevaciones obtenidas en cada uno de los puntos y las pendientes propuestas para su respectiva corrección, se diseñó el pavimento como se muestra en la Figura 6. De igual forma, se obtuvieron las cotas del pavimento propuesto para cada una de las zonas críticas, como se presenta en las Tablas 6 y 7.

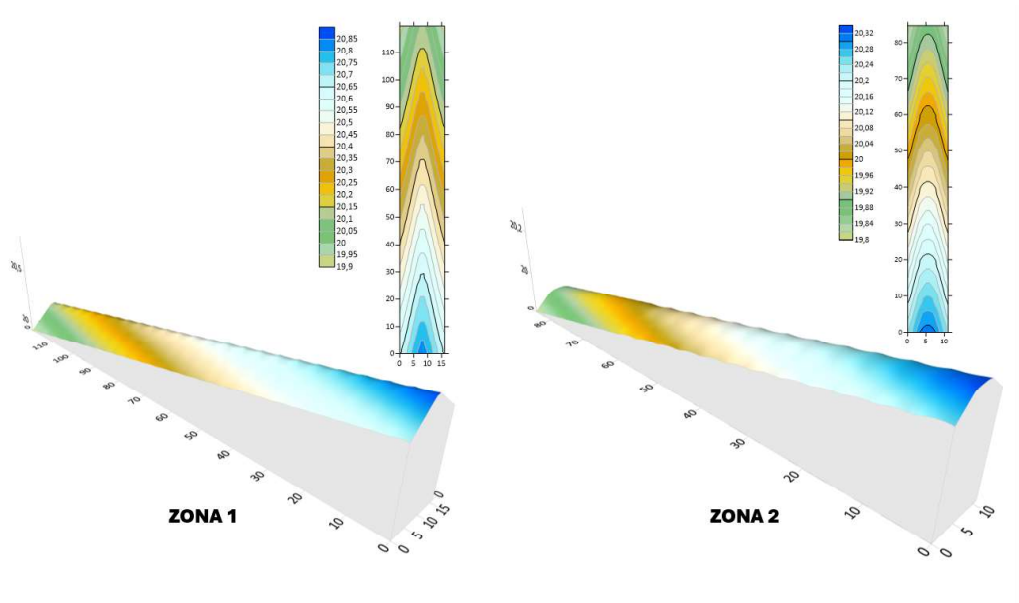


Figura 6. Diseño del pavimento con pendientes corregidas

Tabla 6  
Cotas del pavimento diseñado para la Zona 1

Pv	X	Y	Z	Pv	X	Y	Z	Pv	X	Y	Z
0	00.00	119.76	19.919	22	08.06	79.84	20.360	44	16.05	39.92	20.400
1	04.10	119.76	20.021	23	12.20	79.84	20.257	45	00.00	29.94	20.459
2	08.06	119.76	20.120	24	16.05	79.84	20.160	46	04.10	29.94	20.561
3	12.20	119.76	220.017	25	00.00	69.86	20.219	47	08.06	29.94	20.660
4	16.05	119.76	19.920	26	04.10	69.86	20.321	48	12.20	29.94	20.557
5	00.00	109.78	19.979	27	08.06	69.86	20.420	49	16.05	29.94	20.460
6	04.10	109.78	20.081	28	12.20	69.86	20.317	50	00.00	19.96	20.519
7	08.06	109.78	20.180	29	16.05	69.86	20.220	51	04.10	19.96	20.621
8	12.20	109.78	20.077	30	00.00	59.88	20.279	52	08.06	19.96	20.729
9	16.05	109.78	19.980	31	04.10	59.88	20.381	53	12.20	19.96	20.617
10	00.00	099.80	20.039	32	08.06	59.88	20.480	54	16.05	19.96	20.520
11	04.10	099.80	20.141	33	12.20	59.88	20.377	55	00.00	09.98	20.579
12	08.06	099.80	20.240	34	16.05	59.88	20.280	56	04.10	09.98	20.681
13	12.20	099.80	20.137	35	00.00	49.90	20.339	57	08.06	09.98	20.780
14	16.05	099.80	20.040	36	04.10	49.90	20.441	58	12.20	09.98	20.677
15	00.00	089.20	20.099	37	08.06	49.90	20.540	59	16.05	09.98	20.580
16	04.10	089.20	20.201	38	12.20	49.90	20.437	60	00.00	00.00	20.639
17	08.06	089.20	20.300	39	16.05	49.90	20.340	61	04.10	00.00	20.741
18	12.20	089.20	20.197	40	00.00	39.92	20.399	62	08.06	00.00	20.840
19	16.05	089.20	20.100	41	04.10	39.92	20.501	63	12.20	00.00	20.737
20	00.00	079.84	20.159	42	08.06	39.92	20.600	64	16.05	00.00	20.740
21	04.10	079.84	20.261	43	12.20	39.92	20.497				

**Tabla 7. Cotas del pavimento diseñado para la Zona 2**

Pv	X	Y	Z	Pv	X	Y	Z	Pv	X	Y	Z
0	00.00	84.66	19.807	16	00.00	64.74	19.9070	32	00.00	29.88	20.082
1	03.65	84.66	19.880	17	03.65	64.74	19.9800	33	03.65	29.88	20.155
2	07.33	84.66	19.880	18	07.33	64.74	19.9800	34	07.33	29.88	20.155
3	11.00	84.66	19.806	19	11.00	64.74	19.9060	35	11.00	29.88	20.081
4	00.00	79.68	19.832	20	00.00	59.76	19.9320	36	00.00	19.92	20.132
5	03.65	79.68	19.905	21	03.65	59.76	20.0050	37	03.65	19.92	20.205
6	07.33	79.68	19.905	22	07.33	59.76	20.0050	38	07.33	19.92	20.205
7	11.00	79.68	19.831	23	11.00	59.76	19.8310	39	11.00	19.92	20.131
8	00.00	74.70	19.857	24	00.00	49.80	19.8820	40	00.00	09.96	20.182
9	03.65	74.70	19.930	25	03.65	49.80	20.0550	41	03.65	09.96	20.255
10	07.33	74.70	19.930	26	07.33	49.80	20.0550	42	07.33	09.96	20.255
11	11.00	74.70	19.856	27	11.00	49.80	19.9810	43	11.00	09.96	20.181
12	00.00	69.72	19.882	28	00.00	39.84	20.0320	44	00.00	00.00	20.232
13	03.65	69.72	19.955	29	03.65	39.84	20.1050	45	03.65	00.00	20.305
14	07.33	69.72	19.955	30	07.33	39.84	20.1050	46	07.33	00.00	20.305
15	11.00	69.72	19.881	31	11.00	39.84	20.0310	47	11.00	00.00	20.231

Al comparar los puntos laterales establecidos en la Tabla 1, se calcularon las diferencias de alturas para la Zona 1 con las cotas del pavimento actual (Tabla 2) y las cotas del pavimento propuesto (Tabla 6). Asimismo, se calcularon las diferencias de alturas para la Zona 2 con las cotas del pavimento actual (Tabla 3) y las cotas del pavimento propuesto (Tabla 7). Estos resultados se resumen en la Tabla 8.

Es importante mencionar que las diferencias de alturas que resultaron positivas (+) fueron aquellas que se les tendría que añadir a los puntos del pavimento actual. Del mismo modo, aquellas diferencias que resultaron negativas (-) fueron las alturas que se les tendría que disminuir a los puntos del pavimento actual para que se cumplan el diseño de la propuesta planteada.

Si se visualiza con más detalle la Tabla 8, se puede observar que para la Zona 1 se tendría que aumentar como máximo una altura de 18,95 cm correspondiente al punto pv(60) y se tendría que disminuir como máximo una altura de 18,98 cm correspondiente al punto pv(29). Mientras que, en la Zona 2 se tendría que aumentar como máximo una altura de 32,50 cm correspondiente al punto pv(47), y se tendría que disminuir como máximo una altura de 42,00 cm correspondiente al punto pv(00).

Los valores obtenidos denotan la importancia en el diseño y corrección de pendientes, porque si no se corrigen pueden afectar directamente a las estructuras y obras públicas adyacentes. Igualmente, permiten saber en qué puntos se generarán mayores movimientos de tierra para poder ejecutar la propuesta.



**Tabla 8. Diferencias de alturas en los puntos laterales entre el pavimento actual y el pavimento corregido de la Zona 1 y la Zona 2**

DIFERENCIAS DE ALTURA					
ZONA 1			ZONA 2		
Pv	diferencia (m)	diferencia (cm)	Pv	diferencia (m)	diferencia (cm)
0	-0.081	-8.15	0	-0.42	-42
4	-0.169	-16.87	3	-0.26	-26
5	-0.093	-9.25	4	-0.399	-39.9
9	-0.144	-14.38	7	-0.174	-17.4
10	-0.111	-11.15	8	-0.35	-35
14	-0.17	-16.98	11	-0.146	-14.6
15	-0.116	-11.55	12	-0.313	-31.3
19	-0.167	-16.68	15	-0.112	-11.2
20	-0.15	-14.95	16	-0.296	-29.6
24	-0.161	-16.08	19	-0.054	-5.4
25	-0.16	-15.95	20	-0.239	-23.9
29	-0.19	-18.98	23	-0.07	-7
30	-0.119	-11.85	24	-0.169	-16.9
34	-0.13	-12.98	27	0.013	1.3
35	-0.076	-7.55	28	-0.126	-12.6
39	-0.078	-7.78	31	0.077	7.7
40	-0.029	-2.85	32	-0.035	-3.5
44	-0.079	-7.88	35	0.15	15
45	-0.037	-3.75	36	0.025	2.5
49	-0.017	-1.68	39	0.214	21.4
50	0.081	8.15	40	0.084	8.4
54	0.011	1.12	43	0.267	26.7
55	0.139	13.95	44	0.066	6.6
59	0.123	12.32	47	0.325	32.5

60	0.189	18.95			
64	0.171	17.12			

Cálculo de volúmenes de movimiento de tierra

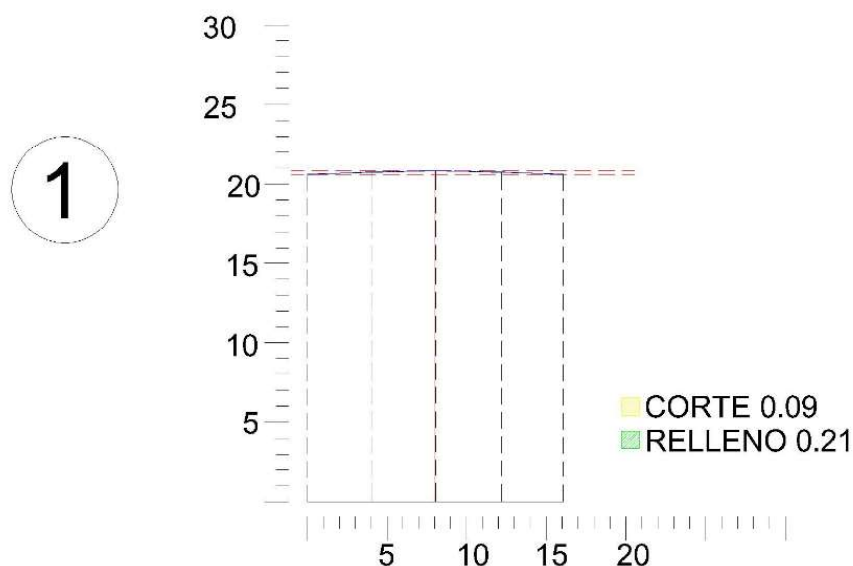
Para la obtención de los volúmenes de movimiento de tierra fue necesario seccionar transversalmente el pavimento propuesto y el pavimento actual para obtener las áreas de corte y de relleno al interceptar ambas secciones (Figura 7).



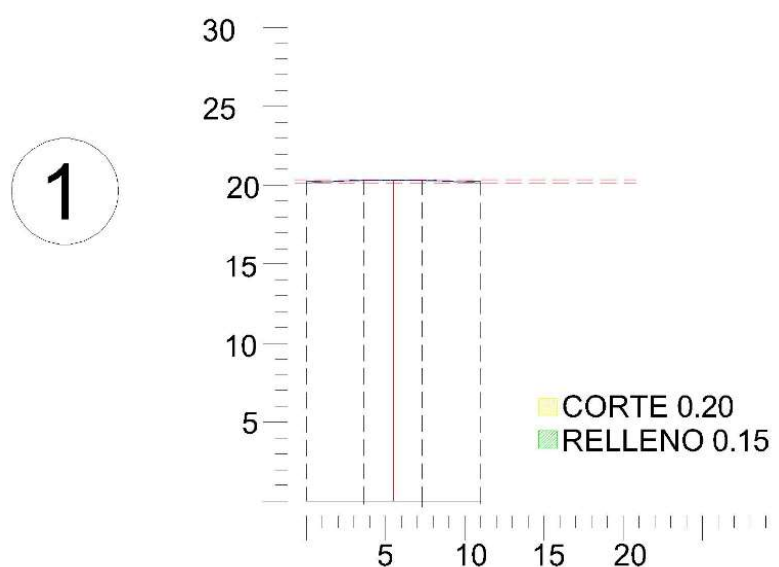
Figura 7. Seccionamiento transversal en la Zona 1 y Zona 2

Debido a que la ecuación del prismoide utiliza una sección intermedia promedio entre dos secciones, estas se trazaron a distancias de 10 metros para áreas adyacentes similares, y 5 metros para áreas adyacentes diferentes, siendo estas aproximadas a las distancias utilizadas para la ejecución del levantamiento topográfico; por lo que, se seccionó en cada uno de los puntos establecidos por dicho levantamiento.

Adicionalmente, tomando en cuenta las cotas del pavimento actual (Tablas 2 y 3) y del pavimento diseñado (Tablas 6 y 7), se realizó la intersección de las secciones transversales entre ambos pavimentos. En las Figuras 8 y 9 se puede observar un ejemplo de la intersección realizada entre la sección transversal 1 del pavimento actual y el pavimento propuesto.



**Figura 8. Proceso de intersección entre secciones transversales de la Zona 1 para el cálculo de áreas**



**Figura 9. Proceso de intersección entre secciones transversales de la Zona 2 para el cálculo de áreas**

Con las intersecciones realizadas en todas las secciones, se calcularon las áreas de corte y relleno que se presentan en la Tabla 9 (Zona 1) y Tabla 10 (Zona 2); además, se observan las longitudes entre las secciones tranversales las cuales permitieron obtener los metros cúbicos de volúmenes de corte y de relleno calculados mediante la ecuación del prismoide.

De igual manera, se puede observar en la Tabla 9 que para la Zona 1 se obtuvo un volumen total de corte de 0,95 y un volumen total de relleno de 1,47; mientras que, en la Tabla 10 se puede observar que para la Zona 2 se obtuvo un volumen total de corte de 0,67 y un volumen total de relleno de 0,39.

Tabla 9. Volúmenes de movimientos de tierra para la Zona 1

ZONA 1					
Sección Transversal	Longitud (m)				
1.00	19.96	0.09	0.21	0.11	0.14
2.00		0.10	0.2		
3.00		0.39	0.09		
4.00	19.96	0.09	0.28	0.21	0.2
5.00		0.93	0.41		
6.00	19.96	0.10	1.05	0.18	0.59
7.00		0.10	0.16		
8.00	19.96	0.73	0.02	0.38	0.08
9.00		0.05	0.42		
10.00	19.96	0.10	0.11	0.07	0.13
11.00		0.10	0.2		
12.00	19.96	0.00	0.49	0.01	0.33
13.00		0.00	0.53		
SUMATORIA	119.76	2.79	4.17	0.95	1.47

**Tabla 10. Volúmenes de movimientos de tierra para la Zona 2**

ZONA 2					
Sección Transversal	Longitud (m)				
1.00	19.92	0.20	0.15	0.15	0.1
2.00		0.20	0.13		
3.00	19.92	0.20	0.13	0.15	0.1
4.00		0.20	0.114		
5.00		0.20	0.14		
6.00	19.92	0.18	0.13	0.14	0.1
7.00		0.24	0.14		
8.00	9.96	0.24	0.07	0.09	0.03
9.00		0.20	0.14		
10.00	9.96	0.32	0.09	0.1	0.04
11.00		0.20	0.14		
12.00	4.98	0.28	0.1	0.04	0.02
SUMATORIA	84.66	2.66	1.5	0.67	0.39

En caso de ejecutar la propuesta planteada en ambas zonas se tendrá que cortar un volumen total de 1,62m<sup>3</sup>; del mismo modo, éste se tendrá que rellenar con un volumen total de 1,86m<sup>3</sup>. El volumen de corte es aproximado al volumen de relleno, por lo cual, si se reutiliza este volumen de corte se tendría que buscar un volumen de tierra adicional de 0,24m<sup>3</sup> para el relleno, para cumplir con las exigencias de la propuesta.

## Conclusiones

Se estudiaron todos los factores topográficos de las zonas con características críticas, donde se observó que en la Zona 1 los puntos con menor altura se encuentran justo en el centro del pavimento y en la Zona 2 se encuentran dispersos en toda el área del pavimento, generando así los encharcamientos e inundaciones en épocas de lluvia.

Para la corrección de pendientes se estableció los parámetros presentados por la norma OS.060 de Drenaje Pluvial Urbano para garantizar la conducción y bombeo del agua a través de las pendientes estandarizadas; ya que, al calcular las pendientes longitudinales y transversales entre cada uno de los puntos en ambas zonas se observó que en algunos tramos existe un contrapendiente, en otros no existe y otros no cumplen con lo establecido en la normativa. Se propone para la Zona 1 una pendiente longitudinal del 0,6% y una transversal del 2,5%, y para la Zona 2 una pendiente longitudinal del 0,5% y una transversal del 2%, garantizando que no existan diferencias apreciables de altura entre el pavimento actual y el corregido.

Al evaluar los puntos laterales del pavimento para evitar el acceso del agua hacia las zonas adyacentes se observaron diferencias de alturas que se deben corregir entre el pavimento actual y el pavimento propuesto con pendientes corregidas. De tal manera, que para la Zona 1 se debe aumentar como máximo una altura de

18,95cm y se tendría que disminuir como máximo una altura de 18,98 cm; mientras que, en la Zona 2 se tendría que aumentar como máximo una altura de 32,50cm y se tendría que disminuir como máximo una altura de 42,00 cm.

Los volúmenes de movimientos de tierra fueron calculados a partir de las áreas de las secciones transversales por medio de la intersección del pavimento actual con el propuesto, obteniendo para la Zona 1 un área de corte total de 2,79m<sup>2</sup> y un área de relleno total de 4,17m<sup>2</sup>. Asimismo para la Zona 2 se obtuvo un área de corte total de 2,66m<sup>2</sup> y un área de relleno total de 1,50m<sup>2</sup>.

Aplicando la ecuación del prismoide se obtuvieron volúmenes de movimientos de tierra, resultando para la Zona 1 un volumen total de corte de 0,95m<sup>3</sup> y un volumen total de relleno de 1,47m<sup>3</sup>, y para la Zona 2 se obtuvo un volumen total de corte de 0,67m<sup>3</sup> y un volumen total de relleno de 0,39m<sup>3</sup>. Se concluye, que el volumen de corte es aproximado al volumen de relleno, por lo tanto, éste se podría reutilizar y sólo se tendría que requerir de 0,24m<sup>3</sup> para cumplir con las exigencias de la propuesta.

### Referencias bibliográficas

- [1] R. González, “Importancia de la topografía en los proyectos de drenaje transversal para carreteras en la República Mexicana”, Tesis de Grado, Univ. Autón. México, Ciudad Universitaria, Ciudad de México, México, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000789345/3/0789345.pdf>
- [2] CA&CCA, Ingeniería. “Cuándo son necesarias las obras de drenaje y cómo acometerlas”. ccaycca.com. Paseo Ruzafa, Valencia, Uruguay, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.caycca.com/lander>
- [3] Diario Tal Cual, “Varias calles de Maracaibo se anegaron por lluvias sorprendentes registradas el #31Oct”. talcualdigital.com. (Noviembre 1, 2022). Disponible en: <https://talcualdigital.com/varias-calles-de-maracaibo-se-anegaron-por-lluvias-sorpresivas-registradas-el-31oct/>
- [4] El Nacional, “Deslaves, inundaciones y desalojos preventivos en la avenida El Milagro de Maracaibo”. Inacional.com. (Noviembre 7, 2020). Disponible en: <https://www.elnacional.com/venezuela/deslaves-inundaciones-y-desalojos-preventivos-en-la-avenida-el-milagro-de-maracaibo/>
- [5] F. González-Caraballo., R. Benítez, “Propuesta de diseño de sistema urbano de drenaje sostenible para la Universidad Rafael Urdaneta”. Trabajo Especial de Grado. Univ. Rafael Urdaneta, Maracaibo, Venezuela. 2022.
- [6] J. Hurtado, *Metodología de la investigación Holística*. 4ta edición. Caracas, Venezuela: Quiron Ediciones. 2010. [En línea]. Disponible en: <https://ayudacontextos.wordpress.com/wp-content/uploads/2018/04/jacqueline-hurtado-de-barrera-metodologia-de-investigacion-holistica.pdf>
- [7] Google Maps (s.f). Mapa del estacionamiento de la Universidad Rafael Urdaneta. Maracaibo, Venezuela. Disponible en: <https://mapcarta.com/es/28836214>
- [8] C. Lehmann, *Geometría Analítica*. 13er edición. Editorial Limusa. México, D.F., 1989. [En línea]. Disponible en: [https://www.cimat.mx/ciencia\\_para\\_jovenes/bachillerato/libros/\[Lehmann\]GeometriaAnalitica.pdf](https://www.cimat.mx/ciencia_para_jovenes/bachillerato/libros/[Lehmann]GeometriaAnalitica.pdf)
- [9] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, Drenaje Pluvial Urbano Norma Técnica O.S. 060. [En línea]. Disponible en: [https://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas\\_Legales/saneamiento/OS.060.pdf](https://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas_Legales/saneamiento/OS.060.pdf)
- [10] J. McCormac, *Topografía*. 7ta edición. México: Editorial Limusa Wiley. 2014. [En línea]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/slideshow/topografia-mc-cormac/50169440>






# Implementación de carreteras piezoeléctricas en la ciudad de Maracaibo como fuente de energía sostenible

*Implementation of piezoelectric roads in the city of Maracaibo as a source of sustainable energy*

**Paola I. González-Arias**

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

 <https://orcid.org.0009-0006-9129-6020> | Correo electrónico: [paolaisabel.gonzalez@gmail.com](mailto:paolaisabel.gonzalez@gmail.com)

Recibido:12-07-2024 Admitido:21-07-2024 Aprobado:01-08-2024

## Resumen

La ciudad de Maracaibo enfrenta actualmente temperaturas ambientales bastante altas, exacerbadas por su ubicación geográfica y condiciones climáticas. Estas temperaturas pueden causar estrés térmico en los habitantes. Además, contribuyen al fenómeno de isla de calor urbano. Para disminuir la temperatura ambiental de la ciudad, se propone la implementación de carreteras piezoeléctricas, donde la energía mecánica generada por la vibración de los automóviles, se transforma en energía eléctrica. Representan una forma innovadora de capturar energía de manera limpia y sostenible desde una fuente renovable.

**Palabras clave:** Carretera piezoeléctrica, sostenibilidad, cambio climático.

## Abstract

*The city of Maracaibo is currently facing quite high ambient temperatures, exacerbated by its geographical location and climatic conditions. These temperatures can cause thermal stress in inhabitants. In addition, they contribute to the urban heat island phenomenon. To reduce the ambient temperature of the city, the implementation of piezoelectric roads is proposed, where the mechanical energy generated by the vibration of automobiles is transformed into electrical energy. They represent an innovative way to capture energy in a clean and sustainable way from a renewable source.*

**Keywords:** Piezoelectric highway, sustainability, climate change

## Planteamiento del problema

En la ciudad de Maracaibo, la temperatura ambiental a menudo supera los 35 °C durante gran parte del año, lo cual presenta preocupación constante para sus habitantes. El calor extremo tiene múltiples implicaciones negativas para la salud pública, el bienestar humano y el medio ambiente local. En términos de salud, puede aumentar el riesgo de golpes de calor, deshidratación y problemas respiratorios. Además, las altas temperaturas también afectan la calidad del aire, promoviendo la contaminación atmosférica y aumentando la concentración de gases contaminantes.

Maracaibo está ubicado geográficamente dentro de una región tropical, lo que contribuye a recibir una intensa radiación solar durante todo el año. Esta radiación se ve amplificada por la topografía plana y la presencia del Lago de Maracaibo, que actúa como una fuente adicional de calor debido a su capacidad para acumular y liberar energía térmica. Además, el efecto invernadero urbano juega un papel crucial. Este fenómeno se produce cuando las superficies urbanas como edificios, carreteras y otras estructuras absorben y luego liberan calor, elevando las temperaturas locales por encima de las áreas circundantes menos urbanizadas.

La búsqueda de soluciones para mitigar estas altas temperaturas se ha convertido en una prioridad, de lo contrario se verán afectados factores como la salud pública, el consumo energético y la calidad del aire. Uno de los objetivos concretos que se ha planteado es reducir la temperatura ambiental en al menos 2°C. Para cumplir con este desafío, se propone la implementación de carreteras piezoeléctricas en las calles o avenidas más concurridas de la ciudad de Maracaibo, las cuales tendrán la capacidad de recolectar la energía mecánica

generada por la vibración del tránsito de los automóviles y transformarla en electricidad, teniendo así una fuente de energía sostenible.

Las carreteras piezoeléctricas son una innovación tecnológica en infraestructura vial que utiliza materiales piezoeléctricos para generar electricidad a partir del movimiento de los vehículos que circulan sobre ellas. Estos dispositivos, “se sitúan incrustados en el pavimento, por lo que la funcionalidad de las carreteras se ve inalterada” [1, Pág. 3]. Las carreteras construidas con materiales piezoeléctricos podrían utilizar la energía generada para iluminar las calles, alimentar semáforos o cualquier tipo de sensores y potencialmente incluso para cargar coches [2].

La energía eléctrica convencional usada en el planeta ha producido, el desgaste de los recursos naturales, la variación de la temperatura, y esto ha originado diferentes desastres naturales, que han afectado en diferentes proporciones los lugares impactados [3]. En este sentido, la energía eléctrica generada a partir del material piezoeléctrico en las carreteras, es considerada energía sostenible. Existen algunos materiales con estructura cristalina, que cuando se les aplica una tensión mecánica, se produce un desplazamiento de las cargas negativas y positivas, lo que provoca un potencial de tensión. La piezoelectricidad se basa en la propiedad que tienen ciertos cristales de polarizar eléctricamente sus diodos cuando se aplica una tensión mecánica o eléctrica de esta forma el material, una vez deformado, produce energía eléctrica [4].

Según Jian-Qiao, S., Tian-Bing, X. y Atousa Y. [5]: Piezoelectric technologies provide the opportunity to harvest energy where stress or vibration is generated and have the advantages of high-power density, simplicity, and scalability for a variety of applications. Heavy traffic of ground vehicles and pedestrians on highways, streets, and sidewalks provides considerable mechanical energy. Harvesting this energy can increase distributed renewable energy capacity.

A raíz de los aspectos mencionados anteriormente, es de vital importancia la búsqueda de alternativas innovadoras que permitan reducir las altas temperaturas ambientales de la ciudad de Maracaibo. Esta propuesta se distingue por su enfoque innovador donde los materiales piezoeléctricos convierten la energía mecánica en electricidad aprovechable. Este enfoque no solo permite capturar energía renovable de manera continua y directamente desde el tráfico vehicular, sino que también se integra fácilmente con la infraestructura existente sin necesidad de ocupar espacio adicional.

### **Justificación**

Es conocido que la ciudad de Maracaibo enfrenta actualmente un desafío significativo debido a las elevadas temperaturas ambientales que impactan negativamente en la calidad de vida de sus habitantes. Además, este fenómeno incide en el consumo energético, ya que el uso extendido de sistemas de refrigeración y aire acondicionado para contrarrestar el calor eleva la demanda eléctrica, contribuyendo a mayores emisiones de gases de efecto invernadero y aumentando el costo energético para los ciudadanos.

Con el objetivo de abordar este problema de manera innovadora y sostenible, se propone la implementación de carreteras piezoeléctricas en las avenidas más concurridas de Maracaibo. Este sistema permite convertir la energía en electricidad utilizable, la cual podría ser integrada a la red eléctrica urbana como una fuente adicional de energía limpia y renovable.

La adopción de carreteras piezoeléctricas en la ciudad de Maracaibo no solo contribuirá a la reducción de las temperaturas ambientales al mitigar parte del impacto térmico generado por la infraestructura urbana y el tráfico vehicular, sino que también promoverá la autosuficiencia energética local y la reducción de la huella de carbono de la ciudad. La principal ventaja radica en la generación de energía renovable directamente desde el tráfico vehicular, reduciendo así la dependencia de fuentes de energía no renovables como los combustibles fósiles. Además, esta tecnología representa una inversión a largo plazo en infraestructura verde, fomentando un desarrollo urbano más sostenible y resiliente frente a los efectos del cambio climático.

### **Objetivos de la investigación**

A continuación, se presenta el objetivo general y los objetivos específicos de la investigación:

## **Objetivo general**

Proponer la implementación de carreteras piezoeléctricas en la ciudad de Maracaibo para la recolección de energía eléctrica como fuente de energía sostenible.

## **Objetivos específicos**

Desarrollar un sistema de recolección de energía piezoeléctrica aplicable a las carreteras de la ciudad de Maracaibo.

Demostrar la efectividad del sistema de recolección de energía piezoeléctrica para lograr una alta densidad de recolección de electricidad por unidad de longitud de la carretera.

## **Metodología**

### **1. Selección de las baldosas piezoeléctricas**

Se requiere que el sistema de recolección de energía piezoeléctrica (SREP) tenga una alta capacidad de generación de energía, alta confiabilidad y alta estabilidad. Todos estos requisitos dependen, en primer lugar, del material piezoeléctrico adoptado. En la actualidad, los materiales piezoeléctricos incluyen cerámica piezoeléctrica, cristal piezoeléctrico, polímero piezoeléctrico, entre otros. Su capacidad de generación de energía se evalúa mediante la constante tensión piezoeléctrica, la confiabilidad mediante la resistencia mecánica, y la estabilidad mediante las estabilidades de los parámetros de rendimiento.

Para los fines de este proyecto, la utilización de titanato de circonato de plomo (PZT) es una elección ideal para carreteras piezoeléctricas debido a su alta constante dieléctrica y densidad de carga piezoeléctrica. Estas propiedades permiten que el PZT genere una cantidad significativa de electricidad cuando se deforma mecánicamente, como ocurre con el paso de vehículos sobre las carreteras. Esta capacidad de convertir eficientemente la energía mecánica en eléctrica hace que el PZT sea adecuado para implementar tecnologías sostenibles en áreas urbanas como Maracaibo.

### **2. Diseño del sistema de recolección de energía utilizando baldosas piezoeléctricas**

#### **2.1. Diseño y análisis mecánico**

Los recolectores de energía piezoeléctrica (REP) deben diseñarse en cuanto a espesor, longitud, ancho y material de la viga mediante el desarrollo de modelos teóricos y el análisis del mecanismo de amplificación de la fuerza de compresión. Además, hay que desarrollar un procedimiento de selección óptima multiobjetivo de varios parámetros para que el REP maximice la energía eléctrica recolectada y la confiabilidad. El primer paso es diseñar y fabricar REP multicapa de modo dual. Adicionalmente, se debe considerar cómo empaquetar las pilas piezoeléctricas en una carcasa mecánica que las proteja de cargas laterales y de las condiciones climáticas. El segundo paso consiste en investigar cómo integrar los recolectores de energía piezoeléctricos en un sistema junto con la electrónica de potencia para permitir el uso de la electricidad, por ejemplo, mediante la carga de baterías.

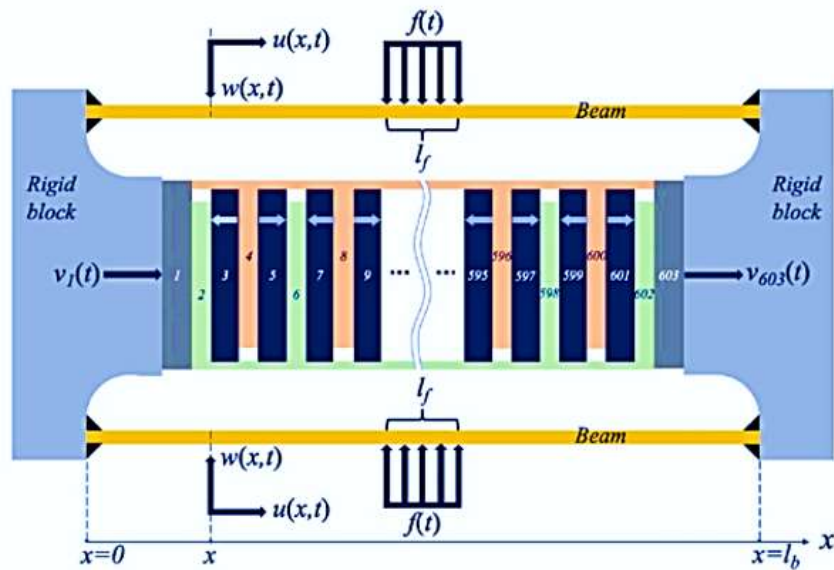


Figura 1. Esquema del sistema de recolección de energía piezoeléctrica[5].

## 2.2. Análisis dinámico del recolector de energía piezoeléctrica

Se puede hacer la estimación de que la rueda de un vehículo que pasa proporciona una fuerza de compresión impulsiva de forma triangular sobre el REP. La duración del impulso es igual al tiempo que tarda el vehículo en pasar sobre el REP, y el valor máximo del impulso está determinado por el peso del vehículo, así como por la reacción dinámica de la suspensión del vehículo. En el análisis dinámico se puede utilizar un modelo de elementos finitos de pilas PZT. Para las vigas no lineales, se ignora la dinámica del desplazamiento axial porque la frecuencia de la vibración axial es mucho mayor que la de las deflexiones.

## 2.3. Diseño de torre de recolección

Se requiere diseñar y fabricar estructuras de contención para albergar y proteger el REP. Los REP se integran en una estructura llamada torre de recolección de energía piezoeléctrica (TREP). Este diseño vertical mejora la densidad energética. Las unidades se apilan en un cilindro y se comportan como múltiples resortes no lineales conectados mecánicamente en serie. El diseño de la torre, debe formar un ángulo de  $90^\circ$  con el REP superior e inferior de la torre para mejorar la estabilidad mecánica.

## 2.4. Diseño del sistema electrónico de potencia

El objetivo de este paso es diseñar y fabricar un sistema electrónico de potencia para gestionar la electricidad del sistema de recolección de energía piezoeléctrica. Para lograr esto, primero se debe desarrollar el diseño de un circuito. En la Figura 2, se muestra el diseño de un circuito desarrollado para sistemas REP. Debido a que puede haber conexiones eléctricas tanto en serie como en paralelo, se utilizó para el diseño del circuito un puente rectificador completo para evitar interacciones eléctricas.

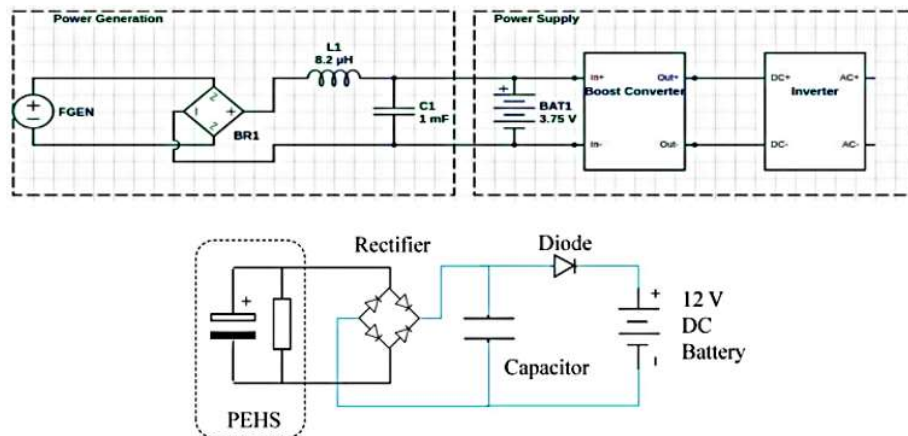


Figura 2. Layouts del circuito para sistemas de recolección de energía piezoeléctrica[5].

## 2.5. Proceso de la construcción de vías piezoeléctricas.

A continuación, se presenta el paso a paso correspondiente al proceso de construcción de las carreteras piezoeléctricas.



Figura 3. Pasos del proceso de construcción de carreteras piezoeléctricas

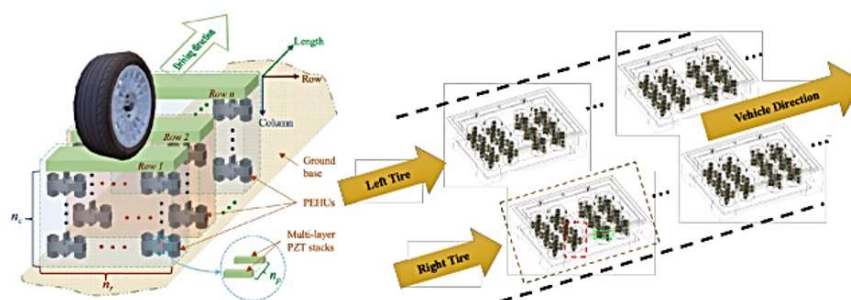


Figura 4. Layout del diseño de carreteras piezoeléctricas [5]

En la Figura 4, se aprecia el layout del diseño de las carreteras piezoeléctricas mostrando el detalle de la implementación de las TREP debajo del pavimento.

## Resultados esperados

Esta investigación demuestra que la tecnología para recolectar energía piezoeléctrica es prometedora. El diseño se basa en la piezoelectricidad que se produce en respuesta a la tensión mecánica aplicada sobre

algún sólido. Se propone la colocación de un sensor piezoeléctrico debajo de la superficie de la carretera que produciría electricidad a partir de la vibración causada por el movimiento de los vehículos en la carretera. Esta tecnología piezoeléctrica podría producir hasta 44 MW de electricidad al año [6].

El principio básico que se utiliza para generar electricidad es el efecto piezoeléctrico. Un material piezoeléctrico es aquel que convierte la energía mecánica o la energía vibratoria que se experimenta en él, en una carga que puede ser almacenada. Cuando se ejerce una fuerza o presión sobre el material de cristal piezoeléctrico elástico, el cristal se deforma y esto hace que se desarrolle carga entre ellos y el cristal vuelva a su estado original. El proceso de este diseño se basa en la circulación de vehículos sobre la carretera, ejerciendo una fuerza sobre ese material. La presión se genera durante la aplicación de esta fuerza, por lo tanto, la presión se convierte en energía eléctrica. Este flujo de carga se convierte en un voltaje que se puede almacenar en una batería. Posteriormente, la energía eléctrica se distribuye y puede ser utilizada para alimentar el alumbrado público, reduciendo así la dependencia de fuentes de energía convencionales y contribuyendo a la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero [7].

Como ya se ha explicado anteriormente, en este método se utiliza un dispositivo de generación de energía eléctrica instalado debajo de la calzada. Este dispositivo generador de electricidad incluye una capa cubierta con una o más capas de protección ubicados debajo de la superficie de la carretera. En este proceso, el material se incrusta debajo de la carretera con el dispositivo generador de electricidad por un camino con generadores piezoeléctricos integrados. Parte de la energía que el vehículo expande en la deformación de las carreteras se transforma en energía eléctrica. Este dispositivo generador de electricidad incluye placas de presión que se cubren con una capa de asfalto. El efecto piezoeléctrico convierte la tensión mecánica en energía eléctrica (corriente o voltaje)[8].



**Figura 5. Representación gráfica del tráfico de recolección de energía piezoeléctrica[5]**

La implementación de carreteras piezoeléctricas representa una innovadora y efectiva solución para disminuir las altas temperaturas de la ciudad de Maracaibo. La idea consiste en aplicar la tecnología piezoeléctrica en las carreteras de las avenidas más transitadas de la ciudad. Mientras más concurrida sean las calles donde se colocará la tecnología piezoeléctrica, más energía eléctrica será recolectada.

Una de las principales ventajas de esta tecnología es su capacidad para generar energía de manera continua y directamente en el punto de uso, evitando así pérdidas asociadas con la transmisión de electricidad a largas distancias. Las carreteras piezoeléctricas también podrían tener un impacto económico positivo al fomentar la innovación tecnológica y crear nuevas oportunidades de empleo en el sector de la energía renovable y la construcción de infraestructuras sostenibles. Aunque el desembolso financiero para equipar las carreteras con la tecnología es significativo y el retorno de la inversión es a largo plazo, aprovechar esta fuente de energía fácilmente disponible promueve el objetivo de la disminución de emisiones de carbono, lo cual, a su vez



puede lograr la disminución de la temperatura ambiental en la ciudad de Maracaibo al haber un descenso en la generación de gases de efecto invernadero.

La implementación de carreteras piezoeléctricas en la ciudad de Maracaibo representa una solución innovadora. Al aprovechar la energía cinética de los vehículos para generar electricidad renovable y aliviar el calor urbano, estas carreteras no solo pueden mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, sino también sentar las bases para un futuro más limpio y resiliente frente al cambio climático global.

### Referencias bibliográficas

- [1] J. Perelló Ibarra, “Estudio de la energía obtenida mediante dispositivos piezoeléctricos incrustados en el pavimento de carreteras”, trabajo de maestría, ETSEIB, 2020. [En Línea]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/329679>
- [2] A. Jędrzejowska, “Self-sustainable roads using piezoelectricity? Medium”, *Medium*, 2023. [En Línea]. Disponible en: <https://medium.com/@AnnaJedrzejowska/self-sustainable-roads-using-piezoelectricity-14c37790cb06>
- [3] S. González Molina, “Plan de negocios de baldosas piezoeléctricas como fuente de energía alternativa en la ciudad de Villavicencio para la empresa Step Energy”, trabajo especial de grado, Univ. Santo Tomás, 2019. [En Línea]. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/16895?show=full>
- [4] J. Paz Colchon, “Generación de energía piezoeléctrica a partir de la vibración de los perfiles viales del pavimento en la región Lambayeque”, trabajo especial de grado, UNPRG, 2022. [En Línea]. Disponible en: <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/10776>
- [5] S. Jian-Qiao, X. Tian-Bing, y Y. Atousa, “Ultra-High Power Density Roadway Piezoelectric Energy Harvesting System”, California Energy Commission, 2020. [En Línea]. Disponible en: <https://www.energy.ca.gov/publications/2023/ultra-high-power-density-roadway-piezoelectric-energy-harvesting-system>
- [6] Z. Chen, “Piezoelectric Roads: Paving The Way For A Sustainable Future”, *Woke Waves*, 2024. [En Línea]. Disponible en: <https://www.wokewaves.com/posts/piezoelectric-energy-harvesting-roads>
- [7] X. Sun, “An overview of the piezoelectric. Power generation system for electricity generation”, *Journal of Power and Energy Engineering*, vol. 5, pp. 12-15, 2017. [En Línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.4236/jpee.2017.52002>
- [8] A. Thakur M. Dewangan y P. Lalwani “Piezoelectric roads”. *International Journal of Advanced Research in Science and Engineering*, vol. 2, pp. 82-85, 2017. [En Línea]. Disponible en: <http://doi.org/10.22214/ijraset.2020.27228>






# Corredores verdes simuladores de bosques interconectados en vías principales y regadas por un sistema de tuberías recolectoras de agua de lluvia

*Green corridors simulating forests interconnected on main roads and irrigated by a system of rainwater collection pipes*

**María S. González-Álvarez**

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

 <https://orcid.org/0009-0009-4261-6085> | Correo electrónico: [mariasilvana0210@gmail.com](mailto:mariasilvana0210@gmail.com)

Recibido:12-07-2024 Admitido:21-07-2024 Aprobado:01-08-2024

## Resumen

Maracaibo, ubicada en el noroeste de Venezuela, tiene niveles de contaminación en el aire y en el Lago de Maracaibo altos que intensifican las temperaturas y sensaciones térmicas de la ciudad, es notable la cantidad de zonas áridas presentes en Maracaibo. Una forma de combatir esta situación es a través de la implementación de corredores verdes en la ciudad que simulan bosques, con especies de plantas especiales por sus altos valores de absorbancia de impurezas del aire, los mismos aportan beneficios tales como el proceso natural de transpiración de las plantas, mejorando la calidad de vida y del entorno de Maracaibo.

**Palabras clave:** Corredores, plantas, absorbancia.

## Abstract

Maracaibo, located in the northwest of Venezuela, has high levels of pollution in the air and in Lake Maracaibo that intensify the temperatures and thermal sensations of the city. The number of arid zones present in Maracaibo is notable. One way to combat this situation is through the implementation of green corridors in the city that simulate forests, with special plant species due to their high absorbance values of air impurities, which provide benefits such as the natural transpiration process of plants, improving the quality of life and the environment of Maracaibo.

**Keywords:** Corridors, plants, absorbance.

## Planteamiento del problema

Maracaibo, capital del estado Zulia en Venezuela, enfrenta un problema ambiental cada vez más preocupante: el aumento de la temperatura. Es la segunda ciudad más poblada de Venezuela, con clima marcado con la categoría “extremo” en el Reporte de Escenarios Climáticos del Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC).

Para los expertos del IPCC, “Venezuela es uno de los países menos preparados para enfrentar el cambio climático, porque “exacerbará muchos de los desafíos que enfrentan las ciudades en la actualidad”, como sequías e inundaciones y olas de calor extremas” [1, Párr. 3]. Este fenómeno se debe a diversos factores, como la concentración de edificios y pavimento en la ciudad, la escasa cobertura vegetal y el cambio climático.

Maracaibo representa uno de los casos más críticos. “Es muy probable que para 2070, su clima haya cambiado tanto que se ubique en una nueva zona climática más caliente que su zona actual, la semiárida cálida, con predominio del clima seco, entre noviembre y abril, y una temporada de lluvia moderada, entre abril y noviembre, cuyas precipitaciones son breves, pero intensas” [1, Párr. 4].

El efecto isla de calor urbano, un fenómeno que se intensifica en las ciudades densamente pobladas, genera temperaturas más elevadas que en las zonas rurales. Esto tiene un impacto negativo en la salud y el bienestar de los ciudadanos, además de aumentar la demanda de energía y la contaminación del aire.

## Justificación

La ciudad de Maracaibo, conocida como la “Tierra del Sol Amada” es famosa por sus altas temperaturas, especialmente durante los meses de abril, mayo, agosto y septiembre, siendo la temperatura promedio de 35 °C y la sensación térmica llegando hasta un valor de 50 ° por su alta humedad, que genera vapores provenientes del Lago de Maracaibo. La combinación de varios factores contribuye a este calor intenso, tales como: ubicación geográfica que hace que la ciudad reciba una incidencia perpendicular de los rayos solares durante gran parte del año, la época del año, ausencia de nubosidad, efecto del lago que absorbe radiación solar durante el día y la libera durante la noche contribuyendo a la sensación de calor, edificaciones y uno de los factores más importantes, la escasez de zonas verdes que reducen la sombra y evapotranspiración, intensificando el calor en el ambiente urbano [2].

Maracaibo se caracteriza por un clima cálido y seco, por lo que, la implementación de corredores verdes con una adecuada selección de especies vegetales, puede contribuir a la reducción de la temperatura ambiental en las zonas donde se ubican. Las plantas absorben el calor del sol y liberan humedad a través de la transpiración, creando un microclima más fresco y agradable. La ciudad también enfrenta otros retos que, “cada día, la acercan al clima extremo: la falta de árboles y la quema de basura que, según lo reporta Azul Ambientalistas, emana los cuatro principales gases de efecto invernadero: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y los halocarbonos o CFC (gases que contienen flúor, cloro y bromo). Dichos gases permanecen en la atmósfera desde meses hasta miles de años y mientras estén allí, afectarán el clima” [1, Párr. 25].

Se dice que Maracaibo, “necesita al menos 5 millones de árboles que permitan contrarrestar las altas temperaturas de entre 40 y 50 grados. Es decir, con más árboles, la temperatura podría bajar considerablemente” [1, Párr. 26]. La instalación de corredores verdes interconectados con parques y vías principales en Maracaibo se espera que tengan un impacto positivo en el medio ambiente, la sociedad y la economía de la ciudad. Estos espacios verdes no solo contribuirán a mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, sino que también representarán una inversión a largo plazo para el desarrollo sostenible de la ciudad y a su vez pueden generar empleos en sectores como la jardinería, la arboricultura, el paisajismo y la educación ambiental. Además, pueden atraer turismo y fomentar el desarrollo de negocios relacionados con el ocio y la recreación en la naturaleza.

Es importante destacar que estos resultados esperados se basan en la correcta planificación, implementación y mantenimiento de los corredores verdes. Para lograr un impacto positivo real, es fundamental que estos proyectos se lleven a cabo de manera responsable y con la participación activa de la comunidad.

## Objetivos de la investigación

### Objetivo general

Proponer un plan de implementación de corredores verdes para la reducción de la temperatura en la ciudad de Maracaibo en 2 °C.

### Objetivos específicos

Diseñar un mapa de la ubicación de los corredores verdes en la ciudad de Maracaibo.

Designar las tuberías encargadas de la recolección de aguas para riego.

Seleccionar las especies de plantas adecuadas para los corredores verdes.

## Metodología

En la Figura 1 se muestra la metodología propuesta para dar cumplimiento a los objetivos trazados.



**Figura 1. Diagrama de la metodología de la implementación de la propuesta de corredores verdes en la ciudad de Maracaibo**

La Figura anterior presenta un esquema del proceso de implementación de los corredores verdes, cada fase conlleva una parte del proceso que ayuda a llevar a cabo la propuesta de una manera organizada, como se describe a continuación:

**1. Análisis del contexto:** Estudiar clima, topografía, hidrología y cobertura vegetal, identificar zonas con mayor calor y potencial para corredores verdes, evaluar disponibilidad de terrenos públicos o privados, y considerar necesidades y opiniones de las comunidades locales.

**2. Definición de objetivos específicos:** Establecer metas para la reducción de temperatura, definir tipos de corredores verdes (arborizados, acuáticos, mixtos) y seleccionar las especies de plantas adecuadas para cada tipo.

**3. Diseño del proyecto:** Elaborar un plan maestro con la ubicación, diseño y conectividad de los corredores, desarrollar diseños detallados para cada corredor, incluyendo selección de especies, distribución de espacios, infraestructura y planes de mantenimiento.

**4. Obtención de permisos y financiamiento:** Gestionar permisos y licencias para la instalación en terrenos públicos y privados y búsqueda de financiamiento a través de fondos públicos, privados o una combinación de ambos.

**5. Preparación del terreno:** Una vez aprobado el proyecto limpiar y acondicionar el terreno donde se instalarán los corredores e implementar medidas para la conservación del suelo y la preparación para la siembra.

**6. Siembra de vegetación:** Seleccionar plantas de vivero local, adaptadas al clima y las condiciones del terreno y Realizar la siembra de las plantas de acuerdo con el diseño establecido, considerando la densidad, la distribución y la combinación de especies.

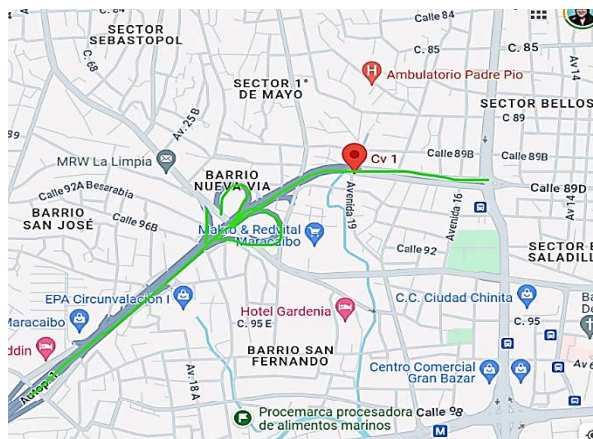
**7. Establecer un programa de mantenimiento regular:** Realizar riego, poda, fertilización y control de plagas y enfermedades de forma periódica y monitorear el estado de la infraestructura y realizar reparaciones o reemplazos cuando sea necesario.

**8. Evaluación del impacto del proyecto:** Medir la reducción de la temperatura en las zonas donde se han instalado los corredores y analizar la satisfacción de la comunidad con los corredores y su impacto en la calidad de vida. Realizar ajustes y mejoras en el proyecto en función de los resultados de la evaluación.

## Resultados esperados

La propuesta consiste en la implementación de corredores verdes en las vías principales de la ciudad y en espacios públicos que se interconectan entre sí con parques, cuerpos de agua y carreteras principales,

el término corredor se otorga ya que estos simulan una especie de “bosque” con plantas, arbustos y árboles de distinto tamaño que ayudan a producir frescas corrientes de aire que combaten las corrientes de calor por medio de la absorción de  $\text{CO}_2$ . A su vez este proyecto tiene un impacto en el decrecimiento de la polución del aire que actualmente en la ciudad de Maracaibo es de partículas  $\text{PM}_{10}$  en la zona norte es de  $43 + 18 \text{ ug/m}^3$  y en la zona sur es de  $34 + 12 \text{ ug/m}^3$  [3].



**Figura 2. Circunvalación 1 de la ciudad de Maracaibo, Estado Zulia [4]**

Los beneficios obtenidos de esta propuesta no solo actúan como una mejora del microclima hasta una disminución de  $2^\circ\text{C}$ , sino también mitigan los impactos de red vial, proveer espacio verde para la recreación pasiva de las comunidades y el embellecimiento escénico de la ciudad y capturar el material particulado, es decir, mejorado la calidad del aire.

El efecto de enfriamiento en temperatura ha sido probado a través de implementación de parques urbanos en ciudades como Milán y Atenas, y sobre todo en la ciudad de Medellín, Colombia, donde no solo fueron una solución a problemas ambientales sino también una mejora en la calidad de vida de los residentes, y se espera que para el 2026 la temperatura sea reducida desde  $4^\circ\text{C}$  hasta los  $6^\circ\text{C}$  [5, 6, 7].



**Figura 3. Corredor Verde vertical en la ciudad de Medellín, Colombia [5]**

Las especies de plantas y árboles seleccionados tienen más de un propósito, estas deben ser de fácil acceso, tener afinidad para el clima de la ciudad de Maracaibo y también ser buena para la absorción de contaminación, como por ejemplo la especie *Mangifera indica* (mango), utilizada en Medellín debido a que un estudio demostró que es una de las seis especies de plantas que se encuentran en Medellín capaz de la contaminación  $\text{PM}_{2.5}$ , partículas que pueden causar asma, bronquitis y enfermedades cardíacas [5].

La activación de corredores verdes en la ciudad de Maracaibo requiere que la flora plantada sea cuidada y mantenida, una forma de hacer esto es con un sistema de tuberías subterráneas que recolecta agua de lluvias

para posteriormente hacer uso de estas como agua para riego de plantas, este proyecto también abre camino a la creación de empleos, en el cual ciudadanos pueden capacitarse como jardineros para continuar con el desarrollo sostenible de los corredores verdes o ingenieros ambientales y químicos que participen en el diseño de tuberías y corredores [8].



**Figura 4. Corredor Verde en vías principales en la ciudad de Medellín, Colombia [5]**

La implementación de zonas verdes en los alrededores del Lago de Maracaibo y toques de edificios también ayudará al proyecto de corredores verdes, ya que los rayos UV solares que impacten en la cima de las edificaciones y en el lago, tendrán una sensación térmica mucho menor gracias a la vegetación que combate a los mimos.

Este proyecto debe seguir una metodología adecuada, ser financiado, estudiado para posterior implementación, pero como ya se ha mencionado, trae muchos beneficios a la ciudad de Maracaibo en más de un aspecto, como se ha visto en proyectos similares como el de corredores verdes simuladores de bosques en Medellín, el cual tuvo distintas premiaciones y menciones por su innovación y el efecto ambientalista.

Se requiere seguir haciendo más investigaciones para llevar a cabo la implementación de manera que las condiciones del diseño se adecuen a la ciudad de Maracaibo, capital del estado Zulia, Venezuela.

### Referencias bibliográficas

- [1] R. Suárez, “Maracaibo, clima extremo”, *Open Democracy*, 2022. [En Línea]. Disponible en: <https://www.opendemocracy.net/es/maracaibo-clima-extremo/>
- [2] D. Pardo, “¿Cómo pasó Maracaibo de ser la ciudad más fría a la más caliente de Venezuela?”. *BBC News Mundo*, 2016. [En Línea]. Disponible en: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-36467735>
- [3] M. González et al., “Estudio sobre los niveles de concentración de partículas inhalables (PM10) en la atmósfera de la ciudad de Maracaibo, Venezuela”, *Ciencia*, vol. 9, no. 1, 2001. [En Línea]. Disponible en: <https://produccioncientificaluz.org/index.php/ciencia/article/view/9099>
- [4] “Circunvalación 1 de la ciudad de Maracaibo”. *Google Maps*, 2024. [En Línea]. Disponible en: [https://www.google.co.ve/maps/@10.6503373,-71.624814,17z?entry=ttu&g\\_ep=EgoyMDI1MDExNS4wIKXMDS0ASAFQAw%3D%3D](https://www.google.co.ve/maps/@10.6503373,-71.624814,17z?entry=ttu&g_ep=EgoyMDI1MDExNS4wIKXMDS0ASAFQAw%3D%3D)
- [5] P. Yeung, “How a Colombian City Cooled Dramatically in Just Three Years”, *Reasons To Be Cheerful*, 2024. [En Línea]. Disponible en: <https://reasonstobecheerful.world/green-corridors-medellin-colombia-urban-heat/#>
- [6] A. Moloney, “FEATURE-Colombia’s Medellín plants ‘green corridors’ to beat rising heat”, *Reuters*, 2021. [En Línea]. Disponible en: <https://www.reuters.com/article/colombia-heatwave-environment-nature-idUKL8N2OY69Q/>

[7] Secretaría de Medio Ambiente, “Corredores y Muros Verdes”, *Alcaldía de Medellín*, 2025. [En Línea]. Disponible en: <https://www.medellin.gov.co/es/secretaria-medio-ambiente/medellin-biodiversa/corredores-y-muros-verdes/>

[8] C40 Cities Climate Leadership Group, Nordic Sustainability, “*Medellín’s interconnected green corridors. Cities100: Case Studies and Best Practice Examples*”, *C40knowledge*, 2019. [En Línea]. Disponible en: [https://www.c40knowledgehub.org/s/article/Cities100-Medellin-s-interconnected-green-corridors?language=en\\_US](https://www.c40knowledgehub.org/s/article/Cities100-Medellin-s-interconnected-green-corridors?language=en_US)




# Sistema de transporte masivo sustentable tipo BRT a base de pilas de hidrógeno en la ciudad de Maracaibo, estado Zulia

*Sustainable mass transportation system type BRT based on hydrogen cells in the city of Maracaibo, Zulia state*

**Germery P. Aldama-A.**

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

 <https://orcid.org/0009-0008-2750-4432> | Correo electrónico: [germaryaldama@gmail.com](mailto:germaryaldama@gmail.com)

Recibido:12-07-2024 Admitido:21-07-2024 Aprobado:01-08-2024

## Resumen

Este estudio tiene como propósito proponer la implementación de un transporte público tipo BRT a base de pilas de hidrógeno en la ciudad de Maracaibo, Estado Zulia. La crisis climática que cada vez impacta más en la región obliga a buscar alternativas que reduzcan los aumentos de temperatura registrados los últimos años, es por esto por lo que se propone un sistema de transporte masivo que además de solucionar los problemas de movilidad de la ciudad, no use combustibles fósiles, eliminando al 100% la huella de carbono, con la finalidad de aplacar el efecto invernadero.

**Palabras clave:** BRT, transporte, hidrógeno.

## Abstract

*The purpose of this study is to propose the implementation of BRT-type public transportation based on hydrogen cells in the city of Maracaibo, Zulia State. The climate crisis that is increasingly impacting the region forces us to look for alternatives that reduce the temperature increases recorded in recent years, which is why a mass transportation system is proposed that, in addition to solving the city's mobility problems, do not use fossil fuels, eliminating 100% of the carbon footprint to appease the greenhouse effect.*

**Key words:** BRT, transportation, hydrogen.

## Planteamiento del problema

La movilidad y el transporte son uno de los pilares fundamentales de una ciudad, sin embargo, corresponden a uno de los sectores con el mayor consumo de energía, siendo su principal fuente los combustibles fósiles. Los sistemas de transporte convencionales generan un gran impacto ambiental debido a la emisión de gases de efecto invernadero, como es el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), contaminando de esta manera el entorno [1].

Una de las consecuencias más notorias a causa de este fenómeno es el incremento de la temperatura que se ha registrado los últimos años en diversas partes del mundo. Según el informe de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) predice que, “hay un 80 % de probabilidades de que la temperatura media anual del planeta supere transitoriamente en 1,5 °C los niveles preindustriales en al menos uno de los próximos cinco años” [2, tit.1].

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) expuso que, “en 2020, la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera aumentó 2,57 partes por millón (ppm) hasta alcanzar 4,14 ppm en diciembre, la concentración más alta jamás registrada. El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es el principal gas de efecto invernadero, aunque el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), también están provocando el calentamiento global” [3, Párr. 8 ].

Partiendo de esto, diversas instituciones han realizado investigaciones para encontrar soluciones viables a esta problemática, generando propuestas en diversos tópicos que permitan controlar o revertir el cambio climático. Una de estas alternativas es la implementación de pilas de hidrógeno en sistemas de transporte

masivo, como el metro o el BRT. La utilización de este elemento puede llegar a convertirse en la solución para la operación de un transporte público autónomo y sustentable.

Gracias a la información recolectada por Meteoblue, un servicio meteorológico creado en la Universidad de Basilea, Suiza, en cooperación con la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos y los Centros Nacionales de Predicción Ambiental, en el caso de Venezuela el INAMEH (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología), se documentó que en la ciudad de Maracaibo, estado Zulia, se han experimentado aumentos en la temperatura los últimos 15 años, teniendo el registro más alto en el 2015, con un aumento de la temperatura promedio de 1,9°C. A su vez, en los últimos 10 años la precipitación en la ciudad ha estado por debajo del promedio, representando que con el pasar de los años las condiciones de la ciudad se vuelven cada vez más secas, por ende, el incremento de la temperatura [4].

Por consiguiente, es importante tomar acción con propuestas que mejoren el cambio climático de la ciudad, por esta razón, considerando que el transporte público en Maracaibo es sumamente importante para la movilidad de sus habitantes y aunque sea muy utilizado, una gran parte no se encuentra en condiciones óptimas, ya sea por no hacerse el mantenimiento adecuado o los vehículos ya pertenezcan a modelos antiguos, además de la utilización de combustible fósil, se genera como consecuencia la emisión de gases de efecto invernadero, impactando de forma directa con el aumento de la temperatura de la ciudad. Por esto, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál sería el sistema de transporte que además de solventar los problemas de la movilidad de Maracaibo, mitigue las consecuencias del cambio climático para la reducción de la temperatura de la ciudad?

### **Justificación**

El presente artículo científico tiene como finalidad plantear la propuesta de un nuevo sistema de transporte masivo sustentable en la ciudad, ya que además de disminuir al 100% los gases de efecto invernadero debido a que el subproducto de la combustión del hidrógeno es sólo H<sub>2</sub>O (agua), también proporciona a la ciudad un transporte autónomo del servicio eléctrico nacional, como sería en el caso del metro, y libre de la problemática de combustible por la que en ocasiones pasa el país.

Al disminuir los gases de efecto invernadero habría un impacto directo en el clima de la ciudad, reflejándose en la disminución de la temperatura, ya que se contrarrestaría el efecto invernadero, siendo este uno de los mayores causantes del calentamiento global. Con esta alternativa se ofrece una solución tanto para la crisis climática, como para la optimización de la movilidad y el transporte público en la ciudad de Maracaibo.

### **Objetivos de la investigación**

#### **Objetivo general**

Proponer un sistema de movilidad y transporte sustentable tipo BRT basado en la utilización de pilas de hidrógeno para la ciudad de Maracaibo, estado Zulia.

#### **Objetivos específicos**

Establecer las necesidades de movilidad y transporte en la ciudad de Maracaibo.

Caracterizar el sistema BRT como medio de transporte a base de pilas de hidrógeno.

Diseñar un sistema de movilidad y transporte sustentable con la implementación del sistema BRT basado en pilas de hidrógeno.

## Metodología

A continuación, en la Figura 1 se muestran las fases en las cuales transcurre la investigación.

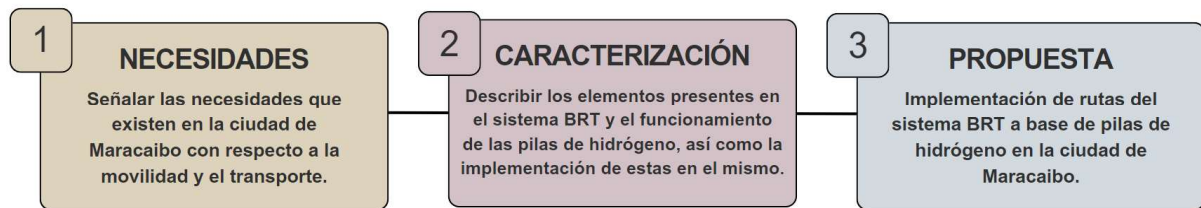


Figura 1. Flujograma de la metodología planteada

### 1. Necesidades de la movilidad y el transporte en la ciudad de Maracaibo

El transporte urbano es de vital importancia, ya que influye en el desarrollo económico y social de un país, debido a que es por medio de este que las personas se movilizan para poder cumplir con sus actividades cotidianas y laborales. Este constituye uno de los elementos básicos para la planificación urbana, pues permite que el usuario tenga acceso a un sistema que le permita movilizarse, descongestiona el tránsito y le da una mejor calidad de vida a los habitantes, siempre y cuando exista una buena planificación de rutas y de los sistemas implementados.

En Maracaibo se evidencia un grave problema en el sistema de transporte público urbano que se encuentra referido a uno de sus componentes más importantes, las unidades; ya que el modo principal de transporte de los marabinos son los automóviles por puesto, así como los autobuses. Estos carecen de un buen mantenimiento, además de ser modelos antiguos, generando de esta manera fallas en el motor que se reflejan en las emisiones de gases de efecto invernadero que estos producen debido a la combustión convencional. Por otra parte, las paradas no establecidas ocasionan congestión en el tráfico, colapsando de esta manera las vías y no hay un límite de pasajeros, por lo que, las unidades Por otra parte, las paradas, dificultando así la bajada de pasajeros y con este el aumento de los tiempos de espera [1].

### 2. Funcionamiento de la movilidad en Maracaibo.

En la ciudad de Maracaibo la movilidad con transporte público se da, sobre todo, en la zona oeste, centro y sur; en la zona este existen algunas rutas de transporte, aunque en menor proporción que en las anteriormente nombradas. Por otra parte, en la zona norte la movilidad se da en mayor parte por vehículos particulares [1, 5].

En la zona oeste se encuentra la Curva de Molina, de la cual salen la mayoría de las rutas de transporte público de Maracaibo, de manera tal que conecta la zona oeste con las demás zonas de la ciudad. Por ejemplo, la ruta Curva-San Martín-Milagro, la cual cubre el tramo de la Av. La Limpia hasta la Av. Universidad. Luego pasa por toda la Av. 5 de Julio para terminar en la Av. El Milagro. Otro ejemplo puede ser la ruta Limpia-Centro, la cual abarca toda la Av. La Limpia. Aunque existan todas esas rutas de transporte, también hay mucho tránsito de vehículos particulares, congestionando las vías en las horas de mayor tránsito. La Av. La Limpia también permite conectarse con vías como la Circunvalación 2, Av. Delicias, Av. El Milagro (pasando por el centro), así como llegar al casco central de la ciudad. El tráfico en esta incrementa entre las 7:30am y las 9:00am, cuando los usuarios agarran las rutas para llegar a sus trabajos, instituciones educativas, entre otras, así como entre las 6:00pm a 7:30pm, debido a que es cuando estos usuarios regresan a sus hogares.

La zona este es una de las zonas más comerciales, encontrándose negocios de todo tipo de rubro, así como la mayoría de las sedes de oficinas de la ciudad, por lo que gran parte del tráfico se moviliza a esta zona diariamente. Lo mismo ocurre con el centro de Maracaibo, siendo otra zona comercial, aunque dirigido más al comercio informal, además, acá se encuentran edificaciones dirigidas a la cultura y el turismo, como la Basílica, el Teatro Baralt, la Catedral, entre otros, por lo que también se puede ver un alto volumen de

tránsito. Expuesto esto se logra determinar que la zona oeste es la que presenta mayor movimiento en cuanto al transporte público, además, que la desorganización que hay en éste provoca más congestión del tránsito debido a que las paradas no están establecidas y las unidades no se encuentra en condiciones óptimas.



Figura 2. Rutas de Transporte Público Maracaibo [6]

### 3. Pila de hidrógeno

La pila de hidrógeno es un dispositivo electroquímico que transforma de forma directa la energía química en eléctrica. Parte de un combustible, es decir, el hidrógeno, y de un comburente, siendo este el oxígeno, para producir electricidad en forma de corriente continua y calor. Además, el subproducto que se genera de la combustión es agua ( $H_2O$ ) completamente limpia, reduciendo de esta manera al 100% la huella de carbono. Sus principales componentes son [7]:

Ánodo: En el ánodo, el hidrógeno se oxida, liberando electrones.

Cátodo: El cátodo distribuye el oxígeno en la superficie del catalizador y conduce los electrones de vuelta.

Electrolito: Este material solo conduce iones cargados positivamente y bloquea los electrones.

Catalizador: Permite la reacción química entre el oxígeno y el hidrógeno, generando electricidad.

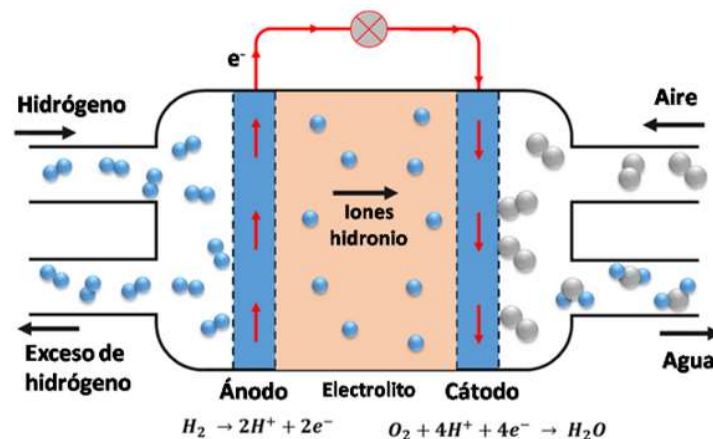


Figura 3. Pila de Hidrógeno [8]

#### 4. Ventajas de la pila de hidrógeno

Tal como lo señala Alcalde [9] dentro de las ventajas del hidrógeno como combustible se tienen:

La producción de energía y calor de las pilas de hidrógeno no emite dióxido de carbono a la atmósfera.

Las pilas de hidrógeno demuestran ser más eficientes que otras fuentes de energía, como los motores de combustión interna.

El almacenamiento del hidrógeno producido aborda el reto de la intermitencia en las energías renovables: puede usarse cuando se necesite.

Permiten un tiempo de recarga ágil en comparación a las baterías eléctricas.

En un mundo que depende de dispositivos portátiles, las pilas de hidrógeno son fuentes fiables para alimentar estos objetos.

#### 5. El hidrógeno como elemento

Según Alcalde, periodista especializado en ciencia, sociedad y medio ambiente, en su artículo para el National Geographic España del año 2023, explica que “a pesar de ser uno de los elementos más abundantes de la Tierra, el hidrógeno no es fácil de obtener, pues no se encuentra de forma aislada en la naturaleza, sino que se genera a partir de otras sustancias que lo contienen, entre ellos el agua, el carbón y el gas natural” [9, Párr. 2].

La forma ideal de producirlo sería obtenerlo directamente del agua, una sustancia presente en el 70% del planeta, para lo cual sería necesario llevar a cabo un proceso denominado electrólisis, que consiste en la descomposición de las moléculas de agua ( $H_2O$ ), en oxígeno ( $O_2$ ) e hidrógeno ( $H_2$ ). Sin embargo, generalmente es este un proceso costoso para el que se necesita mucha energía eléctrica que en la mayoría de los casos no procede de fuentes renovables para alimentar los electrolizadores [7].

Aun así, existe una vía más económica de generar hidrógeno que se basa en la manipulación del gas natural. Este proceso es conocido como reformado del gas natural, y podría ser una alternativa viable para la transición a energías sustentables. El problema radica en que este sistema no acaba con la dependencia energética, pues se basa en el combustible fósil para la obtención de este. “Para deshacerse de ese carbono remanente, los productores de hidrógeno recurren al método de captura y almacenamiento de carbono, una técnica que permite inyectar bajo tierra este exceso de este contaminante, lo cual daría como resultado el llamado hidrógeno azul” [9, Párr. 8], el cual emite menos carbono que el hidrógeno gris durante su producción.

#### 6. Sistemas BRT

Este sistema está diseñado específicamente con infraestructura y servicios para mejorar el desplazamiento de los usuarios del transporte público. “Su principal objetivo es combinar la capacidad con la velocidad, algo parecido a un metro, pero en la superficie o algo parecido a un tren de pasajeros; pero con mayor flexibilidad, menor costo y con la simplicidad de un sistema de transporte público a base de autobuses” [5, párr. 2]. Algunas características de este sistema son las siguientes:

Puntos de paradas fijos con andenes.

Pago de la tarifa y validación del viaje fuera del autobús.

Autobuses articulados de gran capacidad.

Carriles exclusivos (o carriles segregados del tráfico mixto) para autobuses.



Figura 4. Sistema BRT

### 7. Aplicación de la pila de hidrógeno en el transporte

La electricidad se va generando a medida que el vehículo la requiere. Esto sucede porque, en vez de almacenar la energía en baterías acumuladoras, se implementan pilas de combustible que procesan constantemente el hidrógeno para producir la electricidad en demanda [6].

Este hidrógeno se almacena en tanques específicos, desde donde se canaliza a la pila de combustible y allí se añade el oxígeno para producir electricidad. Estos coches cuentan con un tubo de escape a través del que únicamente se libera vapor de agua. La batería reparte la energía a los motores eléctricos de los que disponga el coche y en la misma se guarda el sobrante de electricidad acumulado [7].

### 8. Sistema BRT a base de pilas de hidrógeno

En Francia implementaron el primer sistema de transporte masivo BRT 100% de hidrógeno del mundo, estos vehículos de 18 metros, los cuales tienen una capacidad de 145 personas, producen su electricidad a bordo utilizando una pila de combustible de hidrógeno. “La puesta en marcha de esta flota de ocho vehículos requirió la construcción de una estación de hidrógeno, inaugurada el 19 de septiembre de 2019, así como un taller de mantenimiento adaptado al uso de hidrógeno” [10, Párr. 6].

Construidos por el fabricante belga Van Hool, “estos vehículos producen su electricidad a bordo utilizando una pila de combustible de hidrógeno. Con su alcance de 240 km/día, no necesitan recargarse mientras están en servicio, ya que la carga se realiza de noche en la estación” [10, Párr. 4].

Accesibles para personas con movilidad reducida, “estos vehículos de 18 metros tienen una capacidad de 145 personas e incluyen 32 asientos cubiertos de cuero y grandes ventanales que brindan a los pasajeros mucha luz” [10, Párr. 5].



Figura 5. BRT con pila de hidrógeno en Francia [10]



## Propuesta

En la búsqueda de alternativas que ayuden a mitigar el aumento de temperatura que ha registrado la ciudad de Maracaibo en los últimos años y siendo los gases de efecto invernadero una de las causas principales del calentamiento global, se presenta como una solución la implementación del sistema de transporte masivo BRT a base de pilas de hidrógeno en tres de las vías más importantes y utilizadas de la ciudad, siendo la Av. La Limpia, la Av. Bella Vista y la Circunvalación 2 junto con la prolongación de ésta.

El BRT deberá contar con 18 metros de longitud para una capacidad de 145 pasajeros, la pila de hidrógeno viene estandarizada en el modelo del vehículo, teniendo esta una vida útil de 15 años. Su duración por recorrido sin ser recargado por el combustible de hidrógeno es de aproximadamente 300km.

Las rutas por cumplir serán la Av. La Limpia, con 8km de longitud, la Av. Bella Vista, con 6km y la Circunvalación 2 con un total de 22km de longitud. Se puede escoger un tramo de la Circunvalación 2 para la optimización de la propuesta. Con un total de 40 paradas para los usuarios y con la utilización de tarjetas prepagadas por medio de un sistema automático en aplicación.

## Rutas del sistema BRT a base de pilas de hidrógeno

En las siguientes figuras (figura 6 a la 10) se muestran las rutas establecidas para la implementación del sistema de transporte BRT, así como el diseño del mismo:

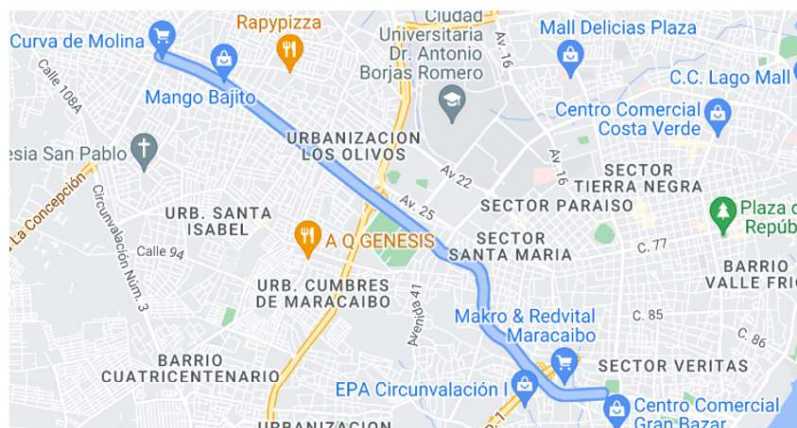


Figura 6. Av. La Limpia [11]



Figura 7. Av. Bella Vista [12]





Figura 8. Circunvalación 2 [13]

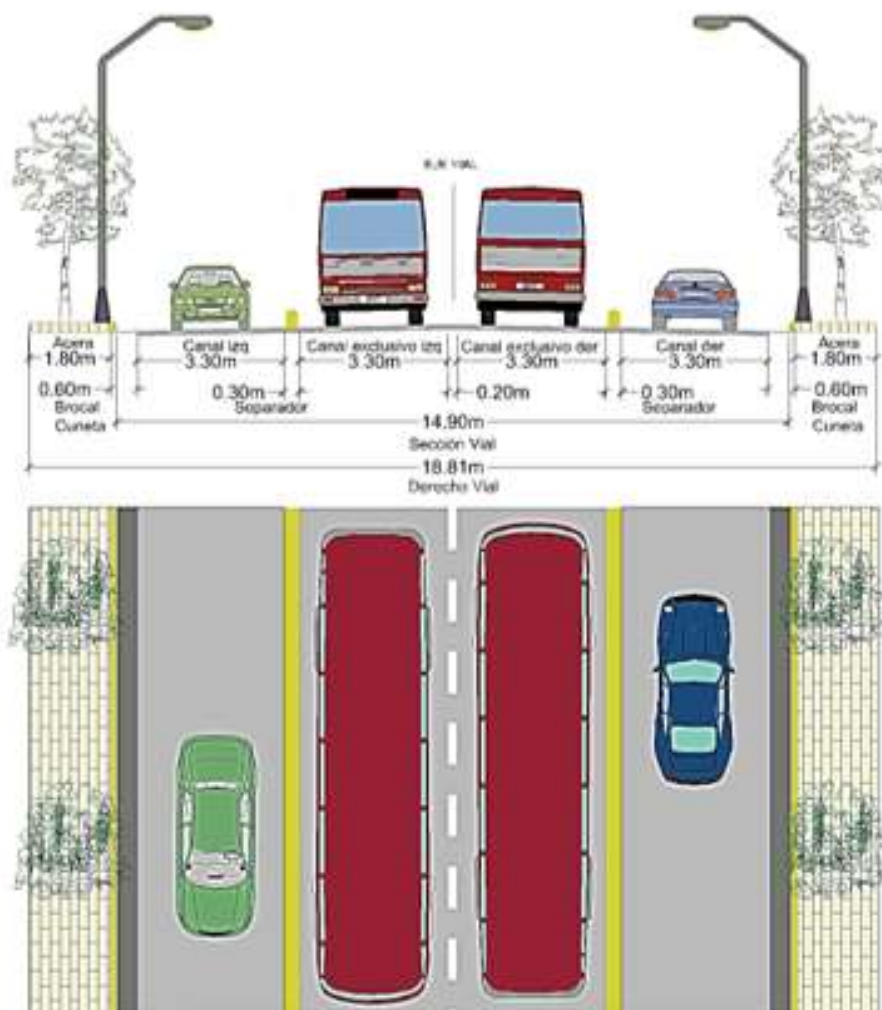


Figura 9. Propuesta Sistema BRT [5]

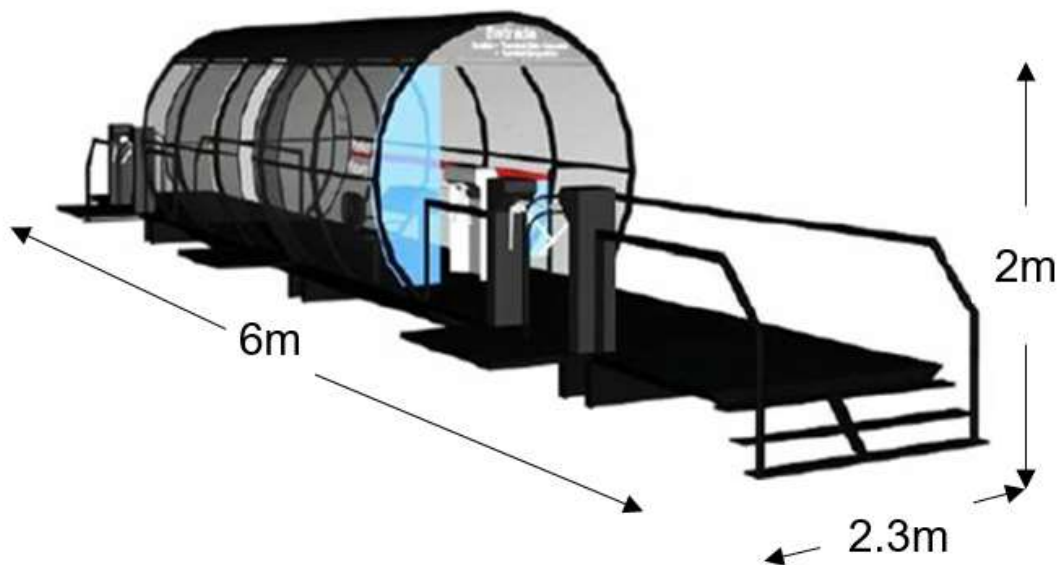


Figura 10. Diseño de parada para los usuarios [14]

### Referencias bibliográficas

- [1] J. Urdaneta, B. Aponte, O. Pena y R. Silva, “Las unidades de transporte de pasajeros en el municipio Maracaibo y su incidencia en el servicio de transporte público urbano”, *Universidad, Ciencia y Tecnología*, vol.15, no.59, pp. 93-102, 2011.
- [2] Organización Meteorológica Mundial (OMM), “Informe sobre el cambio climático en el mundo”. *Grupo de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible*, 2024. [En Línea]. Disponible en: <https://unsdg.un.org/es/latest/stories/cambio-clim%C3%A1tico-hay-un-80-de-probabilidades-de-que-el-planeta-siga-calent%C3%A1ndose-los>
- [3] ONU. Programa para el medio ambiente, “El aumento de las temperaturas mundiales es alarmante”, *United Nations Environment Programme*, 2022. [En Línea]. Disponible en: <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/el-aumento-de-las-temperaturas-mundiales-es-alarman>
- [4] Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, “INAMEH pronostica altas temperaturas los próximos días”, *INAMEH*, (s.f.). [En Línea]. Disponible en: <http://www.inameh.gob.ve/web/prensa/notic.php?n=2461> (1 febrero de 2024).
- [5] “¿Metrobús o BRT? Un sistema de transporte público que vino desde Brasil”, *Mapasin*, 2020. [En Línea]. Disponible en: <https://mapasin.org/blog/metrobus-o-brt-un-sistema-de-transporte-publico-que-vino-desde-brasil>
- [6] “Feliz cumple Maracaibo”, *Venezuela a escala*, 2011. [En Línea]. Disponible en: <http://vzlaaescala.blogspot.com/2011/09/feliz-cumple-maracaibo.html>
- [7] “¿Qué es la pila de hidrógeno y cómo funciona?”, *Mint*, 2024. [En Línea]. Disponible en: <https://mintforpeople.com/noticias/pila-hidrogeno/>
- [8] “Pilas de combustible de hidrógeno, limitaciones y una posible solución”, *Hive Blog*, 2021. [En Línea]. Disponible en: <https://hive.blog/hive-196387/@emiliomoron/pilas-de-combustible-de-hidrogeno-limitaciones-y-una-posible-solucion>
- [9] S. Alcalde, “Ventajas e inconvenientes del hidrógeno como combustible alternativo”, *National Geographic España*, 2023. [En Línea]. Disponible en: [https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/ventajas-e-inconvenientes-hidrogeno-como-combustible-alternativo\\_14897](https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/ventajas-e-inconvenientes-hidrogeno-como-combustible-alternativo_14897)

- [10] “Francia pone en marcha el primer BRT de hidrógeno del mundo”, *Interreg POCTEFA*, 2019. [En Línea]. Disponible en: <https://h2piyr.eu/es/francia-pone-en-marcha-el-primer-brt-100-de-hidrogeno-del-mundo/>
- [11] “Av. La Limpia de la ciudad de Maracaibo”, *Google Maps*, 2024. [En Línea]. Disponible en: [https://www.google.com/maps/@10.6687328,-71.6544496,14z/data=!5m1!1e2?entry=tu&g\\_ep=EgoyMDI1MDExNS4wIKXMDS0ASAFQAw%3D%3D](https://www.google.com/maps/@10.6687328,-71.6544496,14z/data=!5m1!1e2?entry=tu&g_ep=EgoyMDI1MDExNS4wIKXMDS0ASAFQAw%3D%3D) D
- [12] “Av. Bella Vista de la ciudad de Maracaibo”, *Google Maps*, 2024. [En Línea]. Disponible en: [https://www.google.com/maps/@10.6607381,-71.6176488,14.75z/data=!5m1!1e2?entry=tu&g\\_ep=EgoyMDI1MDExNS4wIKXMDS0ASAFQAw%3D%3D](https://www.google.com/maps/@10.6607381,-71.6176488,14.75z/data=!5m1!1e2?entry=tu&g_ep=EgoyMDI1MDExNS4wIKXMDS0ASAFQAw%3D%3D)
- [13] “Av. Bella Vista de la ciudad de Maracaibo”, *Google Maps*, 2024. [En Línea]. Disponible en: [https://www.google.com/maps/@10.6618036,-71.6585281,14.5z/data=!5m1!1e2?entry=tu&g\\_ep=EgoyMDI1MDExNS4wIKXMDS0ASAFQAw%3D%3D](https://www.google.com/maps/@10.6618036,-71.6585281,14.5z/data=!5m1!1e2?entry=tu&g_ep=EgoyMDI1MDExNS4wIKXMDS0ASAFQAw%3D%3D)
- [14] R.H.M. Godoi et al., “Risk assessment and spatial chemical variability of PM collected at selected bus stations”, *Researchgate*, 2013. [En Línea]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/258725463\\_Risk\\_assessment\\_and\\_spatial\\_chemical\\_variability\\_of\\_PM\\_collected\\_at\\_selected\\_bus\\_stations](https://www.researchgate.net/publication/258725463_Risk_assessment_and_spatial_chemical_variability_of_PM_collected_at_selected_bus_stations)

# Diseño de módulos de emergencia a base de concreto SugarCrete para poblaciones de Maracaibo, estado Zulia

*Design of emergency modules based on SugarCrete concrete for populations of Maracaibo, Zulia state*

**Pedro De J. Vásquez-Fuenmayor**

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

 <https://orcid.org/0009-0003-1674-9366> | Correo electrónico: [pjvasquezf@hotmail.com](mailto:pjvasquezf@hotmail.com)

Recibido:12-07-2024 Admitido:21-07-2024 Aprobado:01-08-2024

## Resumen

Las inundaciones por causas de lluvias recurrentes en la ciudad de Maracaibo, Zulia, Venezuela, han afectado la posibilidad de los habitantes de la ciudad a poder vivir en una vivienda de condiciones óptimas. A continuación, se propone una solución sostenible y de bajo costo para atender las necesidades habitacionales de las familias afectadas por las inundaciones recurrentes en la región del Maracaibo. La utilización de SugarCrete, un material de construcción elaborado a partir de bagazo de caña de azúcar, ofrece una alternativa viable para la construcción de módulos habitacionales temporales, resistentes y adaptados a las necesidades específicas de la comunidad.

**Palabras clave:** Inundaciones, viviendas temporales, SugarCrete, sostenibilidad, Maracaibo.

## Abstract

Floods due to recurrent rains in the city of Maracaibo, Zulia, Venezuela, have affected the possibility of the city's inhabitants to be able to live in housing with optimal conditions. Next, a sustainable and low-cost solution is proposed to meet the housing needs of families affected by recurrent floods in the Maracaibo region. The use of SugarCrete, a construction material made from sugarcane bagasse, offers a viable alternative for the construction of temporary, resistant and durable housing modules. adapted to the specific needs of the community.

**Keywords:** Floods, temporary housing, Sugar Crete, sustainability, Maracaibo.

## Planteamiento del problema

Las inundaciones recurrentes en la ciudad de Maracaibo, Venezuela, han desencadenado una serie de crisis humanitarias y socioeconómicas de considerable magnitud. Estos eventos hidrometeorológicos, intensificados por el cambio climático, han provocado el desplazamiento forzado de cientos de familias, generando una necesidad urgente de soluciones habitacionales temporales que garanticen la seguridad, la salud y el bienestar de la población afectada [1].

La situación actual exige la implementación de estrategias de respuesta inmediata y eficaces que trasciendan las medidas de atención a corto plazo. En este sentido, se hace evidente la necesidad de desarrollar soluciones habitacionales permanentes que sean sostenibles, resilientes y adaptables a las condiciones climáticas cambiantes de la región [2].

Sin embargo, la construcción de viviendas permanentes utilizando materiales de construcción tradicionales como el ladrillo y el cemento presenta serias limitaciones. La producción de estos materiales a gran escala genera un impacto ambiental significativo, incluyendo una elevada huella de carbono y un consumo considerable de recursos naturales. Además, su elevado costo dificulta el acceso a una vivienda digna para los sectores más vulnerables de la población.

Por otro lado, la gestión del bagazo de caña de azúcar, un subproducto abundante de la industria azucarera en la región, plantea un desafío ambiental y económico adicional. La acumulación y disposición

inadecuada de este residuo genera riesgos para la salud pública y el medio ambiente, mientras que su potencial aprovechamiento no ha sido plenamente explorado [3, 4].

En este contexto, surge la necesidad de buscar alternativas innovadoras y sostenibles para la construcción de viviendas en Maracaibo. El desarrollo de soluciones habitacionales a base de materiales ecológicos y de bajo costo, como el SugarCrete, representa una oportunidad para abordar de manera integral los desafíos planteados por las inundaciones recurrentes y contribuir al bienestar de las comunidades afectadas.

De lo anteriormente expuesto se desprende la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo puede el desarrollo de módulos habitacionales a base de SugarCrete contribuir a la construcción de un hábitat sostenible y resiliente en las zonas de Maracaibo propensas a inundaciones recurrentes?

### **Justificación**

Las inundaciones recurrentes en Maracaibo, ocasionadas por las intensas precipitaciones pluviales, han generado una crisis humanitaria de gran magnitud. Miles de familias han perdido sus hogares y se encuentran en situación de extrema vulnerabilidad, careciendo de refugio y acceso a servicios básicos. Esta situación exige una respuesta inmediata y efectiva para atender las necesidades habitacionales de la población afectada.

### **Sostenibilidad y bajo costo con SugarCrete**

El proyecto de construcción de módulos habitacionales a base de SugarCrete se presenta como una solución viable, sostenible y de bajo costo para enfrentar la crisis habitacional en Maracaibo. El SugarCrete, un material de construcción innovador elaborado a partir de bagazo de caña de azúcar, ofrece diversas ventajas que lo convierten en una alternativa atractiva para este contexto [5]:

**Sostenibilidad ambiental:** El SugarCrete es un material ecológico que contribuye a la reducción del impacto ambiental de la industria de la construcción. Su producción a partir de un residuo agroindustrial como el bagazo de caña de azúcar minimiza el uso de recursos naturales y la generación de desechos.

**Bajo costo:** La producción de SugarCrete es significativamente más económica que la de materiales tradicionales como el ladrillo o el concreto. Esto permite construir módulos habitacionales a un menor costo, optimizando los recursos disponibles para atender a un mayor número de familias afectadas.

**Propiedades técnicas adecuadas:** El SugarCrete presenta propiedades técnicas que lo hacen idóneo para la construcción de viviendas temporales. Su resistencia estructural, aislamiento térmico y acústico, y su adaptabilidad a diferentes diseños lo convierten en un material apropiado para las condiciones climáticas de Maracaibo.

### **Solución temporal con enfoque en la seguridad y el bienestar**

Los módulos habitacionales construidos con SugarCrete ofrecerán un refugio temporal, seguro y digno para las familias afectadas por las inundaciones. Se diseñarán considerando las necesidades específicas de la población, incluyendo aspectos culturales, sociales y ambientales. La construcción de estos módulos se realizará de manera participativa, involucrando a la comunidad en el proceso y garantizando su aceptación y apropiación del proyecto.

### **Contribución al bienestar Social y la sostenibilidad**

El proyecto no solo busca atender la necesidad inmediata de vivienda, sino que también persigue contribuir al bienestar social y la sostenibilidad ambiental de la región. La construcción de los módulos habitacionales generará oportunidades de empleo local, fortaleciendo las capacidades de la comunidad y promoviendo el desarrollo económico. Además, el uso de SugarCrete como material de construcción sostenible contribuirá a la reducción del impacto ambiental de la industria de la construcción en Maracaibo. En definitiva, el proyecto de construcción de módulos habitacionales a base de SugarCrete se justifica por su capacidad para brindar una solución viable, sostenible, de bajo costo y con enfoque en el bienestar de las familias afectadas por las

inundaciones en Maracaibo. Esta iniciativa representa una oportunidad para atender la crisis habitacional de manera efectiva, contribuyendo al mismo tiempo al desarrollo social y la sostenibilidad ambiental de la región.

## **Objetivos de la investigación**

### **Objetivo general**

Diseñar módulos habitacionales temporales a base de SugarCrete para la población afectada por las inundaciones en Maracaibo, estado Zulia, Venezuela.

### **Objetivos específicos**

Diagnosticar de forma integral las necesidades habitacionales de la población afectada, considerando aspectos sociales, económicos, culturales y ambientales.

Analizar las propiedades del SugarCrete como material de construcción.

Diseñar diferentes modelos de módulos habitacionales a base de SugarCrete, adaptados a las condiciones climáticas, culturales y a las necesidades específicas de la población.

Construir un prototipo de módulo habitacional a base de SugarCrete, involucrando a la comunidad en el proceso de construcción y evaluación.

Evaluar el desempeño del prototipo de módulo habitacional en cuanto a su resistencia estructural, aislamiento térmico y acústico, habitabilidad y aceptación por parte de la comunidad.

## **Metodología**

La metodología del proyecto se estructura en dos etapas:

### **1. Etapa de diagnóstico y sensibilización**

#### **1.1. Recopilación de Información:**

Se realizará un censo exhaustivo de la población afectada por las inundaciones, abarcando aspectos demográficos, sociales, económicos y habitacionales.

Se aplicarán encuestas estructuradas para comprender las necesidades específicas de las familias en cuanto a vivienda, servicios básicos, infraestructuras y condiciones socioeconómicas.

Se organizarán grupos focales y entrevistas individuales para profundizar en la percepción de la comunidad sobre la problemática y las expectativas en relación con las soluciones habitacionales.

#### **1.2. Socialización y participación comunitaria**

Se llevarán a cabo talleres informativos para presentar el proyecto a la comunidad, explicar sus objetivos, alcances y beneficios.

Se establecerá un comité comunitario permanente, conformado por representantes de las familias afectadas, autoridades locales, organizaciones sociales y entidades académicas.

El comité comunitario participará activamente en todas las etapas del proyecto, desde la identificación de necesidades hasta la evaluación de los resultados.

## 2. Etapa de diseño y desarrollo

### 2.1. Investigación y análisis del material

Se realizará una revisión exhaustiva de la literatura científica sobre las propiedades del SugarCrete como material de construcción, incluyendo su resistencia estructural, aislamiento térmico y acústico, durabilidad y comportamiento frente a diversos agentes ambientales.

Se analizarán las características técnicas del SugarCrete disponible en la región, considerando su composición, resistencia, dimensiones y otros aspectos relevantes para su aplicación en la construcción de módulos habitacionales.

Se establecerán contactos con empresas y entidades especializadas en la producción y comercialización de SugarCrete para obtener información técnica adicional y explorar posibles colaboraciones.

### 2.2. Diseño de módulos habitacionales

Se desarrollarán diferentes modelos de módulos habitacionales a base de SugarCrete, tomando en cuenta las necesidades identificadas en la etapa de diagnóstico, las características del material y las condiciones climáticas de la región.

Los diseños se elaborarán con la participación activa del comité comunitario y de expertos en arquitectura, ingeniería y construcción.

Se considerarán aspectos como la distribución espacial, la funcionalidad, la accesibilidad, la ventilación natural, la iluminación y la eficiencia energética, buscando optimizar el confort y la habitabilidad de los módulos.

### 2.3. Elaboración de planos y especificaciones técnicas

Se elaborarán planos detallados de cada modelo de módulo habitacional, incluyendo plantas, cortes, elevaciones y detalles constructivos.

Se desarrollarán especificaciones técnicas completas que definan los materiales, las técnicas de construcción, los acabados y los requerimientos de calidad para cada elemento del módulo.

La documentación técnica será revisada y aprobada por profesionales calificados en arquitectura e ingeniería, asegurando el cumplimiento de las normas de construcción vigentes.

## Resultados esperados

Se espera que el proyecto tenga un impacto positivo en la calidad de vida de la población afectada en la ciudad de Maracaibo, Zulia, a través de:

Suministro de soluciones habitacionales dignas y seguras.

Fomento del desarrollo social.

Contribución a la sostenibilidad ambiental.

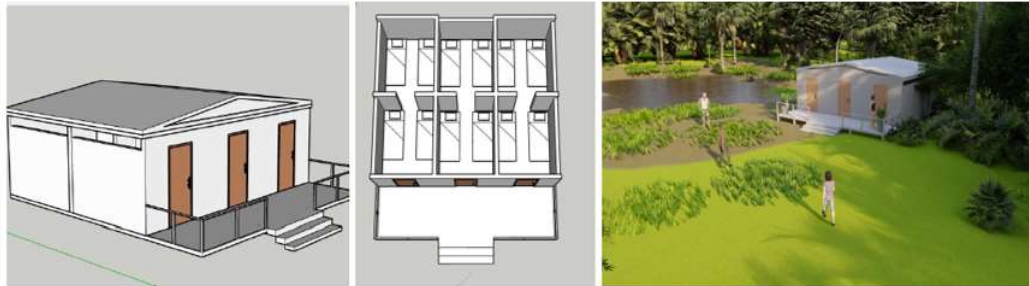
Fortalecimiento de las capacidades locales.

**Tabla 1. Propiedades del SugarCrete [6]**

Propiedades	SugarCrete	Concreto tradicional
Dimensiones	100 x 100 x 100	65 x 215 x 102.5
Conductividad térmica	0.065 W/mK	0.025 W/mK
Peso unitario	0.445 kg	2.60 kg
Emisiones de huella de carbono	-0.061 kg COe	0.63 kg COe



Facilidad de trabajo	Más fácil de mezclar y verter	Más difícil de mezclar y verter
Tiempo de curado	24-48 horas	28 días
Sostenibilidad	Hecho con materiales reciclados y de origen natural	Hecho con materiales no renovables
Aspecto	Se puede pigmentar y texturizar	Aspecto gris monótono



**Figura 1. Propuesta de diseño de un módulo habitacional a base de SugarCrete [5]**

### Resultados esperados

El proyecto “Diseño de módulos de emergencia a base de concreto SugarCrete para la población de la ciudad de Maracaibo, Estado Zulia” ofrece una solución viable, sostenible y de bajo costo para atender las necesidades habitacionales de las familias afectadas por las inundaciones recurrentes en la ciudad de Maracaibo. La utilización de SugarCrete como material de construcción permite la construcción de módulos habitacionales temporales resistentes, adaptados a las necesidades específicas de la comunidad y con un bajo impacto ambiental. La implementación de este proyecto contribuirá al desarrollo social, económico y ambiental de la región, promoviendo el bienestar de la población afectada y sentando las bases para soluciones habitacionales permanentes más sostenibles en el futuro.

### Referencias bibliográficas

- [1] Programa Venezolano de Educación Acción en Derechos Humanos, “Informe sobre la situación de vivienda en Catatumbo, Zulia”, *Scribd*, 2022. [En Línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/103074354/Informe-diagnostico-de-la-Gran-Mision-Vivienda-Venezuela>
- [2] F. F. Bekker, M. Vyver, y M. L. Roux, “Design and construction of sugarcete emergency shelters”, *Disaster Management & Humanitarianism*, vol. 23, no. 1, pp. 78-88, 2018.
- [3] A. K. Dixit, S. Pandey, y P. Bhargava, “Social and environmental impact of sugarcete housing in developing countries”, *Sustainable Cities and Society*, vol. 59, 102339, 2020.
- [4] J. Davidovits, “Sugarcete: An alternative building material for sustainable construction”, *Journal of Sustainable Development*, vol. 17, no. 4, pp. 290-306, 2004.
- [5] Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Estudio sobre el uso de materiales alternativos en la construcción de viviendas de emergencia, 2021. [En Línea]. Disponible en: <https://www.undp.org/facs?>
- [6] M. A. Abdullah, M. M. Al-Amri, A. Al-Shameri, y A. A. Al-Othman, “Properties and applications of sugarcete: A literature review”, *International Journal of Civil Engineering and Surveying*, vol. 6, no. 2, pp. 114-121, 2015.



# Equipamiento urbano como propuesta para mejorar la sensación térmica en la zona metropolitana de Maracaibo

*Urban equipment as a proposal to improve the thermal sensation in the metropolitan area of Maracaibo*

**Ricardo D. Arellanes-Fuenmayor**

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

<https://orcid.org/0009-0004-8934-0366> Correo electrónico: [ricardoare385@gmail.com](mailto:ricardoare385@gmail.com)

Recibido:12-07-2024 Admitido:21-07-2024 Aprobado:01-08-2024

## Resumen

Esta investigación examina el calentamiento global y su impacto en Maracaibo, Venezuela, con énfasis en las altas temperaturas. Propone soluciones urbanas innovadoras como arborización y fuentes de agua para mitigar el calor y mejorar la calidad ambiental, aspirando a reducir la temperatura en 2°C y mejorar la filtración de aire. Aborda la problemática del cambio climático y sus efectos adversos, subrayando la gravedad en Maracaibo. Propone equipamientos urbanos con agua para combatir el calor y mejorar la calidad de vida. Se establecen objetivos y una metodología detallada para implementar estas medidas, con énfasis en la sostenibilidad y el impacto positivo en la comunidad.

**Palabras clave:** Arborización, equipamientos urbanos, calentamiento global.

## Abstract

*This research examines global warming and its impact on Maracaibo, Venezuela, with emphasis on high temperatures. It proposes innovative urban solutions such as tree planting and water sources to mitigate heat and improve environmental quality, aiming to reduce temperature by 2°C and improve air filtration. Addresses the problem of climate change and its adverse effects, highlighting the severity in Maracaibo. It proposes urban facilities with water to combat the heat and improve the quality of life. Objectives and a detailed methodology are established to implement these measures, with emphasis on sustainability and positive impact on the community.*

**Keywords:** Arborization, urban facilities, global warming.

## Planteamiento del problema

El IPCC [1] señala que el cambio climático implica no solo un aumento de las temperaturas medias globales, sino también una serie de fenómenos adversos como desastres naturales, cambios en los hábitats de la fauna y la flora, y la subida del nivel del mar. Estos efectos se deben principalmente a la acumulación de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono y el metano, en la atmósfera. En Maracaibo, la situación es particularmente grave debido a su ubicación geográfica y condiciones climáticas extremas. Las temperaturas elevadas han generado un impacto significativo en la salud de los habitantes, la economía local y la infraestructura urbana.

Estudios recientes han encontrado que existe una relación no lineal entre la productividad y la temperatura a nivel global. En el caso específico de Venezuela, “el aumento de la temperatura media global entre 2010 y 2020 ha contribuido a una reducción del PIB per cápita entre 0,97% y 1,30% . Se estima que para el año 2030, el cambio climático habrá ocasionado una pérdida del 10% del PIB de Venezuela, y para 2080” [2, Parr. 17], una pérdida superior al 25% en la producción de cultivos debido a las altas temperaturas. En Maracaibo, esta situación se ve agravada por olas de calor extremas que son causadas por anticiclones en niveles medios-altos, lo que inhibe la formación de nubes y empuja la humedad fuera del territorio hacia regiones vecinas como Brasil y Guyana [3].

A mediados de 2024, la noticia del derretimiento del último glaciar en Venezuela destacó aún más la gravedad de la situación climática en el país. La desaparición de La Corona, “el último glaciar que se redujo de más de 1.100 hectáreas a menos de cinco, marcó un hito preocupante y convirtió a Venezuela en el único país de la cordillera de los Andes sin glaciar” [4, Parr. 1]. Este hecho resalta la urgencia de implementar medidas efectivas para mitigar los efectos del cambio climático.

En la COP28 de diciembre de 2023, se concluyó con un llamamiento global a “alejarse” de los combustibles fósiles. Según la nota de prensa publicada por Naciones Unidas tras la conclusión de la reunión, el secretario general, Antonio Guterres, afirmó que limitar el calentamiento global a 1,5°C, uno de los objetivos clave establecidos en el histórico Acuerdo de París de 2015, “será imposible sin la eliminación progresiva de todos los combustibles fósiles” [5]. Este llamado subraya la necesidad urgente de adoptar estrategias sostenibles y eficientes para combatir el cambio climático y proteger el medio ambiente.

Como consecuencia se presencia la búsqueda de contrarrestar dicha problemática desde la fuente que los origina, la producción del CO<sub>2</sub>; sin embargo, hay diversas alternativas de reducir las emisiones del mismo, siendo la principal la reducción de los combustibles fósiles que producen estos gases que afectan el ambiente. A pesar de presentar un cambio progresivo con respecto al tema, la atmósfera pueden tardar un largo período de tiempo para recuperarse de estas emisiones: La ONU establece que “el CO<sub>2</sub> permanece en la atmósfera hasta mil años, el metano durante alrededor de una década y el óxido nitroso durante aproximadamente 120 años” [6, Parr. 7]. No obstante, no solo las emisiones de CO<sub>2</sub> producen estas consecuencias “medido durante un período de 20 años, el metano tiene un potencial de calentamiento 80 veces mayor que el CO<sub>2</sub>, mientras que el óxido nitroso es hasta 280 veces más potente” [6, Parr. 7].

Por lo que al ver las situaciones presentadas, y las limitantes al buscar soluciones directamente contra las emisiones de CO<sub>2</sub> y los otros gases que afectan la atmósfera, surge un método para tratar de reducir la temperatura delimitando la propuesta en las zonas urbanas de la ciudad, la cual consiste en la construcción de equipamientos urbanos en distintos puntos de la ciudad, preferiblemente donde se compartan espacios sociales, presentando mayor densidad demográfica, lo cual hace sustancial este aspecto al momento de realizar la investigación. Los equipamientos propuestos se fundamentan especialmente en el uso de agua, con lo que da paso a la interrogante que define la investigación: ¿Qué efecto producen los equipamientos de agua en la reducción de la sensación térmica en las zonas urbanas de la ciudad de Maracaibo?

### Justificación

Al presentar la formulación del problema se refleja que la investigación busca aportar una solución concreta a la problemática del aumento de la temperatura en Maracaibo mediante la implementación de equipamientos de índole urbano, específicamente los espejos y fuentes de agua, los cuales no solo ayudarán a reducir la temperatura y mejorar la calidad del aire, sino que también contribuirán al embellecimiento de los espacios urbanos y al bienestar de los habitantes.

El agua presenta ciertas características que permiten de cierta manera, absorber el calor, según estudios realizados por Fundación AQUAE (2021): “El agua absorbe grandes cantidades de calor que utiliza en romper los puentes de hidrógeno”, donde la principal razón de las mismas es por las propiedades químicas de las mismas con respecto al medio ambiente “se trata de un tipo de interacción de carácter molecular que se produce entre las moléculas de agua y que resulta tan fuerte que obliga a que sea necesaria mucha energía para hacerlas vibrar y que aumenten de temperatura” [7, Parr. 8]. Sin embargo, al destacar estas propiedades del agua con el medio ambiente, es evidente que la misma genera un cambio de la sensación térmica, según estudios: el hecho de que el agua tenga una capacidad calorífica tan alta es una propiedad importante, puesto que contribuye a la regulación meteorológica y del clima. Esto ya que, “al ser muy elevado el CP del agua, las grandes masas acuáticas regulan las fluctuaciones extremas, en particular las temperaturas” [7, Parr. 9]. Por lo que la propuesta de los equipamientos de agua funciona para tratar de reducir la temperatura en la ciudad.

## Objetivos de la investigación

Teniendo como antecedentes distintas zonas y plazas en la ciudad de Maracaibo, las cuales poseen ciertos equipamientos acuíferos para el embellecimiento del sitio, que en la actualidad se encuentran completamente abandonados y en desuso, en este trabajo se plantean los siguientes objetivos:

### Objetivo general

Proponer el equipamiento urbano para mejorar la sensación térmica en la zona metropolitana de Maracaibo.

### Objetivos específicos

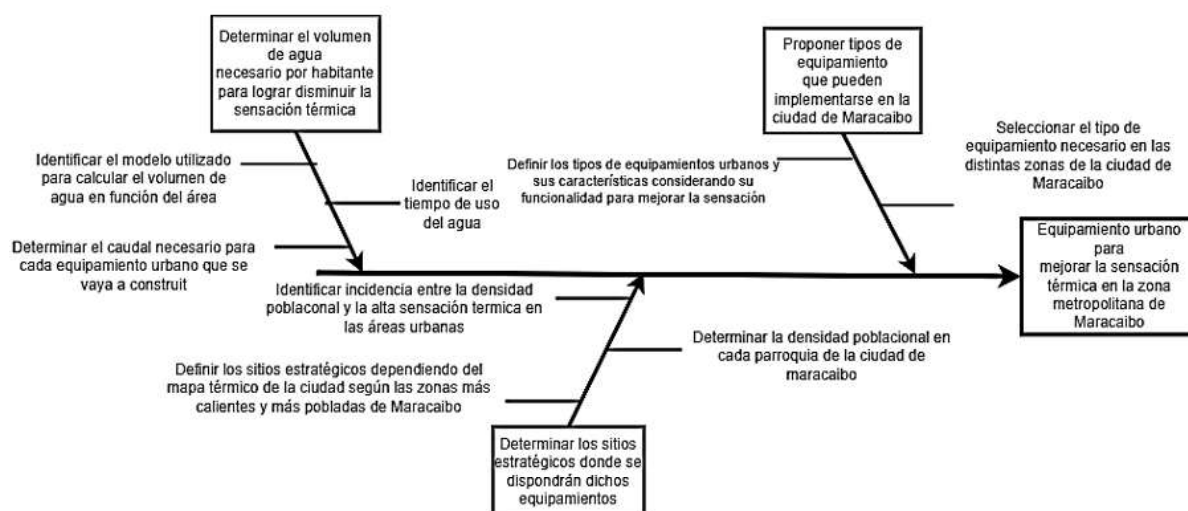
Estimar el volumen de agua necesario por habitante para disminuir la sensación térmica.

Determinar los sitios estratégicos donde se dispondrán los equipamientos urbanos.

Proponer diferentes tipos de equipamiento urbano que pueden implementarse en la ciudad de Maracaibo.

## Metodología

La presente investigación tiene sus fundamentos en la utilización del agua en algunos equipamientos urbanos para combatir las altas temperaturas en Maracaibo, el mismo consistirá en una propuesta para clacular la cantidad de agua necesaria, identificar las zonas que tienen mayor sensación térmica en la ciudad y proponer, dependiendo de los factores anteriormente mencionados, distintos equipamientos que puedan contrarrestar el calor de dichas zonas. La metodología para dicha propuesta consiste en la aplicación del presente diagrama (Figura 1):



**Figura 1. Metodología planteada para la propuesta de implementación de equipamientos urbanos en la ciudad de Maracaibo para disminuir la altas temperaturas en la ciudad de Maracaibo.**

## Propuesta

Una vez presentado el esquema que funciona como plan de equipamiento urbano para la ciudad de Maracaibo, se destaca que se deben cumplir ciertos pasos, y definir algunos parámetros para la correcta ejecución del mismo.

La primera dase consiste en la determinación del volumen de agua necesario por habitante para lograr el objetivo de disminuir la sensación térmica, la misma se compone de:

## 1. Cálculo del volumen de agua por habitante

En esta subfase, se determinará el volumen de agua necesario por habitante para reducir la sensación térmica en la ciudad de Maracaibo. Esto implica:

- Recolección de datos climáticos: Se recopilarán datos históricos sobre las temperaturas y la humedad en Maracaibo para comprender mejor las condiciones climáticas locales.
- Estudio de casos previos: Se analizarán estudios y proyectos similares en otras ciudades con condiciones climáticas comparables para estimar el volumen de agua efectivo en la reducción de la sensación térmica.
- Encuestas y entrevistas: Se realizarán encuestas a los habitantes de Maracaibo para obtener información sobre su percepción de la sensación térmica y su disposición a interactuar con fuentes y construcciones de agua.

### 1.1. Determinación del caudal requerido para cada equipamiento urbano

En esta subfase, se calculará el caudal de agua necesario para cada tipo de equipamiento urbano, como fuentes y espejos de agua, que se implementarán en Maracaibo. Esto incluye:

- Diseño y dimensiones de equipamientos: Definir las dimensiones y características técnicas de las fuentes y espejos de agua, adaptadas a los espacios urbanos disponibles en Maracaibo.
- Modelos hidráulicos: Utilizar modelos hidráulicos para simular el comportamiento del agua en los equipamientos y calcular el caudal óptimo para maximizar el enfriamiento del ambiente.
- Evaluación de eficiencia: Realizar pruebas y simulaciones para evaluar la eficiencia del caudal propuesto en la reducción de la sensación térmica.

### 1.2. Identificación del tiempo de uso del agua

En esta subfase, se determinará el tiempo óptimo durante el cual el agua debe estar en uso para lograr una reducción efectiva de la sensación térmica en Maracaibo. Esto implica:

- Análisis de patrones climáticos: Estudiar los patrones diarios y estacionales de temperatura en Maracaibo para identificar los períodos de mayor calor y adaptar el uso del agua en consecuencia.
- Estudio de consumo energético: Analizar el consumo energético asociado al funcionamiento continuo de los equipamientos de agua y encontrar un equilibrio entre eficacia y sostenibilidad.
- Pruebas de campo: Implementar pruebas piloto con diferentes tiempos de uso del agua y medir el impacto en la sensación térmica de los espacios urbanos durante estos períodos.

Esta primera fase es fundamental para establecer una base sólida y científica que sustente la implementación de fuentes y construcciones de agua como medidas para mejorar la sensación térmica en la zona metropolitana de Maracaibo. La combinación de análisis de datos, simulaciones y pruebas de campo permitirán diseñar un sistema eficiente y adaptado a las necesidades específicas de la ciudad. De acuerdo a estudios realizados, “cuando se aplica 1L/m<sup>2</sup> de agua, la humedad de las calles puede disminuir la temperatura del aire en 2-4.°C” [8, Parr. 2]. De esta forma, tomando como referencia el volumen de agua que se consume por cada habitante, este es de aproximadamente 100 Lt/día, la operación se resume en una regla de tres, donde se necesita determinar la población de cada parroquia, lo cual da paso a la siguiente fase:

## 1. Identificación de la incidencia entre la densidad poblacional y la alta sensación térmica en las áreas urbanas

En esta fase, se analizará cómo la densidad poblacional influye en la sensación térmica en diferentes áreas urbanas de Maracaibo. Esto implica:

- Recopilación de datos demográficos: Obtener datos detallados sobre la densidad poblacional de las distintas áreas urbanas de Maracaibo.

- Estudios de sensación térmica: Realizar estudios y encuestas en las áreas urbanas para identificar la correlación entre la densidad de población y la percepción de calor.
- Mapeo de zonas críticas: Crear un mapa que superponga la densidad poblacional con las zonas de mayor sensación térmica, destacando las áreas críticas que necesitan intervención.

## 2.1. Determinación de la densidad poblacional en cada parroquia de la ciudad de Maracaibo

En esta subfase, se evaluará la densidad poblacional específica de cada parroquia de Maracaibo para identificar las áreas con mayor necesidad de equipamientos urbanos. Esto incluye:

- Análisis censal: Utilizar datos censales recientes para calcular la densidad poblacional en cada parroquia.
- Segmentación por parroquias: Dividir la ciudad en sus parroquias y analizar individualmente la densidad de cada una.
- Visualización de datos: Crear gráficos y mapas que representen visualmente la densidad poblacional en las diferentes parroquias, facilitando la identificación de las áreas más densamente pobladas, tal como se muestra en la Figura 2.

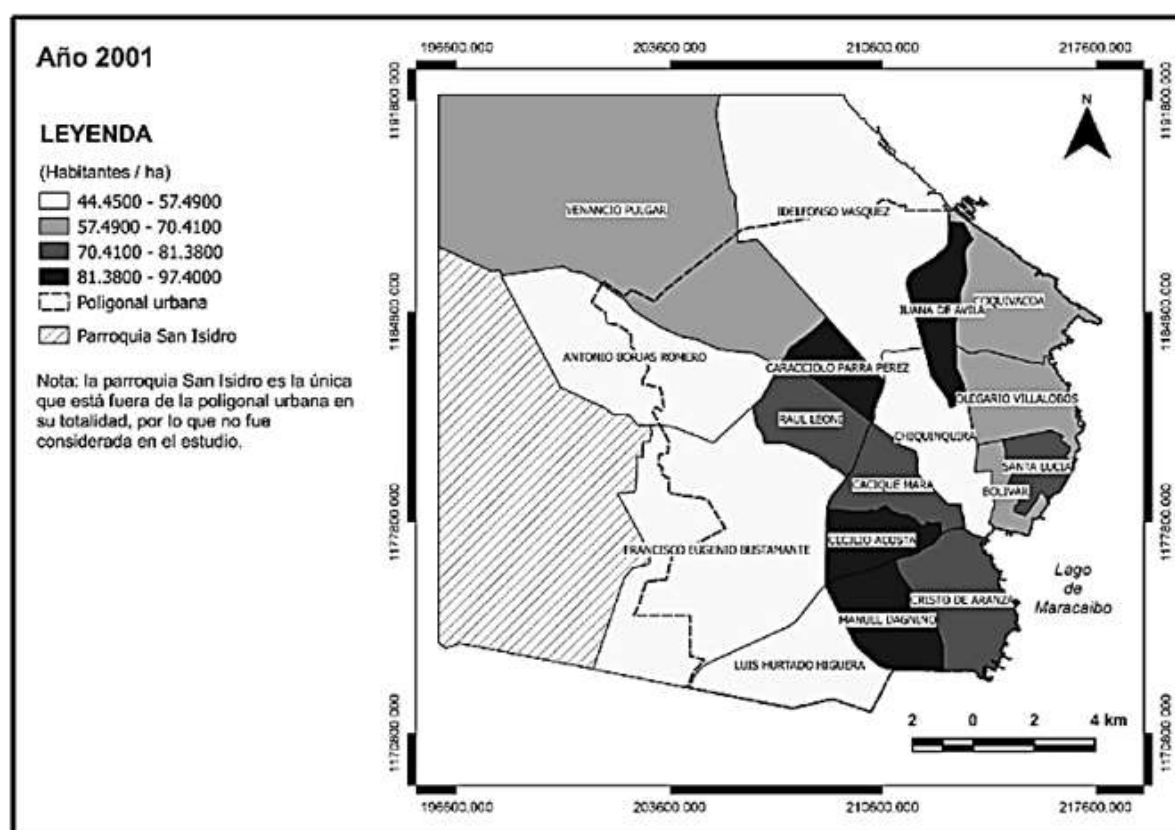


Figura 2. Datos de densidad poblacional por parroquias en el estado Zulia

## 2. Definición de los sitios estratégicos dependiendo del mapa térmico de la ciudad según las zonas más calientes y más pobladas de Maracaibo

En esta fase, se definirán los sitios estratégicos para la disposición de los equipamientos urbanos utilizando un mapa térmico de la ciudad. Esto implica:

- Creación del mapa térmico: Utilizar tecnologías de teledetección y análisis geoespacial para crear un mapa térmico detallado de Maracaibo, identificando las zonas más calientes.



- Análisis combinado de datos: Superponer el mapa térmico con los datos de densidad poblacional para identificar las áreas que son tanto las más calientes como las más pobladas.

- Selección de sitios estratégicos: Definir los sitios específicos para la instalación de fuentes y construcciones de agua en función de su potencial para reducir la sensación térmica en las zonas más críticas.

Esta fase es crucial para asegurar que los equipamientos urbanos se coloquen en los lugares donde tendrán el mayor impacto en la reducción de la sensación térmica. Al combinar datos de densidad poblacional y temperatura, se puede maximizar la eficacia de las intervenciones y mejorar significativamente el clima urbano en Maracaibo. Todos los aspectos que se proponen identificar son esenciales para determinar los lugares donde dispondrán dichos dispositivos, teniendo en cuenta que la densidad poblacional y el efecto de calor están unidos ya que de acuerdo a Battista, “edificios, carreteras y otras infraestructuras urbanas normalmente tienen muy poco albedo y, por lo tanto, absorben y retienen el calor del sol más que los entornos naturales” [9, Parr. 11]. Donde al haber más concentración urbana, hay mayor cantidad de edificaciones, y al tener identificados estos puntos por cada parroquia se procede a la última y definitiva fase:

### **3. Tipos de equipamiento que pueden implementarse en la ciudad de Maracaibo**

En esta fase, se identificarán y definirán los tipos de equipamientos urbanos con agua que se pueden implementar en Maracaibo, considerando sus características y funcionalidad para mejorar la sensación térmica. Esto implica:

- Investigación de equipamientos existentes: Estudiar diferentes tipos de equipamientos urbanos con agua utilizados en otras ciudades con climas similares, como fuentes, espejos de agua, estanques, y sistemas de nebulización.

En las Figuras 3 y 4 se muestran equipamientos urbanos que pueden emplearse en la ciudad de Maracaibo.



**Figura 3. Fuente ornamental [10]**



**Figura 4. Espejo de agua [11]**

-Evaluación de características técnicas: Definir las características técnicas y funcionales de cada tipo de equipamiento, incluyendo su tamaño, capacidad de enfriamiento, consumo de agua y energía, y mantenimiento requerido.

- Funcionalidad y eficacia: Analizar cómo cada tipo de equipamiento contribuye a reducir la sensación térmica, evaluando aspectos como la evaporación del agua, la generación de sombra y la mejora de la humedad relativa en el ambiente.

#### **4. Selección del tipo de equipamiento necesario en las distintas zonas de la ciudad de Maracaibo**

En esta subfase, se seleccionarán los tipos de equipamientos más adecuados para las diferentes zonas de Maracaibo, basándose en las características y necesidades específicas de cada área. Esto incluye:

- Análisis de zonas de implementación: Utilizar los resultados de las fases anteriores para identificar las zonas específicas de Maracaibo que necesitan intervención, basándose en la densidad poblacional y las temperaturas elevadas.

- Adaptación de equipamientos a zonas: Evaluar cuáles tipos de equipamientos son más adecuados para cada zona, considerando factores como el espacio disponible, el acceso a recursos hídricos, y la interacción con la comunidad local.

- Propuesta de implementación: Elaborar una propuesta detallada que indique qué tipo de equipamiento se implementará en cada zona, justificando la elección basada en su capacidad para mejorar la sensación térmica y su adaptabilidad a las condiciones locales.

Esta fase es fundamental para garantizar que los equipamientos urbanos seleccionados no solo sean efectivos en la mejora de la sensación térmica, sino que también sean adecuados para las condiciones específicas de cada área de Maracaibo. Al definir claramente los tipos de equipamientos y su implementación estratégica, se puede maximizar el impacto positivo en el clima urbano de la ciudad.

#### **Recomendaciones**

La implementación de fuentes y espejos de agua en áreas urbanas puede contribuir significativamente a la mejora de la calidad del aire. Estos equipamientos aumentan la humedad relativa y reducen la cantidad de polvo y contaminantes en el aire. En Maracaibo, donde las altas temperaturas exacerban la calidad del aire, esta medida puede disminuir la incidencia de problemas respiratorios y mejorar la salud pública. Las islas de calor urbanas son áreas metropolitanas que experimentan temperaturas más altas que sus alrededores debido a actividades humanas y la concentración de superficies absorbentes de calor. La introducción de cuerpos de

agua puede mitigar este efecto al proporcionar áreas de enfriamiento natural. La reducción de la isla de calor urbana puede traducirse en temperaturas más manejables, especialmente durante los meses más calurosos.

La creación de fuentes y espejos de agua también añade valor estético y recreativo a las zonas urbanas. Estos espacios no solo ayudan a bajar la temperatura sino que también se convierten en puntos de encuentro y recreación para los habitantes. En una ciudad como Maracaibo, que sufre de altas temperaturas y densidad urbana, estos espacios verdes pueden mejorar la calidad de vida y fomentar un mayor sentido de comunidad. Equipamientos urbanos como las fuentes de agua pueden ayudar a reducir la demanda de energía para la refrigeración. Al enfriar naturalmente el entorno, disminuyen la necesidad de aire acondicionado, lo que se traduce en un menor consumo de energía y una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Esto es particularmente relevante en Maracaibo, donde el consumo energético para enfriamiento es considerablemente alto.

La incorporación de atractivos urbanos como fuentes y espejos de agua puede incrementar el atractivo turístico de Maracaibo. Estos equipamientos no solo mejoran la calidad de vida de los residentes, sino que también atraen a visitantes y fomentan el desarrollo económico local. Al hacer de Maracaibo una ciudad más agradable y estéticamente atractiva, se pueden generar nuevas oportunidades para el comercio y el turismo. Antes de implementar equipamientos urbanos con agua, es crucial evaluar la disponibilidad y sostenibilidad de los recursos hídricos. En Maracaibo, donde el acceso al agua puede ser limitado, se debe asegurar que estos proyectos no comprometan el suministro de agua potable para los habitantes. Es recomendable usar agua reciclada o de lluvia para estos equipamientos.

La ubicación de las fuentes y espejos de agua debe ser estratégicamente planificada. Es fundamental identificar las áreas con mayor densidad poblacional y mayor exposición a altas temperaturas. Se deben priorizar zonas urbanas densamente pobladas y con menor cobertura vegetal para maximizar el impacto positivo de estos equipamientos. La integración de nuevos equipamientos urbanos debe considerar las infraestructuras existentes. Es importante que las fuentes y espejos de agua se diseñen para complementar y mejorar las áreas urbanas ya desarrolladas sin causar inconvenientes. En Maracaibo, esto puede incluir la mejora de plazas públicas, parques y áreas recreativas.

Un aspecto clave para el éxito de estos equipamientos es su mantenimiento regular y gestión sostenible. Se debe establecer un plan de mantenimiento que incluya la limpieza y revisión periódica de las fuentes y espejos de agua para garantizar su funcionamiento eficiente. En Maracaibo, la colaboración entre las autoridades municipales y las comunidades locales puede ser esencial para mantener estos espacios en condiciones óptimas. Para asegurar la efectividad y sostenibilidad de los equipamientos urbanos, es crucial involucrar a la comunidad y educar a los ciudadanos sobre los beneficios de estos proyectos. Las campañas de sensibilización pueden ayudar a fomentar el cuidado y uso adecuado de estos espacios, promoviendo una mayor participación comunitaria y un sentido de responsabilidad compartida en la mejora del entorno urbano.

Estas recomendaciones, junto con los beneficios discutidos, pueden ayudar a transformar Maracaibo en una ciudad más habitable y resiliente frente al cambio climático, mejorando significativamente la calidad de vida de sus habitantes.

### **Referencias bibliográficas**

- [1] F. Ortuzar, “Sexto informe del IPCC: La cruda realidad que debemos enfrentar con agencia y es’peranza”, AIDA, 2021. [En Línea]. Disponible en: <https://aida-americas.org/es/blog/el-sexto-informe-del-ipcc-la-cruda-realidad-que-debemos-enfrentar-con-agencia-y-esperanza?>
- [2] A. R. Cardozo, “La lucha contra el cambio climático en Venezuela”, DW, 2022. [En Línea]. Disponible en: <https://www.dw.com/es/la-lucha-contra-el-cambio-clim%C3%A1tico-en-venezuela/a-64201208>
- [3] “Maracaibo es la región de Suramérica que se ha calentado más en en las últimas décadas”, Notizulia, 2024. [En Línea]. Disponible en: <https://notizulia.net/maracaibo-es-la-region-de-suramerica-que-se-ha-calentado-mas-en-las-ultimas-decadas/>

- [4] A. V. Herrero, “Venezuela perdió su último glaciar con la desaparición de La Corona”. Infobae, 2024. [En Línea]. Disponible en: <https://www.infobae.com/wapo/2024/05/15/venezuela-perdio-su-ultimo-glaciar-con-la-desaparicion-de-la-corona/>
- [5] Naciones Unidas, “COP28: La Conferencia concluye con un llamamiento a “alejarse” de los combustibles fósiles; la ONU afirma que la eliminación es inevitable”, Noticias ONU, 2023. [En Línea]. Disponible en: <https://news.un.org/es/story/2023/12/1526407>
- [6] “¿Sabes cómo se calienta la atmósfera a causa de los gases de efecto invernadero?”, UNEP, 2022. [En Línea]. Disponible en: <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/reportajes/sabes-como-se-calienta-la-atmosfera-causa-de-los-gases-de-efecto>
- Fundación Aquae. (2021, 27 septiembre). ¿Qué es el agua? Tipos, composición y funciones - Fundación Aquae. Recuperado 27 de marzo de 2022, de <https://www.fundacionaquae.org/wiki/que-es-el-agua/>
- [7] “¿Qué es el CP del agua?”, Fundación AQUAE, 2021. [En Línea]. Disponible en: <https://www.fundacionaquae.org/wiki/cp-del-agua/#:~:text=Su%20importancia%20para%20regular%20la%20temperatura&text=Esto%20se%20debe%20a%20que,una%20gran%20cantidad%20de%20calor>
- [8] “Usos del agua para hacer frente a las olas de calor en las ciudades”. Climate ADAPT, 2023. [En Línea]. Disponible en: <https://climate-adapt.eea.europa.eu/es/metadata/adaptation-options/water-uses-to-cope-with-heat-waves-in-cities#:~:text=Cuando%20se%20aplica%201L%2Fm%C2%B2,hasta%2035%20metros%20de%20distancia>
- [9] A. Hernandez. “¿A qué se deben las altas temperaturas en México?”, Expreso UMOV, 2024. [En Línea]. Disponible en: <https://universidadenlinea.umov.mx/2024/04/19/a-que-se-deben-las-altas-temperaturas-en-mexico/#:~:text=Edificios%2C%20carreteras%20y%20otras%20infraestructuras,respecto%20a%20los%20alrededores%20rurales>
- [10] “Fuentes de agua: Beneficios e importancia”, Homecenter, 2023. [En Línea]. Disponible en: <https://homecenterblog.com/fuentes-de-agua/>
- [11] “Fuentes de espejo: qué son y dónde se instalan”, Fluidra, 2023. [En Línea]. Disponible en: <https://www.fluidra.com/projects/es/fuentes-espejo-agua/>



# Propuesta del uso de cabello contaminado con petróleo como fibra alternative del concreto

## *Proposal for the use of oil-contaminated hair as an alternative fiber for concrete*

Jorgelen de V. Figueroa-Salcedo

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

 <https://orcid.org/0009-0005-1781-3176> | [Correo electrónico: jorgelen2003@gmail.com](mailto:jorgelen2003@gmail.com)

Recibido: 12-07-2024 Admitido: 21-07-2024 Aprobado: 01-08-2024

### Resumen

El Lago de Maracaibo enfrenta una grave crisis de contaminación por petróleo, afectando la biodiversidad y la economía local. El Proyecto Sirena utiliza cápsulas de cabello humano para absorber el petróleo, pero su disposición final es problemática. Esta investigación propone usar cabello contaminado como fibra reforzante en concreto, mejorando sus propiedades mecánicas y ofreciendo una solución sostenible a la contaminación. Se evaluarán las propiedades físicas y químicas del concreto con cabello, comparándolo con fibras tradicionales, y se analizará la viabilidad ambiental de esta práctica, buscando reducir residuos peligrosos y promover materiales de construcción más sostenibles.

**Palabras clave:** Contaminación con petróleo, cabello, fibra reforzante de concreto.

### Abstract

*Lake Maracaibo faces a serious oil pollution crisis, affecting biodiversity and the local economy. Project Sirena uses human hair capsules to absorb the oil, but their final disposal is problematic. This research proposes using contaminated hair as a reinforcing fiber specifically, improving its mechanical properties and offering a sustainable solution to contamination. The physical and chemical properties of concrete with hair will be evaluated, comparing it with traditional fibers, and the environmental viability of this practice will be analyzed, seeking to reduce hazardous waste and promote more sustainable construction materials.*

**Keywords:** Oil contamination, hair, concrete reinforcing fiber.

### Planteamiento del problema

El Lago de Maracaibo, uno de los cuerpos de agua más grandes y antiguos del mundo, enfrenta una grave crisis de contaminación por petróleo. La explotación petrolera, el mantenimiento deficiente de la infraestructura y la falta de plantas de tratamiento de residuos han llevado a una acumulación significativa de petróleo en sus aguas. Según Yohan Flores, director de la Fundación Azul Ambientalista, “entre 300 y 1000 barriles de crudo se derraman diariamente en el lago, afectando principalmente la pesca y la biodiversidad local” [1, Párr.5]. Además, según investigaciones científicas, grupos ambientalistas y defensores de los derechos humanos, se registraron entre 40.000 y 50.000 fugas de petróleo en toda Venezuela, incluyendo el Lago de Maracaibo, entre 2010 y 2016, mostrando la magnitud del problema [2].

Esta situación ha tenido efectos devastadores en la vida acuática, la salud de las comunidades locales y el ecosistema en general. Los derrames continuos han resultado en una disminución significativa de la pesca, impactando económicamente a las comunidades que dependen de esta actividad [3].

Para abordar esta crisis, el Proyecto Sirena ha implementado una solución innovadora utilizando cápsulas de cabello humano para absorber el petróleo [4]. Este método se basa en la capacidad del cabello para adsorber grandes cantidades de petróleo y ha demostrado ser eficaz en estudios y aplicaciones previas. Sin embargo, una vez que estas cápsulas se saturan de petróleo, no hay un plan claro para su disposición final, lo que plantea un nuevo riesgo de contaminación del suelo y del aire.

Paralelamente, la industria de la construcción busca constantemente materiales sostenibles y alternativos para mejorar las propiedades del concreto. El uso de fibras naturales como el cabello humano, ha mostrado



potencial en estudios preliminares debido a la resistencia y flexibilidad que la queratina del cabello puede aportar al material.

Esta investigación se centra en evaluar la viabilidad del uso de cabello contaminado con petróleo como fibra reforzante en concreto, así como los posibles impactos ambientales y de salud pública asociados con esta práctica. De lo anterior se plantea la siguiente interrogante de investigación: ¿Puede esta solución proporcionar un método sostenible y efectivo para el manejo de residuos de cabello contaminado?

### **Justificación de la investigación**

El Lago de Maracaibo es una fuente vital de biodiversidad y recursos para las comunidades locales, pero enfrenta una crisis severa de contaminación por petróleo. Esta situación ha deteriorado gravemente el ecosistema del lago, poniendo en riesgo la fauna, flora y la subsistencia de las personas que dependen de la pesca y otras actividades económicas relacionadas. Aunque la calidad del agua se evalúa a través del Decreto 883 “Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos” [5], estudios han mostrado concentraciones de hidrocarburos totales de petróleo (THP) mayores a los permitidos, evidenciando la contaminación [6].

En el ámbito de la construcción, uno de los principales problemas del concreto es la generación de grietas, que pueden llevar a fallas estructurales significativas. Diversos aditivos como las fibras sintéticas de polipropileno, han surgido para reducir estas grietas, mejorar la resistencia al impacto, incrementar la resistencia a la fatiga, minimizar los efectos de contracción plástica y aumentar la vida útil del concreto. Sin embargo, al ser materiales plásticos derivados del petróleo, contribuyen al consumo masivo de este recurso [7].

La investigación propone reciclar el cabello contaminado con petróleo como una fibra reforzante en concreto, ofreciendo una solución dual: mitigación de la contaminación y mejora de materiales de construcción. Este enfoque puede reducir significativamente la carga ambiental al disminuir los desechos peligrosos y proporcionar a una alternativa sostenible a las fibras sintéticas. La integración de fibras de cabello en el concreto aborda el problema de la contaminación por petróleo y promueve prácticas más sostenibles en la industria de la construcción.

Al mejorar las propiedades mecánicas del concreto, esta solución permite la producción de estructuras más seguras y duraderas, reduciendo la necesidad de reparaciones y mantenimiento frecuentes, con implicaciones económicas positivas a largo plazo. Esta investigación no solo ofrece una solución innovadora y sostenible a la contaminación por petróleo, sino que también abre nuevas vías para la reutilización de residuos en la industria de la construcción. Al hacerlo, busca mejorar la calidad ambiental, fortalecer la economía local y avanzar en el desarrollo de materiales de construcción más eficientes y duraderos.

### **Objetivos de la investigación**

#### **Objetivo general**

Proponer el uso de cabello humano contaminado con petróleo como fibra reforzante en concreto.

#### **Objetivos Específicos**

Caracterizar de las emisiones de petróleo al Lago de Maracaibo provenientes de derrames en la industria petrolera del Zulia.

Evaluar las propiedades físicas y químicas del concreto con cabello humano.

Comparar la resistencia del cabello humano como fibra con las propiedades del concreto reforzado con fibras tradicionales.

Analizar la viabilidad ambiental del uso de cabello contaminado con petróleo, como alternativa sostenible en la industria de la construcción.



**Metodología**

Para el desarrollo de este trabajo se empleó una investigación de tipo proyectiva, la cual se enfoca en la formulación de propuestas concretas para resolver problemas específicos. Según Sampieri, Collado y Lucio [8], la investigación proyectiva se caracteriza por el desarrollo de soluciones aplicables a situaciones reales, basadas en un análisis riguroso y sistemático de la información disponible.

**Fase I: Caracterización de las emisiones de petróleo al Lago de Maracaibo provenientes de derrames en la industria petrolera del Zulia**

Se recopilarán informes de derrames de petróleo de las principales empresas petroleras de la región, así como datos de monitoreo ambiental del Lago de Maracaibo.

Según el Observatorio de Ecología Política de Venezuela, se documentaron al menos 86 derrames petroleros en el país en 2023, con el estado Zulia registrando el mayor número de incidentes (40 casos) [3]. Esta contaminación continua ha resultado en la presencia de manchas de petróleo que abarcan más de 30 kilómetros entre los municipios de Maracaibo [9].

En 2023, González [6] realizó un artículo de los análisis sobre las diferentes propiedades físico-químicas de las aguas del Lago de Maracaibo, permitiendo identificar los principales contaminantes que en él se presentan, así como las posibles fuentes que dan lugar a esa contaminación.

Principales contaminantes	
Residuos	Fuente
Petroleros	Ocasionados por derrames debidos a fracturas en las tuberías y en las actividades de extracción y transporte de crudo.
Petroquímicos	Los cuales se generan en el área de El Tablazo, muchos de ellos de tipo eutroficantes o de acción tóxica y persistente, como fenoles, mercurio, compuestos fosfatados y nitrogenados.
Orgánicos y Fertilizantes	Acarreados por los ríos y drenajes pluviales de las áreas agropecuarias de la región sur del lago.
Líquidos y Sólidos Industriales	Descargas directas al lago, provenientes de industrias localizadas en los márgenes y de otras que drenan sus residuos en los ríos de la hoya hidrográfica del lago.

**Figura 1. Principales tipos de contaminantes y fuentes emisoras [6]**

Los resultados de la investigación mostraron concentraciones de THP y fenoles mayores a los permitidos, evidenciando la contaminación por hidrocarburos. Así mismo, se demostró que las concentraciones de sólidos disueltos fueron excedidas. A pesar de no poder realizar una comparación con valores de concentración permisible debido a que la legislación venezolana vigente, ya que ésta no establece esos límites de metales pesados en sedimentos para su disposición abierta en aguas costeras y marinas, los resultados evidenciaron concentraciones de metales pesados de  $As > V > Pb > Cr$ , lo cual corrobora la contaminación por hidrocarburos.

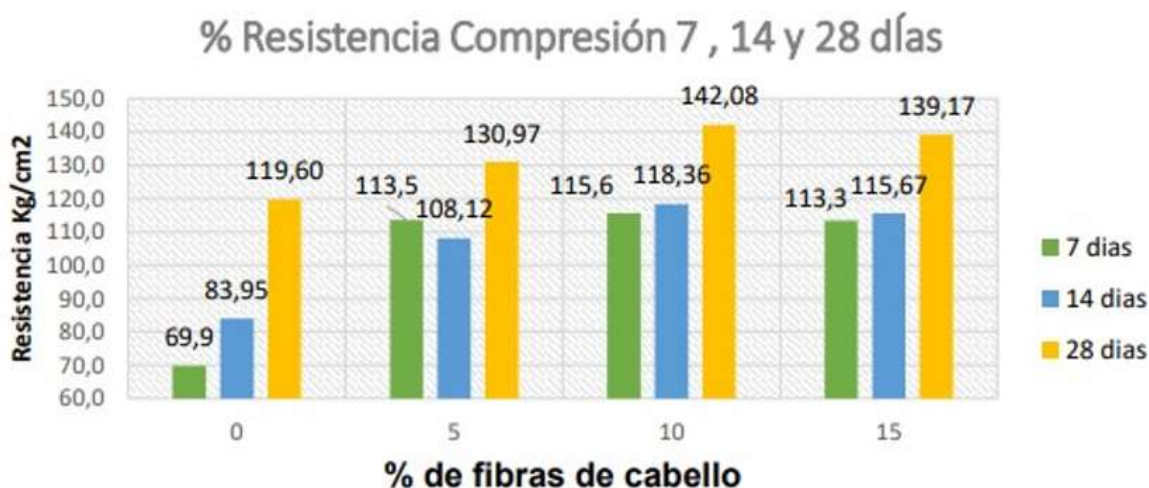
En referencia a los demás parámetros evaluados, se mantuvieron por debajo de los límites permisibles del Decreto 883. En cuanto a los metales presentes en el agua, se observaron valores de concentraciones de Ba, B, Cr, Fe, Cd, Pb y Zn por debajo de los niveles permisibles por el Decreto 883[10].

**Fase II: Evaluación de las propiedades físicas y químicas del concreto con cabello humano**

- A partir de experimentos de literaturas consultadas, se tomarán los resultados de la incorporación de diferentes proporciones de cabello humano en la mezcla de concreto.

- Analizar las pruebas de resistencia a la compresión, tracción y flexión en muestras de concreto con cabello humano.

La investigación realizada por Barreto & Trujillo [11] se centró en evaluar el efecto de la incorporación de fibras de cabello humano en diferentes proporciones (5%, 10% y 15%) sobre la resistencia a compresión del concreto con un diseño de  $f'c=175\text{kg/cm}^2$ . El objetivo principal de este estudio fue determinar si la adición de fibras de cabello humano mejora las propiedades mecánicas del concreto, específicamente su resistencia a la compresión. Para ello, se realizaron ensayos a los 7, 14 y 28 días en muestras de concreto con y sin la adición de estas fibras.



**Figura 2. Equiparación de las resistencias a compresión del concreto patrón y experimentales [11].**

Los resultados de la investigación mostraron que la incorporación de un 10% de cabello humano, en relación con el peso del cemento, mejora significativamente la resistencia a la compresión del concreto, alcanzando un  $f'c$  de  $175\text{ kg/cm}^2$ . Este incremento se observa tanto a los 7, 14, como a los 28 días de curado, comparado con el concreto sin adición de fibras. Además, la maleabilidad del concreto no se ve afectada de manera considerable, lo que sugiere que el cabello humano puede ser una alternativa viable y económica, para mejorar las propiedades mecánicas del concreto, aprovechando un material reciclable y abundante.

A su vez, Duarte-Montes de Oca et al. [12], realizaron una investigación sobre el uso de fibras de cabello humano en concreto tradicional, revelando resultados mixtos.

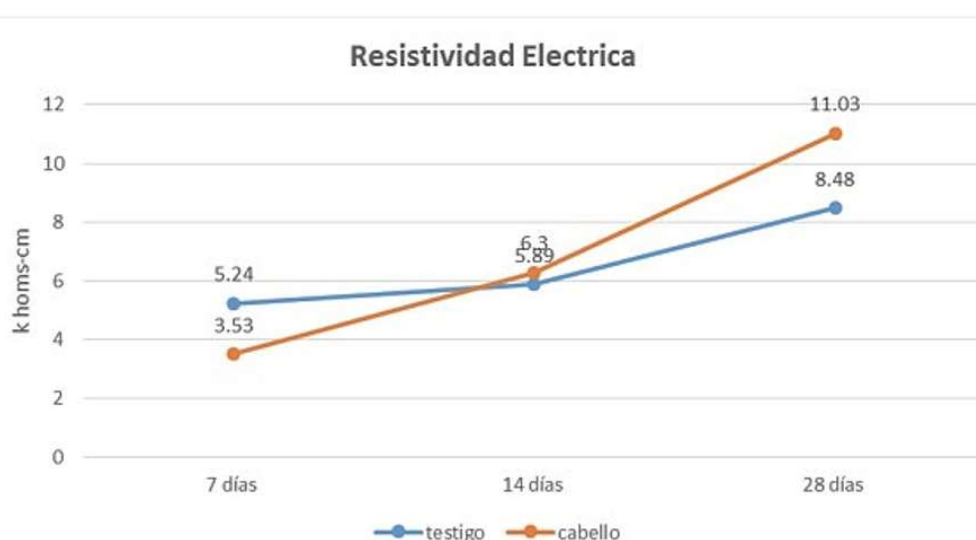


Figura 2. Resultados de resistividad eléctrica de las vigas analizadas a diferentes edades.

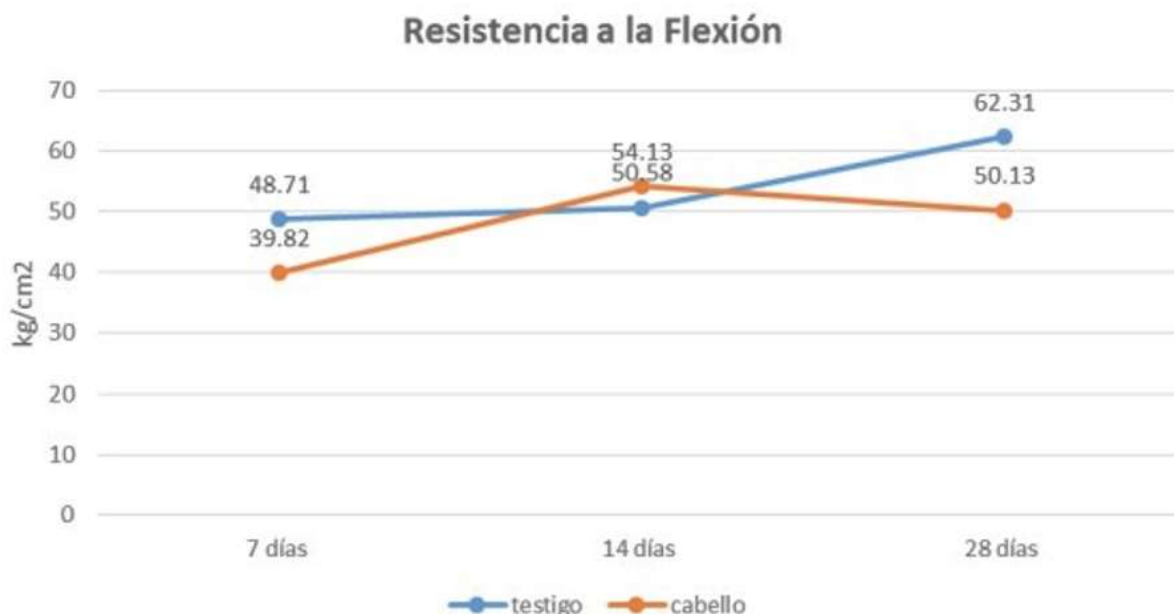


Figura 3. Resultados de la resistencia a la flexión[12].

Como resultado se observa, en términos de resistividad eléctrica, que los especímenes con cabello humano mostraron una resistividad baja, indicando un riesgo de corrosión, lo que es desfavorable para la durabilidad del concreto. La velocidad de pulso ultrasónico indicó que la calidad del concreto con cabello humano se clasificó como “buena”, aunque no alcanzó la categoría de “excelente”. En términos de resistencia a la flexión, el concreto con cabello humano mostró una mejora inicial en la capacidad de deformación, aunque esta ventaja disminuyó con el tiempo, resultando en una resistencia aproximadamente un 10% menor en edades tardías.

En resumen, aunque el cabello humano aporta cierta elasticidad y cohesión, posee ciertas limitaciones en la resistividad eléctrica y, por ende, en la durabilidad del concreto. Por lo tanto, su utilidad es limitada y debe considerarse con precaución en aplicaciones donde la resistividad eléctrica y la durabilidad a largo plazo son considerables.

### Fase III: Comparación de la resistencia del cabello humano como fibra con las propiedades del concreto reforzado con fibras tradicionales

Se estudiará la eficacia y viabilidad del uso del cabello contaminado en comparación con fibras tradicionales (Tabla 1).

Tabla 1. Comparación de los parámetros obtenidos en concreto reforzado con fibras de cabello

Variable	Barreto & Trujillo (2021)	Montes de Oca, et al (2019)	Fibras tradicionales
Resistencia a la compresión	La adición de un 10% de fibras de cabello humano respecto al peso del cemento ha mostrado un aumento significativo en la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días de curado.	El concreto con adición de cabello humano mostró una resistencia a la compresión ligeramente inferior al concreto sin adición de fibras.	Las fibras de vidrio y acero son conocidas por mejorar significativamente la resistencia a la compresión del concreto. Las fibras de acero, en particular, proporcionan una alta resistencia a la compresión debido a su alta rigidez y resistencia.
Resistencia a la tracción y flexión	La adición de hasta un 2% de fibras de cabello humano ha mostrado incrementos en la resistencia a la tracción dividida y flexión.	En pruebas de flexión, el concreto con cabello humano presentó una resistencia inicial similar al concreto sin fibras, pero a edades más avanzadas, la resistencia cayó aproximadamente un 10%.	Las fibras de vidrio proporcionan una excelente resistencia a la tracción, mientras que las fibras de acero mejoran tanto la resistencia a la tracción como la flexión debido a su alta resistencia y ductilidad. Las fibras de vidrio ayudan a reducir el agrietamiento por contracción plástica y mejoran la durabilidad del concreto. Las fibras de acero son efectivas en aplicaciones donde se requiere una alta resistencia al impacto y a la fatiga.
Durabilidad	La durabilidad del concreto reforzado con fibras de cabello humano puede ser una preocupación debido a la naturaleza orgánica del cabello. Aunque mejora la resistencia a la formación y propagación de grietas, la baja resistividad eléctrica sugiere un alto riesgo de corrosión.		Las fibras de vidrio y acero son conocidas por su durabilidad y resistencia a la corrosión (vidrio) y a la oxidación (acero), proporcionando una mejora significativa en la durabilidad del concreto, especialmente en ambientes agresivos.
Sostenibilidad y costo	Es un material de desecho abundante y de bajo costo, lo que lo hace una opción económica para reforzar el concreto. Además, su uso contribuye a la reducción de residuos y a la sostenibilidad ambiental.		Las fibras de vidrio y acero pueden ser más costosas en comparación con el cabello humano. Sin embargo, su disponibilidad y propiedades mecánicas superiores pueden justificar el costo adicional en aplicaciones donde se requiere un alto rendimiento.

El uso de fibras de cabello humano en el concreto muestra ventajas en términos de costo y sostenibilidad, y puede mejorar ciertas propiedades mecánicas y la resistencia a la formación de grietas. No obstante, la durabilidad y resistencia a la corrosión son preocupaciones significativas que limitan su viabilidad en aplicaciones estructurales exigentes. Por otro lado, las fibras tradicionales como las de vidrio y acero ofrecen mejoras superiores en la resistencia a la tracción, flexión y durabilidad del concreto, aunque a un costo mayor.

#### Fase IV: Análisis de la viabilidad ambiental del uso del cabello contaminado con petróleo como alternativa sostenible en la industria de la construcción

Se desarrollarán recomendaciones y directrices para la implementación del uso de cabello contaminado en la industria de la construcción, destacando beneficios ambientales y económicos.

Diversos estudios han confirmado que la inclusión de fibras naturales, como el cabello humano, en la mezcla de concreto aumenta su resistencia y flexibilidad. Smith et al.[13] demostraron que el concreto

reforzado con cabello humano tiene una resistencia a la tracción mejorada en un 15% y una mayor capacidad para absorber energía antes de fracturarse, en comparación con el concreto tradicional.

Aunque los resultados preliminares son prometedores, es crucial realizar un análisis más riguroso para asegurar que el petróleo residual en el cabello no comprometa las propiedades del concreto a largo plazo. Se recomienda llevar a cabo las siguientes evaluaciones:

- **Análisis químico del concreto contaminado:** Investigar cómo los compuestos de petróleo residual afectan la química del concreto.
- **Pruebas de durabilidad a largo plazo:** Evaluar la durabilidad del concreto reforzado con cabello contaminado bajo condiciones ambientales extremas.
- **Estudios de impacto ambiental:** Analizar el impacto ambiental del uso de cabello contaminado en concreto.
- **Evaluación de seguridad y salud:** Examinar los posibles riesgos para la salud pública asociados con la manipulación del concreto que contiene petróleo residual.

### Resultados esperados

La utilización de cabello contaminado con petróleo como fibra en concreto presenta una solución innovadora y sostenible para abordar simultáneamente la contaminación por petróleo y la búsqueda de materiales ecológicos en la construcción. Este enfoque no solo gestiona eficazmente los residuos de petróleo, sino que también promueve prácticas sostenibles en la industria, generando beneficios ambientales y económicos para las comunidades afectadas por la contaminación del Lago de Maracaibo. Los estudios demuestran que el cabello humano mejora la resistencia y durabilidad del concreto; sin embargo, es crucial realizar análisis exhaustivos para asegurar que el petróleo residual no comprometa las propiedades del concreto a largo plazo. Para garantizar el éxito de esta propuesta, se recomienda llevar a cabo investigaciones detalladas, establecer colaboraciones con instituciones académicas y organizaciones ambientales, generar oportunidades de empleo en la recolección y tratamiento del cabello, y fomentar prácticas sostenibles en la construcción, contribuyendo así a un futuro más resiliente y sostenible.

### Referencias bibliográficas

- [1] Y. Flores, “Entrevista con Efecto Cocuyo sobre derrames en el Lago de Maracaibo”, *Efecto Cocuyo*, 2023. [En Línea]. Disponible en: <https://efectococuyo.com/cambio-climatico/mil-barriles-de-petroleo-se-derraman-a-diario-en-el-lago-de-maracaibo/>
- [2] NASA, “Aguas turbulentas”, *NASA Earth Observatory*, 2021. [En Línea]. Disponible en: <https://earthobservatory.nasa.gov/>
- [3] “Reporte Especial: Balance de derrames petroleros 2023”, Observatorio de Ecología Política de Venezuela, 2024. [En Línea]. Disponible en: <https://ecopoliticavenezuela.org/2024/01/08/reporte-especial-balance-de-derrames-petroleros-2023/>
- [4] “Proyecto Sirena y el estado del Lago de Maracaibo”, *Tal Cual*, 2023. [En Línea]. Disponible en: <https://talcualdigital.com/proyecto-sirena-recolecta-pelo-humano-y-de-mascotas-para-salvar-el-lago-de-maracaibo/>
- [5] *Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos. Gaceta Oficial Nro. 5.021 Extraordinario. Decreto 883.* República Bolivariana de Venezuela, fecha 18 de diciembre de 1995.
- [6] A. González, “¿LAGO DE MARACAIBO, EL DE LAS AGUAS DE SEDA! Un 24 de agosto es avistado y descubierto el ‘Coquivacoa’ || Aquí está su historia (Fotos+Gráficos)”, *Noticialminuto*, 2023. [En Línea]. Disponible en: <https://noticialminuto.com/lago-de-maracaibo-el-de-las-aguas-de-seda-un-24-de-agosto-es-avistado-y-descubierto-el-coquivacoa-aqui-esta-su-historia-fotosgraficos/>

- [7] E. Duarte-Montes de Oca, C. Ríos-Reyes, y A. Reyes-Camacho, “Uso de fibras sintéticas de polipropileno en el concreto”, *Rev. de Materiales de Construcción*, vol. 69, no. 1, pp. 45-57. 2019.
- [8] R. H. Sampieri, C. F. Collado, y M. P. B. Lucio, *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill Education, 2014.
- [9] “En Venezuela hubo 86 derrames petroleros en 2023, según un observatorio ecológico autónomo”, *Efecto Cocuyo*, 2024. [En Línea]. Disponible en: <https://efectococuyo.com/la-humanidad/en-venezuela-hubo-86-derrames-petroleros-en-2023-segun-un-observatorio-ecologico-autonomo/>
- [10] J. Marcovecchio, y R. Freije, “Concentration of heavy metals in the sediments of Lake Maracaibo”, *Journal of Environmental Science*, vol. 22, no. 4, pp. 789-801, 2013.
- [11] C. M. Quito Barreto, y D. W. Trujillo Baltazar, “Evaluación de la adición de fibras de cabello humano en la resistencia a compresión de concreto  $f_c=175 \text{ kg/cm}^2$ ”, Tesis de fin de grado. Univ. César Vallejo., Huaraz, Perú, 2021.
- [12] J. Duarte-Montes de Oca, et al., “Análisis del comportamiento mecánico de un concreto tradicional con adición de fibra de cabello humano”, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, 2019.
- [13] A. Smith, M. Johnson, y R. Lee, “Improved tensile strength in concrete in forced with human hair fibers”, *Construction and Building Materials*, vol. 240, pp. 117930. 2020.




# Película de polímero a partir de nanocristales de celulosa de residuos de maíz para un proceso de enfriamiento radiativo

*Polymer film from corn waste cellulose nanocrystals for a radiative cooling process*

**Kamila P. Márquez-M.**

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

 <https://orcid.org/0009-0006-6208-5195> /Correo electrónico: [kamilapmarquez@gmail.com](mailto:kamilapmarquez@gmail.com)

Recibido:12-07-2024 Admitido:21-07-2024 Aprobado:01-08-2024

## Resumen

El enfriamiento radiativo es un sistema de enfriamiento pasivo para reducir la temperatura mediante la emisión de radiación infrarroja en el rango de la ventana atmosférica de 8-13  $\mu\text{m}$ . En este proyecto se analiza la posibilidad de utilizar nanocristales de celulosa extraídos de residuos de maíz como material de enfriamiento radiativo. Los resultados observados en otros trabajos demostraron que la aplicación de este sistema en una ciudad húmeda y cálida como Maracaibo puede ofrecer una reducción de la temperatura durante casi todas las horas del día y, a su vez, reducir la demanda de energía para la refrigeración.

**Palabras clave:** nanocristales, celulosa, enfriamiento radiativo.

## Abstract

*Radiative cooling is a passive cooling system to reduce temperature by emitting infrared radiation in the range of the atmospheric window of 8-13  $\mu\text{m}$ . This project analyzes the possibility of using cellulose nanocrystals extracted from corn waste as a radiative cooling material. The results observed in other research's demonstrated that the application of this system in a humid and hot city like Maracaibo can offer a reduction in temperature during almost all hours of the day and, in turn, reduce the energy demand for cooling.*

**Keywords:** nanocrystals, cellulose, radiative cooling.

## Planteamiento del problema

González y Givoni [1] declaran que en Maracaibo se experimenta un clima cálido y húmedo con temperaturas anuales promedio de 32 °C a 34 °C, donde el máximo promedio de humedad relativa siempre es sobre el 90 %. De la misma forma, González y Givoni explican que una gran fracción de la energía eléctrica consumida en regiones tropicales-húmedas es dedicada a la operación de aires acondicionados. En consecuencia, en ciudades como Maracaibo la demanda de sistemas de refrigeración representa casi un 80 % del uso de la energía en el sector residencial según las estadísticas de ENELVEN C.A. (Actualmente CORPOELEC) [2].

Por otra parte, la dependencia de la energía para proveer comodidad en cuanto al enfriamiento de interiores ha resultado en altos niveles de consumo de combustible fósil no renovable, lo cual acarrea el impacto ambiental a escala global y mundial. En vista de lo anterior, se han realizado continuas investigaciones para encontrar soluciones eficientes para la aceleración del calentamiento global y emisiones de gases invernaderos; sin embargo, no se han tomado las acciones necesarias para resolver este problema ambiental [3].

Dong y Wu [4] afirman que una de las mejores maneras para disipar el calor sin consumir electricidad es el enfriamiento radiante pasivo, ya que el calor excesivo es enviado hacia el espacio exterior sin energía externa. En las últimas décadas, se ha investigado el uso de películas y diferentes tipos de polímeros para el enfriamiento durante el transcurso del día y la noche. La celulosa, es un material innovador para el enfriamiento radiativo y es uno de los polímeros que más abunda en la naturaleza, el cual puede ser obtenido de materias primas agrícolas y forestales, como fibra de maíz, subproductos del trigo, residuos de industria alimentaria, lodos de papeleras, residuos forestales y otros. [5]



Según Barrios y Bolotin [6, Pag.41], la producción de “maíz en Venezuela es el rubro más importante desde el punto de vista agroalimentario”, ya que forma parte de la dieta diaria del país. La Sociedad Venezolana de Ingenieros Agrónomos y Afines (SVIAA), afirma que la producción de maíz en Venezuela creció un 35%, al pasar de 1.000 toneladas a 1.350, donde el 65% corresponde a maíz blanco y el 35% restante al amarillo. Sin embargo, esta práctica conduce a un gran volumen de residuos [7], dado que la planta de maíz se establece del tallo, hoja, mazorca y cáscara, donde solo la mazorca es la parte comestible y el resto es considerado desecho agrícola. Mundialmente se producen 640 millones de toneladas de maíz, en la que 45 millones de toneladas corresponden a la cáscara de maíz [8].

En tal sentido, se plantea la siguiente interrogante: ¿Es posible integrar la celulosa obtenida de residuos de maíz a una película de polímero en un proceso de enfriamiento radiativo para disminuir el consumo de electricidad en la ciudad de Maracaibo?

### **Justificación de la investigación**

Con la presente investigación se pretende determinar la posibilidad de desarrollar un sistema de enfriamiento efectivo que sirva como estrategia de reducción del uso de energía, aprovechando la celulosa de los residuos agropecuarios de la región.

Los sistemas tradicionales de enfriamiento no solo requieren un gran consumo de energía, sino que también liberan gases de efecto invernadero a la atmósfera. Como consecuencia, el uso generalizado de este tipo de sistemas ha resultado en amplios problemas ambientales, como el calentamiento global. Además, la crisis energética ha convertido en una prioridad encontrar sistemas de enfriamiento que sean de alta eficiencia y amigables con el ambiente.

Las películas de enfriamiento a base de polímeros se han vuelto una opción atractiva para los problemas anteriormente mencionados, debido a su excelente habilidad de emisión infrarroja, fácil fabricación, reducción del consumo eléctrico y bajo costo. Por tal motivo, existe un gran potencial en su aplicación para edificios, celdas solares, generación de energía y otras áreas.

Del mismo modo, los desechos agrícolas generalmente son una gran fuente de contaminación, por lo que actualmente se buscan alternativas de su uso. Una opción es utilizar los residuos como materia prima para la obtención de celulosa, ya que dichos materiales están constituidos por fibras ligno celulósicas, con lo cual se les proporcionaría un valor agregado a dichos residuos. Además, esta sería una solución para la acumulación de desechos sólidos que se generan por la actividad agrícola.

Por lo tanto, se pretende proponer un sistema de enfriamiento efectivo y con poco impacto ambiental, de tal forma que se obtenga una disminución de los desechos agrícolas y el consumo energético, y por ende, conseguir un descenso en la temperatura de la ciudad.

### **Objetivos de la investigación**

#### **Objetivo general**

Desarrollar una película de polímero a partir de nanocristales de celulosa con residuos de maíz para el enfriamiento radiativo.

#### **Objetivos específicos**

Obtener el nanocristal de celulosa a partir de la cáscara de maíz.

Desarrollar una película flexible a partir del nanocristal de celulosa.

Analizar el rendimiento de la película de celulosa de enfriamiento.

## Metodología

### Fase I: Obtención del nanocrystal de celulosa a partir de la cáscara de maíz

Para realizar esta fase se utilizará materia prima nacional y se seguirá el método de extracción de nanocristales de celulosa sugerido por Smyth et al. [9]. Primeramente, se realiza el blanqueo de cáscaras de maíz para preparar las muestras, en donde se siguen los siguientes pasos:

La cáscara de maíz seca y molida se coloca en una solución de NaOH al 2%, durante toda la noche en condiciones ambientales para eliminar las hemicelulosas y las cenizas. Luego, las partículas se eliminan por filtración y se lavan con agua desionizada hasta obtener un pH igual a 7. Después, la fibra lavada se coloca en un matraz de tres cuellos, y por cada 10 g de masa seca de fibra se agregan 110 mL de H<sub>2</sub>O desionizada, 110 mL de buffer de ácido acético y 110 mL de solución de NaClO<sub>2</sub> al 1,7%. Seguidamente, la suspensión se calienta a 80 °C durante 2 horas con agitación continua. Por último, la pulpa se filtra y se lava con agua desionizada hasta conseguir un pH neutro.

Las fibras de cáscara de maíz blanqueadas se suspenden en 34,4 mL de agua desionizada y se añaden gota a gota a la suspensión 72,1 g de ácido sulfúrico concentrado por cada 10 g de masa de fibra seca. Una vez añadido el ácido sulfúrico, la suspensión se calienta a 45 °C y se agita durante 45 minutos. Luego, la hidrólisis es suspendida con la adición de agua desionizada. Seguidamente, la suspensión se centrifuga y se filtra a través de una malla de nylon de 1 µm.

### Fase II: Desarrollo de una película flexible a partir del nanocrystal de celulosa

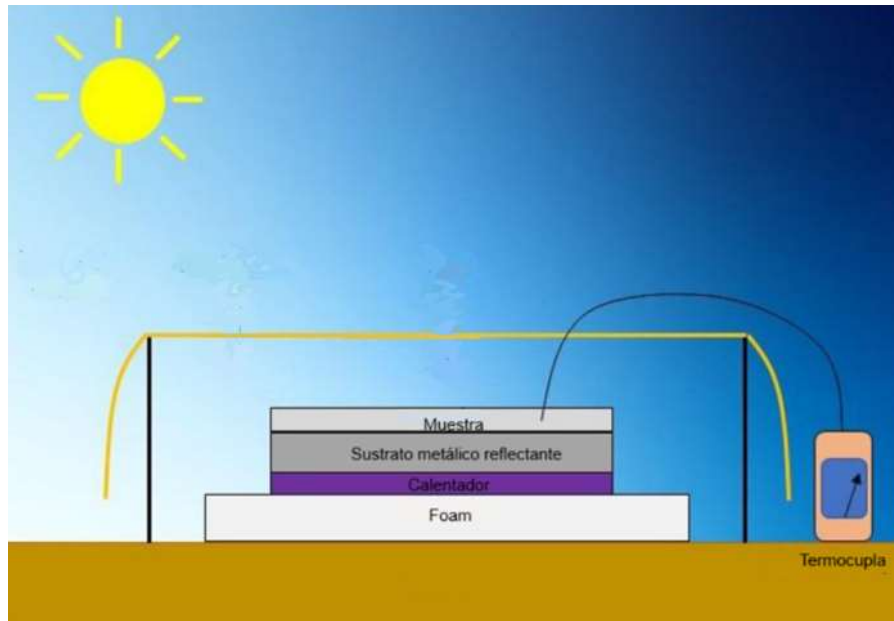
Después de obtener el nanocrystal de celulosa, diferentes porcentajes de pesos (1% CMC, 2% CNC, 10% CMC, 20% CMC y 30% CMC) se colocan en una placa de Petri y se añaden 2 mL de polidimetilsiloxano (PDMS) con su agente de curado; seguidamente la mezcla se agita enérgicamente. Luego, la muestra se calienta a 60 °C durante 10 minutos y se desgasifica en una cámara de vacío durante 15 min para eliminar la burbuja de aire de la película. Finalmente, la muestra se seca a 90 °C durante 30 minutos para obtener una película sólida y flexible. La muestra debe tener un espesor aproximado de 1,45 mm.

### Fase III: Evaluación del rendimiento de la película de enfriamiento

En primer lugar, se determina la reflectancia hemisférica espectral (R), utilizando un equipo de Espectrofotometría de transformada de Fourier (FTIR). Luego, la medición de la absorción (A) de las muestras se calcula usando la Ecuación 1 donde la absorción es igual a la absorbancia y emisividad de la muestra.

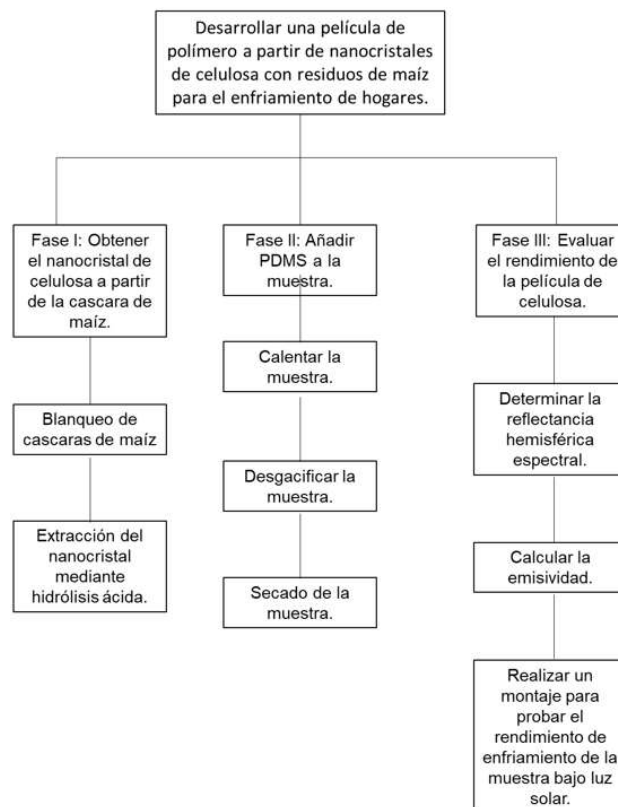
$$A = 1 - R \quad (\text{Ec. 1})$$

Después, se evalúa el rendimiento experimental del enfriamiento utilizando la muestra con mejor resultado de emisividad. El montaje del equipo sugerido (Figura 1) consiste en poner la muestra dentro de una caja termal, la misma se cubre de papel aluminio, luego se coloca encima de una espuma foam, y la cara superior de la caja se cubre con una película de polietileno (PE) de 50 µm de espesor. Para medir la temperatura de la muestra y de los alrededores se emplean dos termocuplas.



**Figura 1. Esquema para el rendimiento experimental [3].**

En la Figura 2 se presenta un diagrama que contempla las fases de desarrollo de la propuesta de investigación.



**Figura 2. Diagrama demostrativo del cumplimiento de los objetivos a través de las fases.**

## Resultados esperados

Con respecto a la efectividad de la adición de CNC en la matriz de PDMS para desarrollar la película de polímero, se muestra en la Figura 3 que se obtiene una mejora significativa en la absorbancia general del material, ya que se observan picos de absorción más intensos para las muestras en comparación con la muestra de PDMS puro. El pico más alto corresponde a la muestra con 30% de CNC.

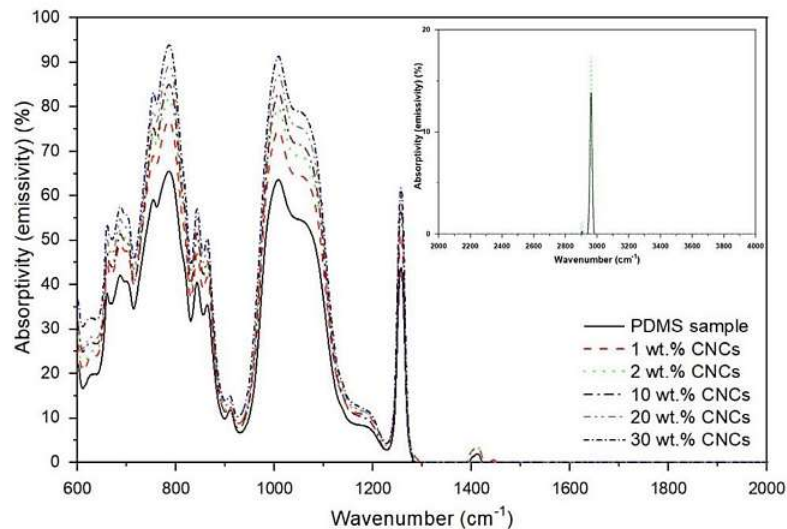


Figura 3. Emisividad del PDMS puro, muestras de 1% CMC, 2%, CNC, 10% CMC, 20% CMC y 30% CMC [3].

Por lo anterior, se aspira que la película mejorada con la celulosa logre una reducción significativa de la temperatura dentro de la habitación cuando se expone a la luz solar directa, de manera que no sería necesario encender un sistema de aire acondicionado. Estudios realizados previamente (Figura 4) demuestran que, al aplicar una película polimérica bajo luz solar en una placa de prueba, da como resultado una diferencia máxima de temperatura alcanzada en estudios anteriores que fue de 3,97°C con respecto a la temperatura ambiente. Sin embargo, se observa una disminución a las 13:00 de -0.45 °C, lo cual sugiere que una radiación solar significativa puede afectar el rendimiento del poder de enfriamiento.

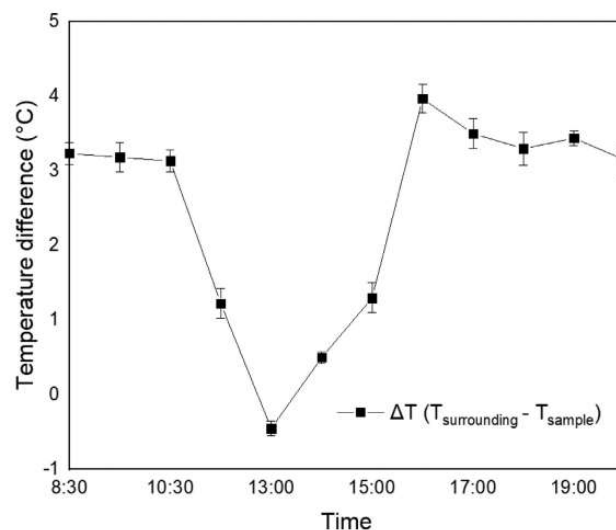


Figura 4. Medición del enfriamiento radiativo de la muestra puesta debajo de luz solar[3].

Debido a la facilidad de aplicación y resultados favorables, se deduce que esta tecnología puede ser factible en los hogares y establecimientos de Maracaibo, ofreciendo una solución eficiente para la disminución del consumo eléctrico y la necesidad de sistemas de enfriamiento convencionales. La aplicación de las películas poliméricas resulta una alternativa para el acondicionamiento térmico en climas cálidos, proporcionando confort durante casi todas las horas del día. Además, el uso de la cáscara de maíz como materia prima en esta propuesta contribuye a la disminución de residuos sólidos, que es una de las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo, se deben realizar investigaciones experimentales para comprobar lo anterior.

### Referencias bibliográficas


- [1] E. González-Cruz, y B. Givoni, “Radiative and Radiative/Evaporative Passive Cooling Systems for a Hot Humid Climate – Maracaibo”, en *Plea2004 - The 21th Conference on Passive and Low Energy Architecture. Eindhoven, The Netherlands*, 19–22. 2004. [En Línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.2011.2083>
- [2] E. González-Cruz, y B. Givoni, “Testing and Modeling an Evaporative Passive Cooling System in a Hot Humid Climate – Maracaibo”, *ResearchGate*, 2005. [En Línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.1486.9207>
- [3] F. Chowdhury, Q. Xu, K. Sinha, y Z. Wang, “Cellulose-upgraded polymer films for radiative sky cooling”, *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, vol. 272, 2021. [En Línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jqsrt.2021.107824>
- [4] K. Dong, y J. Wu, “Radiative cooling, what’s next?”, *Next Energy*, vol. 1, issue 1, 100003, 2023. [En Línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.nxener.2023.100003>
- [5] Y. Xie, G. Shishuai, D. Zhang, C. Wang, y F. Chu, “Bio-based Polymeric Materials Synthesized from Renewable Resources: A Mini-Review”, *Resources Chemicals and Materials*. vol. 2, issue 3, pp. 223-230, 2023. [En Línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.recm.2023.05.001>
- [6] S. M. Barrios y R. E. Bolotín, “Análisis de la producción de maíz (*Zea mays* L.) en Venezuela entre 1999-2010”, *Revista de la Facultad de Agronomía*, vol. 72, pp. 41-55, 2018. [En Línea]. Disponible en: [http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev\\_agro/article/view/15189](http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_agro/article/view/15189)
- [7] “Sviaa: Producción de maíz creció 35 % en 2023”, *Primicia*, 2024. [En Línea]. Disponible en: <https://primicia.com.ve/economia/sviaa-produccion-de-maiz-crecio-35-en-2023/>
- [8] L. O. Pordesimo, B. Hames, S. Sokhansanj, y W.C. Edens, “Variation in corn stover composition and energy content with crop maturity”. *Biomass and Bioenergy*. vol. 28, issue. 4, pp. 366-374. (2005). [En Línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2004.09.003>
- [9] M. Smyth, A. Garcia, C. Rader, E. Foster, y J. Bras, “Extraction and process analysis of high aspect ratio cellulose nanocrystals from corn (*Zea mays*) agricultural residue”, *Industrial Crops and Products*, vol. 108, pp. 257-266, 2017. [En Línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.06.006>

# Eficiencia energética y confort térmico: La elección del material adecuado para los envolventes opacos

*Energy efficiency and thermal comfort: Choosing the right material for opaque envelopes*

**Jeanny M. Juárez-Rodríguez**

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

 <https://orcid.org/0009-0009-4743-1418> /Correo electrónico: [jeannyjuarez1@gmail.com](mailto:jeannyjuarez1@gmail.com)

Recibido: 12-07-2024 Admitido: 21-07-2024 Aprobado: 01-08-2024

## Resumen

Este estudio propone el uso de la reflectancia solar en las envolventes opacas de la ciudad de Maracaibo como medida para reducir la temperatura ambiente en dos grados centígrados. La investigación se enfoca en analizar el impacto del color de los materiales utilizados en tejas, pavimentos peatonales, revestimientos y pinturas exteriores, en la capacidad de reflejar la radiación solar. Se espera que la implementación de esta propuesta genere resultados significativos en la reducción del calor urbano, mejorando así la calidad de vida de los habitantes de la ciudad.

**Palabras clave:** envolventes, opacas, reflectancia solar.

## Abstract

*This study proposes the use of solar reflectance in the opaque envelopes of the city of Maracaibo as a measure to reduce the ambient temperature by two degrees Celsius. The research focuses on analyzing the impact of the color of the materials used in tiles, pedestrian pavements, coatings and exterior paints, on the ability to reflect solar radiation. The implementation of this proposal is expected to generate significant results in reducing urban heat, thus improving the quality of life of the city's inhabitants.*

**Keywords:** enveloping, opaque, solar reflectance.

## Planteamiento del problema

Las altas temperaturas en la ciudad de Maracaibo, con medias anuales que superan los 30°C, generan un microclima urbano hostil que afecta negativamente la calidad de vida de los residentes. Esta situación se intensifica debido a la alta densidad urbana, “la urbanización produce la alteración antropogénica del clima en el que se implanta una ciudad, y genera un efecto conocido como isla de calor urbana” [1, Párr. 4], así como la escasa cobertura vegetal y la presencia de amplias superficies de baja reflectancia solar, lo que contribuye al efecto isla de calor [2].

La implementación de la estrategia de reflectancia solar en las envolventes opacas de la ciudad de Maracaibo con el fin de reducir dos grados centígrados de temperatura, implica varios desafíos significativos. En primer lugar, es necesario considerar la falta de conciencia y conocimiento por parte de la población sobre los beneficios y la importancia de la reflectancia solar en la mitigación del calor urbano. Se requiere desarrollar campañas educativas y de sensibilización que involucren a la comunidad y fomenten la adopción de esta tecnología. Adicionalmente, se debe abordar la cuestión de la viabilidad técnica y logística de la aplicación de la reflectancia solar en una ciudad con una arquitectura diversa y variada como Maracaibo, considerando aspectos como la disponibilidad de materiales adecuados, la adaptabilidad de las estructuras existentes y la capacitación técnica requerida para llevar a cabo las modificaciones necesarias.

Además, se deben identificar y superar posibles barreras regulatorias y burocráticas que puedan obstaculizar la ejecución del proyecto, así como garantizar la coordinación eficiente entre los diversos actores involucrados, como autoridades locales, instituciones académicas, empresas privadas y la sociedad civil. En

resumen, la implementación de la reflectancia solar en las envolventes opacas de Maracaibo para reducir la temperatura en dos grados Celsius, implica abordar desafíos relacionados con la concienciación pública, la viabilidad técnica, la coordinación interinstitucional y la superación de barreras normativas, con el objetivo de garantizar el éxito y la sostenibilidad de esta iniciativa que busca mejorar la calidad de vida en la ciudad.

### **Justificación de la investigación**

La propuesta de reducir la temperatura en Maracaibo a través de la implementación de la reflectancia solar en las envolventes opacas, se fundamenta en una serie de argumentos de vital importancia con impactos significativos en los ámbitos social, económico y ambiental.

A nivel social, se vislumbra un mejoramiento sustancial en el confort térmico de los habitantes, lo que tendría repercusiones positivas en la calidad de vida, especialmente para grupos vulnerables como niños, ancianos y personas con enfermedades crónicas. La reducción de la temperatura en dos grados centígrados podría generar múltiples beneficios, incluyendo una mayor tranquilidad y seguridad en la comunidad, ya que estudios han demostrado que el calor extremo puede aumentar la agresividad y la violencia. Además, un clima más fresco y agradable fomentaría la actividad física al aire libre, incentivando estilos de vida saludables y disminuyendo el riesgo de enfermedades crónicas como la obesidad y las enfermedades cardiovasculares.

En términos económicos, la disminución en la demanda de aire acondicionado resultante de la reducción de la temperatura urbana se traduciría en ahorros considerables en los costos energéticos para hogares, empresas y el sector público. Este ahorro energético no solo favorece la sostenibilidad económica a largo plazo, sino que también contribuiría a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, promoviendo así prácticas más amigables con el medio ambiente. Adicionalmente, la mejora del confort térmico y la consecuente reducción en problemas de salud derivados del calor podrían generar ahorros sustanciales en costos asociados a la atención médica y hospitalaria, impactando positivamente en los recursos financieros destinados a la salud pública.

Desde una perspectiva ambiental, la implementación de estrategias de reflectancia solar apunta a mitigar el fenómeno de isla de calor, responsable de elevar la temperatura en las áreas urbanas. Al reducir esta temperatura urbana, se podrían minimizar los impactos negativos del calor en el medio ambiente, ofreciendo un entorno más saludable para la flora y fauna locales. Asimismo, la mejora en la calidad del aire, gracias a la disminución de la formación de smog y otros contaminantes atmosféricos, protegería la salud de los residentes y contribuiría a la preservación de un medio ambiente más limpio y sostenible. Por último, la conservación del agua, uno de los recursos más preciados en una región semiárida como Maracaibo, se vería beneficiada con un clima más fresco que reduciría la evaporación y promovería prácticas más eficientes en su uso.

La propuesta de reducir la temperatura en Maracaibo mediante la reflectancia solar de las envolventes opacas no solo pretende crear un ambiente urbano más habitable, saludable y sostenible, sino que también busca involucrar activamente a la comunidad en todas las etapas del proyecto para garantizar su éxito y adecuación a las necesidades reales de los ciudadanos. Esta iniciativa representa un paso crucial hacia el desarrollo de ciudades más resilientes, equitativas y respetuosas con el medio ambiente, promoviendo un futuro más próspero y sostenible para todos los habitantes de Maracaibo.

### **Objetivos de la investigación**

#### **Objetivo general**

Implementar estrategias de reflectancia solar en las envolventes opacas de edificios y estructuras urbanas para reducir la temperatura ambiente en la ciudad de Maracaibo en al menos dos grados centígrados.

#### **Objetivos específicos**

Identificar las zonas de la ciudad de Maracaibo con mayor incidencia de radiación solar directa y alta absorción de calor.



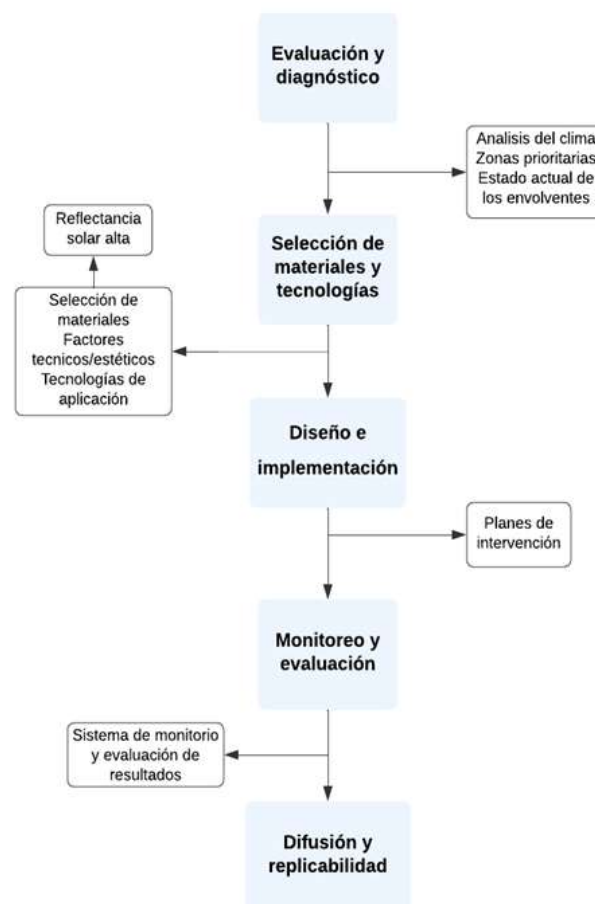
Analizar el potencial de reducción de temperatura mediante la aplicación de técnicas de reflectancia solar en las envolventes opacas de edificios y estructuras urbanas.

Seleccionar materiales y recubrimientos de alta reflectancia solar adecuados para la climatología de Maracaibo.

Diseñar un plan piloto de implementación de reflectancia solar en edificios seleccionados analizando sus efectos en la reducción de la temperatura ambiente.

Evaluar los beneficios en términos de confort térmico, reducción del consumo energético y posibles impactos en la salud de la población a partir de la implementación de la reflectancia solar en las envolventes opacas.

## Metodología



**Figura 1. Diagrama de flujo del procedimiento seguido en la propuesta**

En la Figura 1 se muestra el plan de trabajo de la propuesta para disminuir la temperatura en la ciudad de Maracaibo, empleando envolventes opacas.

### 1. Evaluación y diagnóstico

Análisis del clima: Recopilación y análisis de datos climáticos históricos y actuales, incluyendo temperatura, humedad, radiación solar y velocidad del viento.

Identificación de zonas prioritarias: Mapeo de las áreas de la ciudad con mayor concentración de edificios y superficies de alta reflectancia, como techos, paredes y pavimentos.

Evaluación del estado actual de las envolventes: Inspección y análisis de las características físicas y materiales de las envolventes opacas en las zonas prioritarias, considerando aspectos como color, albedo y capacidad de reflectancia solar.

## **2. Selección de materiales y tecnologías**

Investigación y selección de materiales de alta reflectancia: Búsqueda y evaluación de materiales con alto índice de reflectancia solar, como pinturas, revestimientos, techos fríos y pavimentos permeables.

Consideración de factores técnicos y estéticos: Evaluación de la viabilidad técnica, el costo, la durabilidad y la compatibilidad estética de los materiales con el entorno urbano.

Análisis de tecnologías de aplicación: Investigación y selección de técnicas adecuadas para la aplicación de los materiales de alta reflectancia, considerando aspectos como la preparación de superficies, métodos de aplicación y herramientas necesarias.

## **3. Diseño e implementación**

Desarrollo de un plan de intervención: Elaboración de un plan detallado que defina las áreas de intervención, los materiales a utilizar, las técnicas de aplicación, el cronograma de ejecución y el presupuesto del proyecto.

Coordinación con entidades gubernamentales y comunidad: Colaboración estrecha con las autoridades locales, organizaciones comunitarias y grupos de interés para garantizar la participación activa y el apoyo al proyecto.

Implementación de la intervención: Ejecución del plan de intervención de manera eficiente y segura, siguiendo los estándares de calidad y las normas de construcción vigentes.

## **4. Monitoreo y evaluación**

Establecimiento de indicadores de impacto: Definición de indicadores clave de rendimiento (KPIs) para medir la efectividad del proyecto en la reducción de la temperatura urbana y el confort térmico de los residentes.

Implementación de un sistema de monitoreo: Recolección sistemática de datos de temperatura, humedad y otros parámetros ambientales relevantes antes, durante y después de la intervención.

Análisis y evaluación de resultados: Evaluación periódica de los datos recopilados para determinar el impacto del proyecto en la reducción de la temperatura urbana y el confort térmico, identificando áreas de mejora y realizando ajustes necesarios.

## **5. Difusión y replicabilidad**

Documentación y comunicación de resultados: Elaboración de informes, presentaciones y materiales divulgativos que describen la metodología, los resultados y el impacto del proyecto.

Presentación de resultados en conferencias y eventos: Difusión de los hallazgos y experiencias del proyecto en foros académicos, profesionales y públicos relevantes.

Promoción de la replicabilidad en otras ciudades: Compartir las lecciones aprendidas y la metodología desarrollada para facilitar la implementación de proyectos similares en otras ciudades con climas cálidos.

## **Resultados esperados**

La implementación de la reflectancia solar en las envolventes opacas de la ciudad de Maracaibo para reducir dos grados centígrados de temperatura, es una propuesta innovadora y sostenible que puede tener resultados significativos en la mitigación del calor urbano y el cambio climático.

Para lograr este objetivo, se deben considerar diferentes aspectos relacionados con los materiales y las composiciones a utilizar en diversas estructuras de la ciudad, como techos, pavimentos peatonales, revestimientos

y pinturas exteriores. Es fundamental seleccionar materiales con altos niveles de reflectancia solar para que reflejen la mayor cantidad de radiación solar incidente posible [3].

En el caso de las tejas, se podrían considerar materiales cerámicos o metálicos de colores claros que reflejen eficientemente la radiación solar. Para los pavimentos peatonales, se pueden utilizar materiales como el concreto permeable o adoquines con recubrimientos reflectantes. En cuanto a los revestimientos y pinturas exteriores de edificios y estructuras urbanas, se pueden emplear pinturas de colores claros y texturas especiales que mejoren la reflectancia solar [3](Figura 2).

Al implementar estas medidas en toda la ciudad, se esperan varios resultados positivos. En primer lugar, se reducirá la absorción de calor en las superficies urbanas, lo que contribuirá a disminuir la temperatura ambiente y mejorar el confort térmico de los habitantes. Además, se reducirá la demanda de energía para refrigeración en los edificios, lo que puede traducirse en ahorros energéticos significativos y una menor emisión de gases de efecto invernadero. Por último, esta iniciativa podría servir como un ejemplo inspirador para otras ciudades en la lucha contra el calentamiento global y la adaptación al cambio climático.

	COD.	CARACTERÍSTICAS	Ts	SRI		COD.	CARACTERÍSTICAS	Ts	SRI
PAVIMENTOS PEATONALES	P02	Cementido rústico circular araña negro	58	59	TEJAS	T11	Cementicia natural colonial terracota	55	64
	P05	Cementido rústico circular abanico negro	62	52		T12	Cementicia mate francesa negra	64	47
	P07	Cementido rústico recto cuadrado negro	60	55		T13	Cementicia acrílica francesa negra	61	53
	P19	Cementido rústico liso mosaico negro	58	59		T15	Cementicia mate colonial negra	56	63
	P20	Cementido rústico recto cuadrado gris	49	77		T16	Cementicia mate francesa terracota	56	63
	P25	Granítico pulido liso mosaico gris multicolor	45	85	REVESTIMIENTOS TEXTURADOS	CW 72	Cementicio Salpicate planchado gris plomo	68	40
	P27	Cementido rústico circular andalucía negro	61	52		CW 76	Cementicio Granitex medio ocre	59	57
	P29	Granítico pulido liso mosaico negro murcia	56	62		CW 80	Cementicio Granitex medio gris plomo	47	80
	P30	Cementido pétreo pulido recto cuadrado gris multicolor	49	76		SIP 10	Acrílico Rulato-travertino grueso marfil	38	99
	P31	Granítico pulido liso mosaico verde jade	53	69		SIP 11	Acrílico Rulato-travertino grueso piedra paris	40	94
	P33	Cementido rústico recto cuadrado negro	58	59		SIP 18	Acrílico Llameado fino marfil	60	55
	P34	Granítico pulido liso mosaico travertino	30	100		SIP 27	Acrílico Llameado grueso piedra paris	57	61,5
	P35	Cementido-calcáreo pulido recto dos panes negro	58	58		SIP 36	Acrílico Granitex medio ocre	47	80,5
	P36	Cementido-calcáreo pulido recto dos panes rojo	51	72		SIP 40	Acrílico Granitex medio gris plomo	70	35
	P37	Cementido-calcáreo pulido recto dos panes amarillo	53	69	PINTURAS	L01	Atérmica mate blanca	41,5	92
	P38	Cementido-calcáreo pulido recto vainilla amarillo	50	74		L02	Acrílica mate negra	70	36,5
TEJAS	T01	Cerámica natural colonial terracota	43	90		L07	Impermeable satinada blanca	31	100
	T04	Cerámica brillante bicocón francesa negra	56	63,5		L16	Impermeable satinada terracota	59,5	58

Figura 2. Codificación, denominación, características formales, temperatura superficial (Ts °C) e Índice de reflectancia solar (SRI %) de posibles materiales a utilizar [1].

### Referencias bibliográficas

- [1] N. Alchapar, y E. Correa, “Reflectancia solar de las envolventes opacas de la ciudad y su efecto sobre las temperaturas urbanas”. *Rev. Informes de Construcción*, vol.67, no.540, 2015. [En Línea]. Disponible en: <https://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/4457/5171>
- [2] “Maracaibo, clima extremo”, *OpenDemocracy*, 2024. [En Línea]. Disponible en: <https://www.opendemocracy.net/es/maracaibo-clima-extremo/>
- [3] P. Serrano, “¿Qué es la envolvente térmica del edificio? Cómo mejorar su aislamiento”, *Caloryfrio*, 2024. [En Línea]. Disponible en: <https://www.caloryfrio.com/construccion-sostenible/aislamiento-y-humedad/que-es-la-envolvente-termica-del-edificio-mejorar-aislamiento.html>

## **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 IMRyD.

### **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, flujogramas 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:

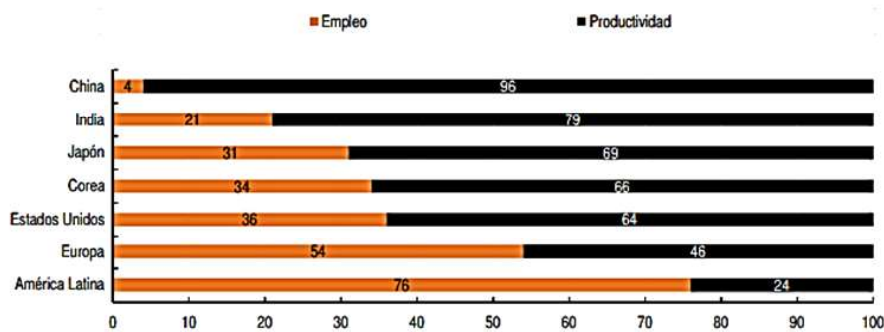


Figura 1. Contribución del empleo y la productividad al crecimiento del PIB en países y regiones seleccionados, 2000-19 [12].

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	$T_{ent} = 1223 \text{ K}$ , adiabático	$H_2/CO_2 = 3$	$P = 2500 \text{ KPa}$
Reactor de FT	$T_{ent} = 488 \text{ K}$	Relación de Ribblett = 0.5	$P = 2460 \text{ KPa}$
ATR	$T_{ent} = 1073 \text{ K}$ , adiabático	-	$P = 2330 \text{ KPa}$

26. Las fotografías, mapas, diagramas, flujogramas 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, flujogramas 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,...

[3] Comisión Económica para América Latina y el Caribe.

[4] 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.fondeditorial.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/>

[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(los) 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](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://industriassgsl.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 involucren 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 27, 2024**  
**Maracaibo - Venezuela**  
**Fondo Editorial Universidad Rafael Urdaneta**