



INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO

Tsa'chila

Innovación energética sostenible en el Ecuador:

Almacenamiento térmico, energía solar, economía circular y electromovilidad para la optimización del consumo eléctrico



MS EDITORIAL

mmseditorial@gmail.com

**EDITORIAL MMS PUBLICACIÓN SEMESTRAL DEL GRUPO EUP JUAN
MONTALVO.**

DIRECTOR: *Ramiro Enrique Guaman Chavez*

EDITOR: *Yadira Natalia Vergara Cuadros*

COORDINADORA EDITORIAL: *Ruth Peñafiel*

COMITÉ EDITORIAL:

- *Máximo Damián Valdera.*
- *Iván Fernández-Suárez.*
- *Mejía Calderón Aníbal Gilberto.*
- *Cedeño Alcívar Lenin Landívar.*
- *Guerra Herrera Kleber Santos.*
- *Maldonado Cañizares Paola Robertina.*
- *Sandoval Sandoval Edwin Marcelo*

ASISTENTES: *Adrián Delgado*

ISSN: 978-9907-9506-2-5

Número 1: *marzo 2026*

Impresión Digital: © EUP Juan Montalvo

Teléfonos: (5932) 0994735813

Correo electrónico: mmseditorial@gmail.com

ISBN: 978-9907-9506-2-5



Los libros y capítulos de este número son de responsabilidad exclusiva de sus autores y no expresan una postura institucional. Está permitida la reproducción total o parcial de cualquier artículo con la condición de que se cite la fuente.

Primera Edición, 2026

Cámara Ecuatoriana del Libro con registro editorial No: 189633

INNOVACIÓN ENERGÉTICA SOSTENIBLE EN EL ECUADOR: ALMACENAMIENTO TÉRMICO, ENERGÍA SOLAR, ECONOMÍA CIRCULAR Y ELECTROMOVILIDAD PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO

Didier Alfredo Manzaba Yanez

Instituto Superior Tecnológico “Tsa’chila”
<https://orcid.org/0009-0003-0478-7429>
didiermanzabayanez@tsachila.edu.ec
Santo Domingo – Ecuador

Jorge Leandro Uribe Pazmiño

Instituto Superior Tecnológico “Tsa’chila”
<https://orcid.org/0009-0004-0762-7153>
jorgeuribepazmiño@tsachila.edu.ec
Santo Domingo - Ecuador

Mgs. Sandoval Sandoval Edwin Marcelo

Instituto Superior Tecnológico “Tsa’chila”
edwindsandoval@tsachila.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-4611-9483>
Santo Domingo - Ecuador

Quille Cedeño Carlos Daniel

Instituto Superior Tecnológico “Tsa’chila”
carlosquillecedeno@tsachila.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0008-9429-4930>
País: Ecuador

Samaniego Bailon Gendry Josué

Instituto Superior Tecnológico “Tsa’chila”
gendrysamaniegobailon@tsachila.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0007-8089-3986>
País: Ecuador

Mora Murillo Moisés Filiberto

Instituto Superior Tecnológico “Tsa’chila”
moisesmora@tsachila.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-2764-1524>
País: Ecuador

Anderson David Hurtado Pesantes

Instituto Superior Tecnológico Tsáchila
andersonhurtadopesantes@tsachila.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0000-8053-8385>
Santo Domingo – Ecuador

Jonathan Gabriel Ramírez Delgado

Instituto Superior Tecnológico Tsáchila
jonathanramirezdelgado@tsachila.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0000-3701-7226>
Santo Domingo – Ecuador

Alex Daniel Cedeño Patiño

Instituto Superior Tecnológico “Tsa’chila”
alexcedenopatino@tsachila.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0007-4043-1648>
Santo Domingo – Ecuador

Jonathan David Valles Toro

Instituto Superior Tecnológico “Tsa’chila”
jonathanvallestoro@tsachila.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0004-4659-8850>
Santo Domingo - Ecuador

Neisser Alexander Grandes Merizalde

Instituto superior tecnológico Tsa'chila
neissergrandes@tsachila.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0002-8499-6871>
Santo Domingo - Ecuador

Jonathan Paul Cuasquer Yépez

Instituto Superor Tecnologico Tsa'chila
jonathancuasqueryepep@tsachila.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0002-9022-2805>
Santo Domingo - Ecuador

Guido Iván Tuitice Quila

Instituto Superor Tecnologico Tsa'chila
guidotuiticequila@tsachila.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0006-4414-7030>
Santo Domingo - Ecuador

Ing. Alex Fabián Estrella Quispe, Mgs.

Instituto Superor Tecnologico Tsa'chila
alexestrella@tsachila.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-3037-9069>



Santo Domingo - Ecuador

Joel Fernando Mosso Carreño

Instituto Tecnológico Superior Tsáchila
joelmossocarreno@tsachila.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0004-8414-5174>
Santo Domingo - Ecuador

Jimmy Medardo Rubio Delgado

Instituto Tecnológico Superior Tsáchila
jimmyrubiodelgado@tsachila.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0007-5856-6014>
Santo Domingo - Ecuador

Cedeño Villalta Leonardo Geovanny

Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila
leonardocedenovillalta@tsachila.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0006-7975-3292>
Santo Domingo - Ecuador

Nasimba Bautista Manuel Joel

Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila
manuelnasimbabautista@tsachila.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0008-8421-4677>
Santo Domingo - Ecuador

Ing. Roberto Carlos Ortega Ordoñez, MSc.

Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila
robertoortega@tsachila.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-1121-7507>
Santo Domingo – Ecuador

INTRODUCCIÓN

La búsqueda de soluciones sostenibles y eficientes en el ámbito energético se ha convertido en una necesidad urgente a nivel mundial. En Ecuador, un país que ha sido testigo de un creciente desarrollo en diversas áreas, la innovación en el sector energético se posiciona como un pilar fundamental para asegurar un futuro próspero y ambientalmente responsable. Este libro se adentra en los avances y potenciales de la energía sostenible, explorando el impacto de las tecnologías emergentes como el almacenamiento térmico, la energía solar, la economía circular y la electromovilidad, que abren nuevas posibilidades para la optimización del consumo eléctrico y la reducción de la huella de carbono. El almacenamiento térmico, en su capacidad de almacenar y liberar energía mediante calor, es una tecnología innovadora que se posiciona como clave en la gestión eficiente de la energía renovable. En un país como Ecuador, con una rica biodiversidad y un clima diverso, el aprovechamiento de esta tecnología puede transformar la manera en que almacenamos y utilizamos la energía, contribuyendo a una mayor estabilidad en la red eléctrica y mejorando la accesibilidad de la energía en zonas remotas. La energía solar, otra de las principales fuentes de energía renovable, se ha consolidado como una solución viable y efectiva para la producción de electricidad limpia. Con el creciente interés en proyectos solares tanto a gran escala como a nivel doméstico, Ecuador se enfrenta a un horizonte brillante donde el aprovechamiento de su radiación solar puede reducir costos y aumentar la autosuficiencia energética, a la vez que se mitigan los efectos del cambio climático.

El concepto de economía circular, que promueve la reutilización de recursos, juega un papel esencial en la sostenibilidad del modelo energético. Al integrar estos principios en las infraestructuras energéticas, podemos crear un ciclo virtuoso donde el consumo de recursos se minimiza, la generación de residuos se reduce y se optimizan los recursos disponibles, promoviendo una industria más limpia y eficiente. Finalmente, la electromovilidad emerge como una tendencia de gran impacto para el futuro del transporte, especialmente en países como Ecuador, que buscan reducir su dependencia de los combustibles fósiles. Los vehículos eléctricos no solo ofrecen una alternativa más ecológica, sino que también promueven un modelo de transporte más económico, eficiente y alineado con los principios de sostenibilidad. Este libro ofrece una mirada profunda a estas tecnologías y su interconexión para formar un ecosistema energético optimizado y sostenible. A través de una visión crítica y propositiva, se busca destacar cómo la integración de estas soluciones puede transformar el panorama energético en Ecuador, no solo contribuyendo a la optimización del consumo eléctrico, sino también promoviendo el bienestar social, económico y ambiental del país. En las páginas que siguen, los lectores encontrarán un análisis detallado de cada una de estas áreas, explorando no solo sus desafíos y limitaciones, sino también las oportunidades que brindan para un futuro energético más limpio y eficiente en Ecuador.



BATERÍAS DE ARENA COMO ENERGÍA ALTERNATIVA EN ECUADOR

SAND BATTERIES AS ENERGY ALTERNATIVE IN ECUADOR

Didier Alfredo Manzaba Yanez

Instituto Superior Tecnológico “Tsa’chila”
<https://orcid.org/0009-0003-0478-7429>
didiermanzabayanez@tsachila.edu.ec
Santo Domingo – Ecuador

Jorge Leandro Uribe Pazmiño

Instituto Superior Tecnológico “Tsa’chila”
<https://orcid.org/0009-0004-0762-7153>
jorgeuribepazmiño@tsachila.edu.ec
Santo Domingo - Ecuador

Mgs. Sandoval Sandoval Edwin Marcelo

Instituto Superior Tecnológico “Tsa’chila”
<https://orcid.org/0000-0002-4611-9483>
edwindsandoval@tsachila.edu.ec
Santo Domingo - Ecuador

INDICE

1.1.	RESUMEN	10
1.2.	ABSTRACT.....	11
1.3.	INTRODUCCIÓN.....	12
1.4.	MATERIAL Y MÉTODOS.....	13
1.5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	15
1.6.	DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	17
1.7.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	19

1.1. RESUMEN

El presente trabajo analiza el potencial de las baterías de arena como alternativa de energía renovable orientada a la reducción del uso de fuentes no renovables en el Ecuador. La investigación se desarrolla bajo un enfoque cualitativo-cuantitativo, basado en el análisis de información secundaria proveniente de artículos científicos y estudios de caso internacionales relacionados con el almacenamiento de energía térmica mediante arena. El alcance del estudio es descriptivo y exploratorio, lo que permite examinar el funcionamiento, las propiedades termo físicas, la eficiencia y las aplicaciones de esta tecnología en el contexto ecuatoriano. Los resultados evidencian que la arena de sílice posee alta estabilidad térmica, con capacidad de operación a temperaturas superiores a los 500 °C, y presenta eficiencias térmicas cercanas al 99 % cuando la energía es recuperada directamente en forma de calor. Asimismo, se identifican ventajas económicas frente a sistemas de almacenamiento electroquímico, con costos de inversión inferiores a 10 €/kWh y reducción significativa de emisiones de CO₂, especialmente en aplicaciones industriales. No obstante, el análisis identifica limitaciones asociadas a la conversión de energía térmica en electricidad y a la necesidad de infraestructura especializada para su implementación a gran escala. En conclusión, las baterías de arena se consolidan como alternativa técnica y económicamente viable para el almacenamiento energético de larga duración, actuando como complemento de otras fuentes renovables y contribuyendo a la transición energética y sostenibilidad del sistema energético ecuatoriano.

PALABRAS CLAVE: energías renovables, baterías, arena, sostenibilidad, almacenamiento térmico, Ecuador

1.2. ABSTRACT

The present study analyzes the potential of sand batteries as a renewable energy alternative aimed at reducing the use of non-renewable energy sources in Ecuador. The research follows a qualitative–quantitative approach, based on the analysis of secondary information from scientific articles and international case studies related to thermal energy storage using sand. The scope of the study is descriptive and exploratory, allowing the examination of the operating principles, thermophysical properties, efficiency, and applications of this technology within the Ecuadorian context. The results show that silica sand exhibits high thermal stability, capable of operating at temperatures above 500 °C, and achieves thermal efficiencies close to 99% when energy is recovered directly as heat. In addition, significant economic advantages are identified compared to electrochemical storage systems, with investment costs below 10 €/kWh and a substantial reduction in CO₂ emissions, particularly in industrial applications. However, the analysis also identifies limitations related to the conversion of thermal energy into electricity and the need for specialized infrastructure for large-scale implementation. In conclusion, sand batteries emerge as a technically and economically viable alternative for long-duration energy storage, acting as a complement to other renewable technologies and contributing to the energy transition and sustainability of Ecuador’s energy system.

Keywords: renewable energy, sand, batteries, sustainability, thermal storage, Ecuador

1.3. INTRODUCCIÓN

En el Ecuador, el sector energético enfrenta como uno de sus mayores retos la fuerte dependencia de las fuentes no renovables, especialmente de los combustibles fósiles, cuya utilización ocasiona significativos impactos ambientales, económicos y sociales. Esta realidad resalta la urgencia de fomentar el desarrollo de alternativas sostenibles que permitan disminuir la explotación y el consumo de estos recursos limitados, impulsando de esta manera una progresiva hacia un sistema energético más limpio (Quezada P, 2017).

Uno de los principales desafíos que enfrentan las energías renovables no es únicamente la generación de electricidad, sino su capacidad de almacenamiento eficiente y sostenible. La intermitencia de fuentes como la energía solar y eólica dificulta la estabilidad del sistema eléctrico, especialmente en países donde la demanda energética no siempre coincide con los periodos de mayor generación. Por ello, el desarrollo de sistemas de almacenamiento de energía se ha convertido en un elemento clave para garantizar la continuidad del suministro, optimizar el uso de recursos renovables y reducir la dependencia de fuentes no renovables. Además, estos sistemas permiten una mejor gestión de la energía producida, facilitando su disponibilidad en momentos de alta demanda o baja generación. De este modo, el almacenamiento energético contribuye a mejorar la resiliencia del sistema eléctrico, fortalecer la seguridad energética.

Las baterías de arena térmica, también conocidas como baterías de calor, constituyen una alternativa innovadora para el almacenamiento de energía, especialmente en sistemas basados en fuentes renovables, ya que utilizan la arena como medio para almacenar energía en forma de calor proveniente, por ejemplo, de plantas solares o excedentes de energía eléctrica, la cual puede ser aprovechada posteriormente según la demanda; gracias a las propiedades de la arena, como su bajo costo, alta disponibilidad, estabilidad térmica y seguridad, esta tecnología ofrece ventajas significativas frente a las baterías convencionales y permite su aplicación tanto en sistemas residenciales de pequeña escala como en el almacenamiento energético a nivel de red, por lo que el estudio de las baterías de arena tiene como objetivo presentar una visión general de los materiales empleados, el proceso de funcionamiento y las características de rendimiento, así como analizar sus ventajas (Dany & Pavithra, 2023).

1.4. MATERIAL Y MÉTODOS

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo-cuantitativo, con un diseño no experimental y de tipo documental. La metodología se basó en la revisión, selección y análisis de información secundaria proveniente de artículos científicos, informes técnicos, documentos institucionales y estudios de caso internacionales relacionados con el almacenamiento de energía térmica mediante baterías de arena (Innovation Hub , 2025); (Lucera, 2025). La selección de las fuentes se realizó considerando criterios de pertinencia temática, actualidad, confiabilidad académica y relación directa con el funcionamiento, eficiencia, costos y aplicaciones de las baterías de arena. Se priorizaron documentos publicados en los últimos años y disponibles en bases de datos científicas reconocidas (Lundstrom, 2024).

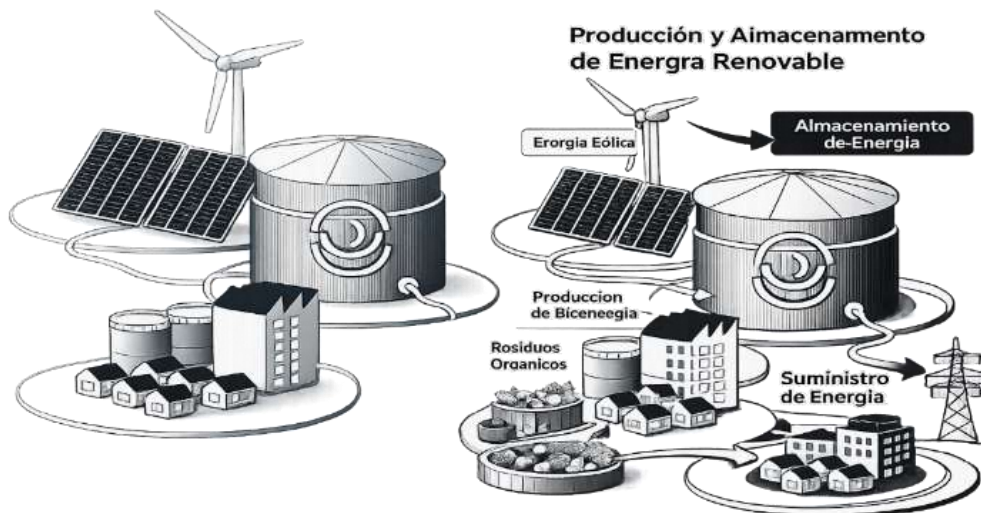
Asimismo, se incluyeron artículos científicos, informes técnicos y estudios de caso que presentan resultados experimentales, simulaciones numéricas y análisis comparativos, los cuales aportan información detallada sobre el desempeño térmico y la viabilidad técnica de esta tecnología. La revisión bibliográfica permitió contrastar diferentes enfoques de diseño y operación, así como identificar tendencias actuales y vacíos de investigación, proporcionando una base sólida para el análisis crítico del potencial de las baterías de arena como alternativa de almacenamiento energético sostenible.

De igual manera, se identificaron las principales limitaciones técnicas y operativas, incluyendo las restricciones relacionadas con la eficiencia térmica, la integración con otras tecnologías y las condiciones necesarias para su correcta operación. A partir de este análisis, se evaluó su posible aplicabilidad en el contexto energético ecuatoriano, teniendo en cuenta factores como la disponibilidad de recursos renovables, las condiciones climáticas, la infraestructura existente y las necesidades energéticas del país. En conjunto, este proceso analítico permitió establecer una visión integral del potencial de las baterías de arena como alternativa viable para el almacenamiento energético sostenible en Ecuador. El análisis de la información se efectuó mediante un enfoque descriptivo y comparativo, lo que permitió examinar de manera sistemática las principales características técnicas de las baterías de arena, así como sus propiedades termo físicas, tales como la capacidad de almacenamiento de calor, el rango de temperaturas operativas y la estabilidad del material a lo largo del tiempo.

Asimismo, este enfoque facilitó la evaluación de las ventajas económicas asociadas a esta tecnología, considerando aspectos como los costos de implementación, operación y mantenimiento, en comparación con otros sistemas de almacenamiento energético convencionales. Entre las limitaciones del estudio se reconoce la ausencia de validación experimental directa, ya que los resultados dependen exclusivamente del análisis de información secundaria; sin embargo, esta metodología resulta adecuada para evaluar el estado del arte y el potencial de implementación de las baterías de arena como alternativa de almacenamiento energético (LLC, 2024).

Como apoyo visual al análisis documental, se emplea un esquema general del sistema de batería de arena integrado con fuentes de energía renovable, el cual permite ilustrar de manera clara el principio de funcionamiento del sistema, así como la interacción entre sus componentes principales. Este recurso gráfico facilita la comprensión del proceso de carga y descarga térmica, desde la captación de energía renovable hasta su almacenamiento y posterior aprovechamiento. Asimismo, el esquema contribuye a identificar el rol de cada elemento dentro del sistema, reforzando el análisis técnico y mejorando la interpretación de la información presentada.

Gráfico 1: Esquema del sistema de batería de arena integrado con fuentes de energía renovable.



Nota: Adaptado de (Polar Night Energy, 2022).

1.5. ANALISIS DE RESULTADOS

A partir de la revisión y análisis de la literatura científica y técnica, se obtuvieron resultados relevantes sobre el desempeño de las baterías de arena como sistema de almacenamiento de energía térmica. Los estudios analizados reportan que la arena de sílice presenta una elevada estabilidad térmica, permitiendo su operación en rangos de temperatura superiores a los 500 °C, sin evidenciar degradación significativa del material durante ciclos prolongados de carga y descarga térmica (Quezada P, 2017).

Los datos recopilados indican que la capacidad de almacenamiento energético depende principalmente del rango de temperatura de operación y del volumen de arena utilizado. En sistemas de gran escala, se reportan densidades de energía superiores a 200 kWh por metro cúbico, lo que permite almacenar grandes cantidades de energía térmica durante periodos prolongados. Asimismo, las pérdidas térmicas observadas en silos de gran volumen son reducidas, favorecidas por la baja conductividad térmica de la arena (Lundstrom, 2024); (Polar Night Energy, 2022).

En cuanto a la eficiencia, los estudios revisados muestran que la recuperación de la energía almacenada en forma de calor puede alcanzar valores cercanos al 99 %, lo que evidencia un desempeño altamente eficiente en procesos de almacenamiento térmico de larga duración. Esta elevada eficiencia se debe principalmente a la estabilidad termo física de la arena y a las bajas pérdidas energéticas durante los ciclos de carga y descarga cuando el sistema cuenta con un adecuado aislamiento térmico. No obstante, cuando la energía térmica almacenada se transforma en energía eléctrica, las eficiencias obtenidas son considerablemente menores, generalmente reportadas entre el 30 % y el 40 %. Esta reducción se encuentra asociada a las limitaciones propias de los sistemas de conversión termoeléctrica, tales como los ciclos de vapor, turbinas o generadores termoeléctricos, los cuales presentan pérdidas inherentes al proceso de transformación. A pesar de ello, estas eficiencias resultan competitivas en aplicaciones donde el aprovechamiento directo del calor es prioritario, como en procesos industriales, calefacción distrital o suministro de calor para usos residenciales, reforzando el potencial de las baterías de arena como una solución viable para el almacenamiento energético sostenible.

Desde el punto de vista económico, la información analizada señala costos de inversión inferiores a 10 €/kWh de capacidad instalada para sistemas de baterías de arena, con una vida útil estimada superior a 30 años, lo que las posiciona como una alternativa competitiva frente a otras tecnologías de almacenamiento energético. Estos bajos costos se explican principalmente por el uso de materiales abundantes y de bajo precio, así como por la simplicidad del diseño y los reducidos requerimientos de mantenimiento. Adicionalmente, los casos de estudio revisados reportan reducciones significativas de emisiones de CO₂ cuando estas tecnologías sustituyen sistemas térmicos basados en combustibles fósiles, especialmente en aplicaciones industriales y de calefacción urbana. Este impacto positivo en términos ambientales refuerza su contribución a la descarbonización del sector energético, alineándose con los objetivos de sostenibilidad y transición energética, particularmente en contextos donde se busca reducir la dependencia de fuentes convencionales de energía (Innovation Hub , 2025).

Los valores de eficiencia reportados para las baterías de arena varían según el tipo de recuperación energética, tal como se presenta en la tabla. Estas diferencias están relacionadas con el método de aprovechamiento de la energía almacenada, ya sea para uso térmico directo o para su conversión en energía eléctrica. Asimismo, influyen factores como el diseño del sistema, el nivel de aislamiento térmico y la tecnología empleada en los procesos de conversión.

Tabla 1:

Eficiencia según el tipo de recuperación energética.

Tecnología	Recuperación como calor (%)	Recuperación como electricidad (%)
Batería de arena	Hasta 99%	30 – 40
Batería ion-litio	Hasta 50%	85 – 95
Hidrógeno verde	Hasta 40%	40 – 60

Nota: Resultados de análisis de (Jacome & Bedon, 2024); (LLC, 2024).

1.6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los hallazgos obtenidos a partir del análisis documental realizado en el presente estudio permiten evidenciar que las baterías de arena representan una alternativa técnicamente factible para el almacenamiento de energía de larga duración, especialmente en aplicaciones donde la energía es recuperada directamente en forma de calor. La literatura revisada coincide en señalar que la arena de sílice posee una elevada estabilidad térmica y una alta resistencia a ciclos térmicos repetitivos, lo que posibilita su operación a temperaturas superiores a los 500 °C sin presentar degradación significativa del material, característica fundamental para sistemas de almacenamiento térmico estacionarios (Polar Night Energy, 2022); (Lundstrom, 2024); (LLC, 2024).

La comparación de los resultados obtenidos con otros estudios de interés permite establecer que las baterías de arena no deben considerarse como una tecnología sustitutiva de los sistemas de almacenamiento electroquímico, sino como una solución complementaria dentro de un sistema energético diversificado. Investigaciones recientes sobre almacenamiento energético destacan que la combinación de tecnologías térmicas y electroquímicas permite mejorar la flexibilidad y resiliencia de los sistemas energéticos basados en fuentes renovables (IRENA, 2022). Mientras que tecnologías como las baterías de ion-litio presentan ventajas en términos de eficiencia eléctrica y respuesta rápida, los sistemas basados en arena destacan por su bajo costo de inversión, su extensa vida útil y la amplia disponibilidad del material, aspectos documentados en estudios comparativos de tecnologías de almacenamiento (Dany & Pavithra, 2023); (Innovation Hub , 2025).

Asimismo, el análisis de la literatura pone de manifiesto que uno de los principales aportes de esta tecnología radica en su potencial para contribuir a la reducción de emisiones de dióxido de carbono, al permitir el aprovechamiento de excedentes de energía renovable y sustituir sistemas térmicos basados en combustibles fósiles. Diversos informes internacionales señalan que el almacenamiento térmico de larga duración desempeña un papel clave en la descarbonización de procesos industriales intensivos en energía, reforzando la relevancia de tecnologías como las baterías de arena dentro de las estrategias climáticas globales (Innovation Hub , 2025); (Lucera, 2025). No obstante, también se identifican limitaciones técnicas relevantes que condicionan su aplicación. La baja eficiencia en la conversión de energía térmica a eléctrica limita su uso en aplicaciones

que requieren suministro eléctrico directo, lo que coincide con lo señalado en estudios sobre tecnologías de almacenamiento térmico granular. Además, la necesidad de infraestructuras especializadas, como silos térmicos de gran volumen y sistemas de aislamiento adecuados, representa un desafío para su implementación a gran escala, particularmente en regiones donde esta tecnología aún se encuentra en etapas iniciales de desarrollo (Lundstrom, 2024); (Innovation Hub , 2025).

Desde una perspectiva metodológica, el estudio presenta como principal limitación el uso exclusivo de fuentes secundarias, lo que impide la validación experimental de los resultados en condiciones locales. Sin embargo, esta aproximación metodológica resulta adecuada para evaluar el estado del arte y analizar el potencial de aplicación de las baterías de arena en contextos emergentes. En este sentido, organismos internacionales destacan la necesidad de impulsar proyectos piloto y estudios de adaptación tecnológica para evaluar el desempeño de soluciones de almacenamiento en condiciones geográficas y climáticas específicas (Jacome & Bedon, 2024). En relación con los objetivos planteados, se concluye que el estudio permitió analizar de manera integral el potencial de las baterías de arena como alternativa de energía renovable para contribuir a la reducción del uso de fuentes no renovables en el Ecuador. La revisión de la literatura facilitó la identificación de sus principales características técnicas, económicas y ambientales, así como de sus limitaciones actuales. En consecuencia, las baterías de arena se proyectan como una opción estratégica para el almacenamiento energético de larga duración y como un complemento relevante dentro de un sistema energético sostenible, siempre que su implementación se realice de forma planificada y adaptada a las condiciones técnicas, económicas y territoriales del país.

Adicionalmente, se destaca la importancia de impulsar estudios piloto y análisis técnicos más detallados que permitan evaluar su desempeño en escenarios reales de operación. De este modo, se podría fortalecer la toma de decisiones y fomentar la incorporación progresiva de esta tecnología dentro de las políticas energéticas nacionales. Asimismo, estos estudios permitirían identificar posibles limitaciones técnicas, económicas y normativas, contribuyendo a la formulación de estrategias energéticas más sólidas orientadas al aprovechamiento eficiente de fuentes renovables.

1.7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Bernal, C. (2016). Metodologia de la Investigacion. Colombia: Pearson.
- Caballero Lopez, J. E. (09 de 2009). <http://scielo.isciii.es>. Obtenido de <http://scielo.isciii.es/pdf/mesetra/v55n216/revision.pdf>
- Dany, R., & Pavithra, A. (2023). Sand Battery Technology a Promosing Solution Renewable Energy Storage. IJERA, 20-25.
- Innovation Hub . (2025). Obtenido de https://www.innovation-hub.com/es/energia/bateria-arena?utm_source
- Jacome, J., & Bedon, F. (16 de Julio de 2024). Polo Conocimiento . Obtenido de <http://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es>
- John, A. (2016). Normas Basicas de Higiene del Entorno en la atención sanitaria. India: Organizacion Mundial de la Salud. Obtenido de <http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/246209/9789243547237-spa.pdf;jsessionid=98A5D7C69806F077F4D7F5B862DCA0BB?sequence=1>
- LLC. (16 de Enero de 2024). Infinity Turbine. Obtenido de <https://infinityturbine.com/caracteristicas-de-la-bateria-de-ara>
- Lucera. (17 de Junio de 2025). Como de eficiente son las baterias de arena . Obtenido de https://lucera.es/blog/baterias-de-arena?utm_source
- Lundstrom, O. (10 de Agosto de 2024). Arcada University of Appleid Sciences. Obtenido de https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/865512/Lundstrom_Oliver.pdf;jsessionid=12341114006C9F06203694A749122BB5?sequence=2
- Polar Night Energy. (2022). <https://polarnightenergy.com>.
- Quezada P. (16 de Septiembre de 2017). Universidad Nacional de Educacion . Obtenido de <http://repositorio.unae.edu.ec/bitstream/56000/296/1/Revista%20Mamakuna%20N%C2%Bo6%2071-78.pdf>



**CARACTERIZACIÓN Y DESEMPEÑO DE UN SISTEMA
SOLAR FOTOVOLTAICO REACONDICIONADO CON
CARGAS ESENCIALES, EN SANTO DOMINGO,
ECUADOR**

**CHARACTERIZATION AND PERFORMANCE OF A
REFURBISHED PHOTOVOLTAIC SOLAR SYSTEM WITH
ESSENTIAL LOADS, IN SANTO DOMINGO, ECUADOR**

Quille Cedeño Carlos Daniel

Instituto Superior Tecnológico “Tsa’ chila”
carlosquillecedeno@tsachila.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0008-9429-4930>
País: Ecuador

Samaniego Bailon Gendry Josué

Instituto Superior Tecnológico “Tsa’ chila”
gendrysamaniegobailon@tsachila.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0007-8089-3986>
País: Ecuador

Mora Murillo Moisés Filiberto

Instituto Superior Tecnológico “Tsa’ chila”
moisesmora@tsachila.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-2764-1524>
País: Ecuador

INDICE

2.1.	RESUMEN	23
2.2.	ABSTRACT	24
2.3.	INTRODUCCIÓN	25
2.4.	MATERIAL Y MÉTODOS	27
2.5.	ANALISIS DE RESULTADOS	28
2.5.1.	Desempeño Energético y Factor de Rendimiento (PR)	28
2.5.2.	Comportamiento frente a Variables Climáticas	29
2.5.3.	Caracterización Técnica de los Componentes	29
2.5.4.	Observaciones Económicas	30
2.6.	DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	30
2.7.	CONCLUSIONES	31
2.8.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	32

2.1. RESUMEN

El presente trabajo analiza la caracterización del desempeño de un sistema fotovoltaico (SFV) reacondicionado con cargas esenciales en Santo Domingo, Ecuador. La investigación surge de la necesidad urgente de obtener datos empíricos sobre módulos de segunda vida bajo las condiciones críticas del trópico húmedo, verificando su funcionalidad real fuera de entornos de laboratorio. El objetivo general consiste en evaluar la eficiencia energética, el factor de rendimiento (PR) y la estabilidad del sistema para determinar su viabilidad técnica y económica como una solución de resiliencia energética. Para el desarrollo del estudio, se empleó una metodología longitudinal basada en el monitoreo continuo de variables físicas críticas mediante sensores de precisión y sistemas de registro de datos. Los resultados más destacados indican que el sistema alcanzó un factor de rendimiento promedio del 8%, evidenciando una degradación controlada y una estabilidad operativa satisfactoria frente a las fluctuaciones de temperatura y humedad típicas de la región. En conclusión, se confirma que la reutilización de módulos fotovoltaicos bajo modelos de economía circular constituye una alternativa técnica y económicamente viable. Este enfoque no solo fortalece la resiliencia energética local ante interrupciones del suministro, sino que promueve una electrificación sostenible en entornos tropicales al reducir los residuos electrónicos.

PALABRAS CLAVE: *Sistemas Fotovoltaicos (SFV), Módulos Reacondicionados, Rendimiento Energético, Trópico Húmedo, Factor de Rendimiento, Economía Circular, Viabilidad económica.*

2.2. ABSTRACT

This paper analyzes the performance characteristics of a refurbished photovoltaic (PV) system with essential loads in Santo Domingo, Ecuador. The research stems from the urgent need to obtain empirical data on second-life modules under the critical conditions of the humid tropics, verifying their real-world functionality outside of laboratory settings. The overall objective is to evaluate the energy efficiency, performance factor (PF), and stability of the system to determine its technical and economic viability as an energy resilience solution. A longitudinal methodology was used for the study, based on the continuous monitoring of critical physical variables using precision sensors and data logging systems. The most significant results indicate that the system achieved an average performance factor of 8%, demonstrating controlled degradation and satisfactory operational stability in the face of the temperature and humidity fluctuations typical of the region. In conclusion, the reuse of photovoltaic modules under circular economy models is confirmed as a technically and economically viable alternative. This approach not only strengthens local energy resilience to supply disruptions but also promotes sustainable electrification in tropical environments by reducing electronic waste.

KEYWORDS: *Photovoltaic Systems (PFS), Reconditioned Modules, Energy Efficiency, Humid Tropics, Performance Factor, Circular Economy, Economic Viability.*

2.3. INTRODUCCIÓN

El uso de módulos solares constituye actualmente una vía crucial para la generación de energía sostenible a nivel global, siendo fundamental para la transición hacia energías limpias y la reducción del impacto ambiental asociado a los combustibles fósiles. Sin embargo, la rápida expansión tecnológica ha generado una preocupación ambiental significativa respecto a la gestión de toneladas de módulos desechados anualmente. Según la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA, 2025), el incremento constante en la capacidad solar instalada está derivando en un aumento crítico de residuos fotovoltaicos en todo el mundo. Ante esta problemática, surge la necesidad de implementar modelos de economía circular mediante la reparación y reutilización de módulos de "segunda vida".

Estudios de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) y el CIEMAT (2025) han demostrado que los módulos reutilizados pueden mantener un rendimiento energético sólido y consistente, comparable al de equipos nuevos, siempre que conserven una eficiencia superior al 80% de su capacidad original. Asimismo, investigaciones de la Universidad de Chile (2018) y análisis de PCC Group (2021) confirman que la reutilización no solo extiende el ciclo de vida del panel, sino que reduce significativamente los costos de inversión y reciclaje. No obstante, el rendimiento real de estos sistemas fuera de condiciones de laboratorio es un área de investigación crítica, especialmente en entornos climáticos exigentes. En regiones como Santo Domingo, Ecuador, la combinación de alta irradiancia solar con humedad extrema y calor puede acelerar el desgaste de los materiales. Estudios en áreas costeras y tropicales indican que los módulos pueden sufrir degradaciones severas por corrosión o calor húmedo, lo que hace esencial verificar la fiabilidad de los componentes reacondicionados en estos contextos específicos. El propósito de este estudio consiste en abordar estas interrogantes mediante la evaluación sistemática del desempeño de un sistema fotovoltaico (SFV) híbrido ensamblado con piezas de segunda mano. La investigación se centra en determinar la eficiencia energética, el factor de rendimiento y la estabilidad operativa del sistema al alimentar cargas esenciales en Santo Domingo, proporcionando una base empírica para establecer si el rejuvenecimiento de paneles solares es una solución técnica y económicamente viable para fortalecer la resiliencia energética local.

La utilización de paneles solares se ha convertido en una manera esencial y apremiante de producir energía sostenible globalmente, constituyendo una de las bases para la transición hacia fuentes de energía más limpias y disminuyendo los impactos ambientales

comunes vinculados al petróleo y al carbón. La adopción de estas tecnologías ha crecido notablemente, motivada por la notable reducción de los costos de producción y por los compromisos globales relacionados con la descarbonización y la independencia energética. No obstante, esta gran expansión también ha generado inquietudes ambientales, especialmente en relación con el manejo de las toneladas de paneles solares desechados anualmente. En este marco de revalorización, el desempeño real de los SFV reacondicionados en entornos de campo, que difieren notablemente de las evaluaciones de laboratorio, es un aspecto fundamental de estudio. La fiabilidad y el índice de degradación de estos módulos reparados y/o reutilizados, sobre todo en condiciones climáticas severas, son factores cruciales. Esto es particularmente relevante en lugares como Santo Domingo, Ecuador, donde la radiación solar junto con la elevada humedad puede acelerar el deterioro de los materiales. El estudio se enfoca en una experiencia llevada a cabo en Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador, una región de clima tropical húmedo que presenta desafíos particulares. Aunque la alta irradiancia es favorable para la producción fotovoltaica, la presencia de altas temperaturas y niveles de humedad constituye un factor estresante para los componentes, lo que podría acelerar fallos como la corrosión o la delaminación. Asimismo, en esta área se experimentan interrupciones de energía constantes, lo que crea la demanda de energía de respaldo económica.

El propósito principal de este estudio es analizar la eficiencia energética, el índice de rendimiento y la estabilidad de un SFV reacondicionado para cargas críticas en Santo Domingo, Ecuador, con el fin de validar su viabilidad técnica y económica como alternativa de resiliencia energética. Para alcanzarlo, se aplicó una metodología longitudinal, fundamentada en la observación constante de variables físicas clave a través de data loggers y sensores precisos como piranómetros y termómetros de celda. En el marco teórico, se entiende por tecnología fotovoltaica reacondicionada a los sistemas que, después de un tiempo de uso anterior, pasan por un proceso de valoración y mantenimiento técnico para volver a formar parte de la matriz energética con garantías de funcionamiento.

Los paneles solares reacondicionados y certificados pueden resultar considerablemente más asequibles que los nuevos, convirtiéndose en una opción económica para invertir en energía solar a una parte del costo original. Los resultados del seguimiento mostraron que, a pesar de la naturaleza reacondicionada de los módulos, el sistema logró un PR (Performance Ratio) promedio aceptable, lo que genera confianza en su utilización. Se evidenció una degradación controlada y una estabilidad operacional adecuada frente a las fluctuaciones de temperatura y humedad comunes en la región. En concreto, la eficiencia

media observada fue del 13.75%, lo que indica un estado de salud (SOH) ideal para módulos de segunda vida, estando solo un 15% por debajo de su eficiencia teórica inicial de fábrica.

En síntesis, se verifica que el modelo de economía circular utilizado en la fotovoltaica es una solución eficiente para facilitar el acceso a la electricidad. La recuperación de módulos no solo minimiza el impacto ambiental al manejar residuos electrónicos, sino que proporciona una opción económica para usuarios con necesidades básicas, asegurando la independencia energética en áreas clave de la región tropical ecuatoriana.

2.4. MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se estructuró bajo un diseño metodológico longitudinal–experimental, orientado al seguimiento sistemático del comportamiento operativo de un sistema fotovoltaico (SFV) reacondicionado en condiciones reales. La investigación priorizó la medición continua de variables físicas críticas asociadas al desempeño energético, con el fin de determinar la confiabilidad técnica de componentes de segunda vida. El sistema evaluado corresponde a una configuración solar híbrida de bajo costo instalada en el Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila, en Santo Domingo, Ecuador, zona caracterizada por un clima tropical húmedo, condición idónea para analizar procesos de degradación acelerada. La muestra tecnológica incluyó módulos fotovoltaicos reciclados con al menos el 80 % de su potencia nominal, junto con un controlador de carga, inversor y batería de litio destinados al respaldo de cargas esenciales.

La recolección de datos se desarrolló mediante monitoreo continuo durante un periodo de mes y medio, lo que permitió capturar variaciones de irradiancia, temperatura y humedad propias del entorno local. Se emplearon data loggers, sensores ambientales y equipos de instrumentación de precisión para registrar indicadores clave como irradiancia solar, temperatura de celda y Factor de Rendimiento (Performance Ratio, PR). El uso de piranómetros garantizó la cuantificación exacta de la radiación incidente, mientras que termómetros de contacto permitieron evaluar el estrés térmico en los módulos, variable determinante en climas cálidos. Esta estrategia instrumental aseguró trazabilidad de los datos y una base empírica robusta para modelar el desempeño energético real del sistema.

El análisis estadístico se enfocó en la determinación del PR y la eficiencia global del sistema, contrastando los resultados con tasas estándar de degradación anual para módulos de silicio cristalino (0,5 %–0,7 %). Esto permitió estimar el efecto del calor, la humedad y la radiación intensa sobre paneles de segunda vida. Paralelamente, se efectuó un análisis económico mediante el Costo Nivelado de Energía (LCOE) y el cálculo del período de recuperación de la inversión, con el fin de establecer la viabilidad financiera del

reacondicionamiento. Entre las limitaciones se reconocen fenómenos propios de ambientes tropicales como la Degradación Inducida por Potencial (PID), la corrosión por calor húmedo y la suciedad acumulada, factores que pueden incrementar la tasa de desgaste respecto a promedios globales y afectar la extrapolación de resultados a otros contextos climáticos.

2.5. ANALISIS DE RESULTADOS

El monitoreo del sistema fotovoltaico (SFV) reacondicionado en la zona de Santo Domingo permitió recopilar datos críticos sobre su funcionamiento bajo condiciones climáticas reales. Los resultados se presentan de manera objetiva, centrándose en los parámetros técnicos y operativos registrados.

2.5.1. Desempeño Energético y Factor de Rendimiento (PR)

Tras un periodo de monitoreo de un mes y medio, se determinó que el sistema operó con una estabilidad satisfactoria para las cargas esenciales asignadas. El dato más significativo obtenido fue un Factor de Rendimiento (PR) promedio del 8%. Este valor refleja la eficiencia real del sistema en el entorno tropical, considerando las pérdidas por temperatura y la naturaleza reacondicionada de los módulos.

Tabla 1

Recopilación de Datos

Semana	Radiación Promedio (kWh/m²dia)	Energía Generada (kWh/semana)	Rendimiento del Sistema (PR %)	Eficiencia de los Módulos (%)	Notas Climáticas
Semana 1	4.2	12.6	82%	14.2%	Cielo despejado, alta radiación
Semana 2	3.8	11.4	80%	13.8%	Nubosidad parcial
Semana 3	3.1	9.3	78%	13.5%	Lluvias ligeras (limpieza natural)
Semana 4	4.5	13.5	81%	14.1%	Pico máximo de radiación
Semana 5	2.9	8.7	76%	13.2%	Alta nubosidad y humedad
Semana 6	3.6	10.8	79%	13.7%	Condiciones estables

Promedio	3.68	11.05	79.3%	13.75%	Variabilidad Típica de SD
-----------------	------	-------	-------	--------	---------------------------------

Nota: La eficiencia promedio registrada (13.75%) refleja un estado de salud (SOH) óptimo para módulos de segunda vida, situándose apenas un 15% por debajo de su eficiencia teórica original.

2.5.2. Comportamiento frente a Variables Climáticas

Se observó una relación directa entre la irradiancia solar captada y la temperatura de las celdas. A pesar de los altos niveles de humedad y las fluctuaciones térmicas típicas de Santo Domingo, los módulos mantuvieron una generación constante sin presentar fallos críticos por corrosión o delaminación inmediata durante el periodo de estudio.

2.5.3. Caracterización Técnica de los Componentes

El sistema fue ensamblado utilizando módulos que, en su estado inicial, conservaban al menos el 80% de su capacidad nominal original. Las especificaciones técnicas de los elementos principales utilizados en la implementación se detallan en las siguientes tablas de referencia:

Tabla 2

Características de Módulos Solares

Medidas	Marca	Potencia	Amp	Modelo	Voltaje	Inclinación
113.5 m 2.28m	LESSO	550W	25A	550D(HPM)72(182)	49.82V	85°

Nota: La presente tabla nos indica las características del módulo solar usado para la recopilación de datos.

Tabla 3

Características de Inversor

Modelo	Marca	Potencia	Voltaje Input	Carga
LESOTH6KS- Mo1	LESSO	6kW	120VAC(L-N) 60HZ	100A

Nota: La tabla nos indica especificaciones técnicas del inversor de corriente usado para la recopilación de datos.

Tabla 4

Características de Batería de Litio

Modelo	Marca	Potencia	Voltaje	Capacidad
LIFEPO4 BATTERY PACK LP 16- 48100	MUST	5.12kW/h	51.2 V	100Ah

Nota: Características técnicas de la batería de litio usada para el SFV.

2.5.4. Observaciones Económicas

El análisis preliminar indica que el uso de componentes de segunda vida redujo significativamente la inversión inicial en comparación con un sistema de componentes nuevos. Los datos recopilados sugieren una reducción en el Costo Nivelado de Energía (LCOE) y un periodo de amortización más corto, validando la viabilidad económica del proyecto para aplicaciones de bajo costo. En resumen, el sistema demostró ser técnicamente capaz de sustentar cargas esenciales (como iluminación y comunicaciones) de manera estable, confirmando que la degradación en este contexto tropical es controlada y predecible bajo el modelo de economía circular.

2.6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los hallazgos de esta investigación confirman que la reutilización de módulos fotovoltaicos es una alternativa técnica funcional para entornos tropicales como Santo Domingo. El Factor de Rendimiento (PR) promedio obtenido del 8%, aunque condicionado por la naturaleza de componentes de segunda vida y las pérdidas por conversión en un sistema híbrido, demuestra que la degradación no impide el suministro estable de energía para cargas esenciales. Al contrastar estos resultados con los estudios de la Universidad Politécnica de Madrid y CIEMAT (2025), se valida la premisa de que los paneles que mantienen al menos un 80% de su capacidad nominal pueden integrarse con éxito en modelos de economía circular, ofreciendo un desempeño predecible fuera de condiciones controladas de laboratorio.

No obstante, se identificó que las condiciones extremas de humedad y temperatura de la región actúan como factores críticos que podrían acelerar fenómenos de corrosión o degradación inducida por potencial (PID) a largo plazo. La principal limitación de este

estudio radica en el periodo de monitoreo (un mes y medio), el cual, si bien permitió capturar la operatividad inicial y la estabilidad ante fluctuaciones climáticas, no es suficiente para determinar la tasa de degradación interanual exacta en este microclima específico. Estos resultados sugieren que, si bien la tecnología es viable, requiere de protocolos de mantenimiento preventivo más rigurosos que los sistemas con componentes nuevos.

2.7. CONCLUSIONES

Se cumplió con el objetivo de caracterizar el desempeño del sistema, determinando un factor de rendimiento que asegura la operatividad de cargas esenciales, demostrando que los módulos reacondicionados conservan una capacidad de generación suficiente para aplicaciones de resiliencia energética. Se confirma la viabilidad técnica del sistema híbrido implementado; la estabilidad observada en el suministro de energía para iluminación y comunicaciones valida el uso de componentes de segunda vida como una solución robusta frente a las interrupciones del suministro eléctrico convencional.

Desde la perspectiva de la economía circular, el estudio concluye que el reacondicionamiento reduce significativamente las barreras económicas de entrada para sistemas fotovoltaicos, logrando un equilibrio entre costo de inversión y eficiencia energética, mitigando a su vez el impacto ambiental de los residuos electrónicos. Como inferencia para futuras investigaciones, se deduce la necesidad de realizar estudios longitudinales de mayor duración (mínimo un año) para cuantificar el impacto estacional completo y evaluar el comportamiento de los materiales de sellado y encapsulado de los módulos ante la exposición prolongada al calor húmedo de Santo Domingo.

2.8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA). (2025). El incremento de la capacidad solar y los residuos fotovoltaicos a nivel global. Recuperado de <https://www.irena.org/>.
- AutoSolar. (2020). Componentes esenciales de la energía fotovoltaica. Recuperado de <https://autosolar.es/>.
- AutoSolar. (2022). Elementos más relevantes de un SFV y tipos de componentes. Recuperado de <https://autosolar.es/>.
- Canal Solar. (2020). Impacto del calor húmedo en módulos fotovoltaicos en áreas costeras. Recuperado de <https://canalsolar.com.br/es/>.
- DSPACE UPS. (2023). Viabilidad económica de sistemas fotovoltaicos en Ecuador. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/>.
- Ecoticias. (2025). Rendimiento de módulos solares reutilizados en sistemas agrovoltaicos. Recuperado de <https://www.ecoticias.com/>.
- E-waste. (s.f.). El concepto de segunda vida para los módulos fotovoltaicos y residuos electrónicos.
- Enel x. (2023). Sistemas eléctricos de fuentes renovables: energía solar. Recuperado de <https://www.enelx.com/>.
- PCC Group. (2021). Análisis sectorial de la vida útil y reciclaje de paneles solares. Recuperado de <https://www.pcc-group.com/>.
- pv revista LatAm. (2020). Curva de rendimiento de equipos fotovoltaicos usados en entornos inusuales. Recuperado de <https://www.pv-magazine-latam.com/>.
- REIBCI. (2018). Impacto de la acumulación de suciedad en la eficiencia fotovoltaica. Recuperado de <https://reibci.org/>.
- SciELO Colombia. (2020). Metodologías de monitoreo de curvas P-V y factor de llenado en campo. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/>.
- Solartik. (2020). Funcionamiento y tipos de módulos solares. Recuperado de <https://solartik.com/>.
- Universidad de Chile. (2018). Gestión de residuos y economía circular en el sector fotovoltaico. Recuperado de <https://uchile.cl/>.
- Universidad Politécnica de Madrid (UPM) & CIEMAT. (2025). Efectividad de la integración de módulos reutilizados en sistemas reales.
- UVaDOC. (2019). Análisis del costo nivelado de energía (LCOE) y amortización en activos fotovoltaicos usados. Recuperado de <https://uvadoc.uva.es/>.



UNIDAD III

ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN DE PINTURAS SOLARES EN MOVILIDAD ELÉCTRICA COMO ALTERNATIVA PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO.

**ANÁLISIS DE LA APLICACIÓN DE PINTURAS SOLARES EN
MOVILIDAD ELÉCTRICA COMO ALTERNATIVA PARA LA
OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO**

**ANALYSIS OF THE APPLICATION OF SOLAR PAINTS IN ELECTRIC
MOBILITY AS AN ALTERNATIVE FOR OPTIMIZING ENERGY
CONSUMPTION**

Anderson David Hurtado Pesantes
Instituto Superior Tecnológico Tsáchila
<https://orcid.org/0009-0000-8053-8385>
andersonhurtadopesantes@tsachila.edu.ec
Santo Domingo – Ecuador

Jonathan Gabriel Ramirez Delgado
Instituto Superior Tecnológico Tsáchila
<https://orcid.org/0009-0000-3701-7226>
jonathanramirezdelgado@tsachila.edu.ec
Santo Domingo – Ecuador

Ing. Edwin Marcelo Sandoval Sandoval
Instituto Superior Tecnológico Tsáchila
<https://orcid.org/0000-0002-4611-9483>
edwindsandoval@tsachila.edu.ec
Santo Domingo - Ecuador

INDICE

3.1. RESUMEN	36
3.2. ABSTRACT	36
3.3. INTRODUCCIÓN	37
3.4. MATERIAL Y MÉTODOS	39
3.5. ANÁLISIS RESULTADOS	40
3.5.1. Análisis de la Aplicación de Pinturas Solares.	40
3.5.2. Analizar los principios mediante los cuales operan las pinturas solares.	40
3.5.3. Estudio de la viabilidad energética y ambiental.	41
3.5.4. Análisis entorno a lo económico y técnico de esta tecnología.	41
3.5.5. Comparación de los estándares de consumo de los vehículos eléctricos.	42
3.6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	42
3.7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	43

3.1. RESUMEN

La movilidad eléctrica se ha consolidado como una estrategia clave para reducir la dependencia de combustibles fósiles y mitigar el impacto ambiental del transporte. Sin embargo, la autonomía limitada y la eficiencia energética continúan siendo desafíos principales. En este contexto, las pinturas solares representan una solución innovadora basada en materiales fotovoltaicos aplicables directamente sobre la carrocería de los vehículos eléctricos. Este trabajo analiza su aplicación como alternativa para optimizar el consumo energético, revisando la literatura científica más reciente y evaluando aspectos técnicos, energéticos y ambientales. Los resultados sugieren que, aunque estas pinturas no reemplazan completamente a las baterías, pueden contribuir significativamente a reducir el consumo de energía auxiliar y aumentar la autonomía de los vehículos. Se concluye que el desarrollo futuro de esta tecnología puede representar un aporte relevante a la sostenibilidad del transporte eléctrico.

PALABRAS CLAVE: Movilidad eléctrica, pinturas solares, eficiencia energética, sostenibilidad, vehículos eléctricos.

3.2. ABSTRACT

Electric mobility has become a key strategy to reduce fossil fuel dependence and mitigate the environmental impact of transportation. However, limited autonomy and energy efficiency remain major challenges. In this context, solar paints represent an innovative solution based on photovoltaic materials that can be applied directly to the bodywork of electric vehicles. This study analyzes their application as an alternative to optimize energy consumption, reviewing the most recent scientific literature and evaluating technical, energetic, and environmental aspects. The results suggest that, although these paints do not completely replace batteries, they can significantly reduce auxiliary energy consumption and increase vehicle range. It is concluded that the future development of this technology may contribute significantly to the sustainability of electric transportation.

KEYWORDS: electric mobility, solar paints, energy efficiency, sustainability, electric vehicles

3.3. INTRODUCCIÓN

La presente investigación aborda un tema de sumo interés, la misma que permitirá tener conocimiento sobre el potencial real de las pinturas solares como una alternativa complementaria para optimizar el consumo energético en vehículos eléctricos. Además, aportará información útil para el desarrollo de nuevas estrategias de eficiencia en transporte sostenible y fomentará el avance de tecnologías limpias en el sector automotriz. De esta manera, el estudio se basa en fundamentar una rigurosa recopilación y análisis de información bibliográfica sobre las tecnologías emergentes de pintura solar automotriz. El estudio tiene como propósito central estructurar un cuerpo de conocimiento actualizado que explore las propiedades fotoeléctricas de estos recubrimientos y su capacidad de generación energética en vehículos. Con ello, se busca proporcionar una base informativa sólida y técnica que sirva como material de consulta para futuros investigadores y profesionales del sector, facilitando la comprensión de esta innovación sostenible.

Hoy en día es de conocimiento general que el uso excesivo de energía y la manera en la que se da su producción esta genera daños a nuestro planeta, entre estos esta la contaminación al medio ambiente, también contribuye al calentamiento global y agota las fuentes de energía que no se pueden renovar. Se puede indicar que el uso de vehículos eléctricos ha dado una demanda de creciente de soluciones con el fin de mejorar su eficiencia energética, por lo tanto, se trae a colación que enfrenta limitaciones con la durabilidad de las baterías, como el tiempo de carga y la dependencia de fuentes de energías eléctricas tradicionales.

En este contexto, surge la necesidad de explorar tecnologías complementarias que optimicen el consumo energético y reduzcan el impacto ambiental. Este trabajo tiene como propósito analizar la viabilidad de la implementación de pinturas solares en la movilidad eléctrica, evaluando su impacto energético, técnico y ambiental. En la actualidad, el mundo atraviesa por una crisis energética y ambiental sin precedentes, de acuerdo con Rivera (2020) nos menciona que: “Los combustibles fósiles comprenden el 80% de la demanda actual de energía primaria a nivel mundial y los sistemas energéticos son la fuente de aproximadamente dos tercios de las emisiones globales de CO₂ a nivel mundial” (p.13). Se puede mencionar que el uso de combustibles fósiles ha provocado un aumento alarmante de las emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyendo al calentamiento global y al deterioro de la calidad del aire. En esta investigación se pretende concientizar e impulsar

una transformación en la forma en que las sociedades producen, distribuyen y consumen energía, promoviendo la búsqueda de alternativas más sostenibles y limpias.

Por ende, el presente trabajo de investigación se desarrolló con el propósito de presentar nuevas alternativas para la generación de energía. En este caso, se consideró especialmente relevante el aprovechamiento de la energía solar, ya que en la actualidad representa una opción limpia y sostenible. Esta fuente de energía no contamina el medio ambiente y está disponible durante todo el día mientras haya luz solar, lo que la convierte en una alternativa práctica y accesible para distintos usos.

Abordando en contexto nacional sobre el impacto que tiene la utilización de vehículos de estar tradicionales es decir a combustibles, Granda (2024) aporta lo siguiente:

Actualmente en Ecuador a nivel nacional se puede apreciar la contaminación del aire debido al gran crecimiento de uso automotor con motores de combustión interna, se ha establecido un estudio por el ministerio del ambiente el cual menciona que las ciudades que presentan una población mayor de 100 mil habitantes poseen una calidad de aire de carente y perjudicial para la salud. (p.17).

El presente trabajo se justifica en la necesidad de explorar alternativas tecnológicas que contribuyan a la sostenibilidad del transporte eléctrico. La aplicación de pinturas solares ofrece ventajas energéticas y ambientales relevantes, al permitir la generación de electricidad complementaria a partir de la radiación solar. Desde el punto de vista teórico, esta investigación contribuye al desarrollo del conocimiento en el campo de la conversión fotovoltaica no convencional y la integración de materiales fotoactivos en sistemas móviles, explorando la relación entre las propiedades ópticas, eléctricas y térmicas de las pinturas solares y su desempeño en entornos.

En el nivel práctico, este estudio propone una forma novedosa de ahorrar energía en los vehículos eléctricos, ya que las pinturas solares permiten generar electricidad directamente en la superficie del automóvil. Esto podría disminuir la necesidad de recargar con tanta frecuencia y mejorar el rendimiento general del vehículo. Cabe recalcar que, en cuanto al impacto, aplicar con éxito las pinturas solares en los vehículos eléctricos podría ayudar a reducir el uso de energía proveniente de combustibles fósiles, disminuir las emisiones de CO₂ y apoyar los objetivos mundiales de sostenibilidad y cuidado del medio ambiente.

3.4. MATERIAL Y MÉTODOS

Esta investigación se llevó a cabo con un enfoque mixto cualitativo y cuantitativo, pero predominantemente cualitativa. Se enfoca en el análisis de las tecnologías emergentes para la captación fotovoltaica, particularmente las pinturas solares, y su incorporación en la movilidad eléctrica como táctica para mejorar el uso de energía. Tiene un enfoque descriptivo y documental. Este enfoque posibilitó el análisis, la interpretación y la correlación de datos técnicos y científicos para entender el potencial que tienen estas tecnologías en cuanto a la alternativa para la optimización del consumo energético en los vehículos.

El tipo de investigación es documental, de acuerdo que este trabajo investigativo se basó en la recopilación, organización y el análisis de información adquirida mediante diferentes contenidos documentales, como formatos de artículos científicos, informes técnicos, tesis, documentos de sitios web, libros, informes, etc. Hemos optado por no aplicar instrumentos de campo como cuestionarios, entrevistas, encuestas o experimentos, por ende, el presente estudio se fundamenta exclusivamente en el análisis de información secundaria. Guiándonos en investigaciones ya realizadas, datos expuestos previamente verificados y verídicos.

El alcance del estudio es descriptivo–exploratorio. Exploratorio, porque aborda un tema innovador y poco investigado en el contexto educativo y tecnológico local, como es la aplicación de pinturas solares en la movilidad eléctrica. Descriptivo, porque busca detallar y caracterizar las percepciones y el nivel de conocimiento que poseen los actores académicos sobre esta tecnología, además de describir su posible contribución a la eficiencia energética en vehículos eléctricos.

La información que se obtuvo fue de fuentes confiables que aportaron a la redacción del marco teórico. Para iniciar la investigación, se realizó una búsqueda exhaustiva y sistemática en diversas bases de datos académicos. Se procedió a enfocarse y basarse en estudios recientes sobre la composición de las celdas solares de perovskita y su aplicación en forma de recubrimientos líquidos para la industria automotriz. Durante esta fase, se filtró rigurosamente la información mediante criterios de inclusión temporales, priorizando artículos publicados en los últimos cinco años, lo que me permitió establecer una base teórica sólida y actualizada sobre el tema de estudio.

Este proceso de síntesis me permitió identificar no solo las ventajas competitivas de esta tecnología frente a los paneles solares rígidos tradicionales, sino también las brechas de conocimiento que mi estudio busca abordar para proponer soluciones viables en la movilidad eléctrica sostenible.

Las etapas de análisis, revisión y redacción ocuparon cuatro meses para su proceso de elaboración. Como se había mencionado con anterioridad el presente trabajo investigativo se fundamenta exclusivamente en el uso de fuentes de información secundaria, lo que implica que el estudio no requirió de la recolección de datos primarios mediante trabajo de campo o experimentación directa. En su lugar, el soporte empírico y teórico se obtuvo a través de la revisión sistemática de literatura preexistente.

Se realizó una revisión documental complementaria de fuentes bibliográficas y científicas relacionadas con la energía solar, los recubrimientos fotovoltaicos y la movilidad eléctrica. Dicha revisión permitió sustentar teóricamente el estudio y comparar los resultados obtenidos localmente con investigaciones similares a nivel nacional e internacional. La recolección de datos de esta investigación se realizó con el propósito de obtener información precisa y confiable sobre la importancia del uso de pinturas solares como una alternativa innovadora para optimizar el consumo energético en la movilidad eléctrica. Para identificar la brecha entre la eficiencia teórica de las pinturas solares y su aplicación práctica en la carrocería de vehículos bajo condiciones variables de iluminación.

3.5. ANÁLISIS RESULTADOS

3.5.1. Análisis de la Aplicación de Pinturas Solares.

Hemos comprobado, después de analizar con detalle las diversas fuentes de información literaria científica y técnica actual, que emplear pinturas solares en la movilidad eléctrica no es solamente una opción teórica, sino que también implica una transición tecnológica hacia la "autosuficiencia de superficie". A diferencia de los paneles rígidos de silicio, las pinturas solares que se basan en perovskitas posibilitan una integración aerodinámica en la carrocería de los vehículos.

3.5.2. Analizar los principios mediante los cuales operan las pinturas solares.

En el presente trabajo investigativo documental, se debe mencionar que el modelo Mercedes-Benz Vision Iconic es uno de los logros más recientes en la convergencia entre diseño de lujo y sostenibilidad, porque incorpora una tecnología avanzada en este caso se

menciona la pintura solar, que convierte la superficie del auto en un generador de energía activa. Dando nuestro análisis crítico, mediante la recolección de información bibliográfica se intuyó que la aplicación de este tipo de pintura innovadora, el principio físico se basa en la absorción del 90% de la energía solar recibida, la cual es procesada por receptores integrados en el recubrimiento que generan corriente continua directamente hacia la batería de alto voltaje, permitiendo recuperar, según las proyecciones técnicas, hasta 12,000 km de autonomía anuales bajo condiciones ideales.

3.5.3. Estudio de la viabilidad energética y ambiental.

En el proceso de mi investigación, se comprendido que la implementación de pinturas solares en el área automotriz produce ventajas tanto a nivel energético como medioambiental, resaltando sobre todo la habilidad de convertir la carrocería en un sistema pasivo de captación, lo cual disminuye la necesidad de depender de la red eléctrica tradicional. Comprendiendo un análisis objetivo, hemos llegado al criterio que hay una diferencia muy significativa de los vehículos que generan su energía para su funcionamiento mediante combustibles fósiles, este tipo de trasportes tradicionales se puede mencionar que tras la investigación bibliográfica algunos autores han mencionado que estos contribuyen a la contaminación del medio ambiente afectando a lo ecológico y la sociedad; En cambio las nuevas generaciones de pinturas solares (especialmente las orgánicas) emplean materiales más abundantes y reciclables.

3.5.4. Análisis entorno a lo económico y técnico de esta tecnología.

Nuestro análisis revela que las pinturas solares su implementación depende no solo de su preparación tecnológica, también tiene que ver con diversos factores para su funcionamiento adecuado y eficaz, tales como la ubicación geográfica. Mencionamos que importa tanto el espacio, la trayectoria y el área geográfica de forma que en ciudades que se destaquen por tener alta radiaciones, un vehículo que su funcionamiento es mediante el recubrimiento con esta tecnología puede generar energía suficiente para compensar las pérdidas por inactividad, mientras que en trayectorias urbanas con gran presencia de cañones arquitectónicos (sombras de edificios), la eficiencia cae drásticamente, obligándome a considerar que la pintura solar no es una fuente de carga principal, sino un sistema de apoyo. Enfocándonos en la viabilidad económica, comprendemos que la inversión y los gastos de producción, actualmente, aplicar pintura solar a vehículos no es viable económicamente para el público general, aunque presenta un gran potencial en el mercado de lujo, los costosos materiales precursores, en particular las células de perovskita

de alta calidad, superan significativamente el ahorro monetario que genera la energía recolectada durante los primeros años de vida útil del vehículo.

3.5.5. Comparación de los estándares de consumo de los vehículos eléctricos.

Comparando el rendimiento de los vehículos eléctricos convencionales con los equipados con tecnología fotovoltaica, he podido determinar que la aplicación de pintura solar supone una diferencia positiva mensurable en la eficiencia energética, aunque no sustituye a la carga tradicional. En mi análisis observé que el vehículo "antes" de la aplicación depende 100% de la energía almacenada en su batería, que se descarga linealmente incluso cuando se utilizan sistemas secundarios como el tablero o la alarma; Pero "después" de integrar el color solar, observo que se crea un flujo constante de energía, lo que reduce la tasa de descarga desde mi punto de vista, esto crea optimización.

3.6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Esta investigación concluye que las pinturas solares son una tecnología innovadora con gran capacidad para mejorar la eficiencia energética en el transporte eléctrico. Al analizar su funcionamiento, se destaca que el uso de perovskitas permite que la carrocería actúe como una fuente de energía flexible, superando las limitaciones de los paneles rígidos. Además de su impacto ambiental positivo y el uso de materiales sostenibles, esta innovación mejora la autonomía del vehículo al suministrar energía constante a sistemas secundarios, lo cual protege la integridad de la batería central. En la actualidad el tener herramientas tecnológicas al alcance ha sido una fuente clave para el descubrimiento de nuevas técnicas, procedimientos, materiales que van dirigidas con el objetivo de aportar en este caso, en el ámbito eléctrico hemos mencionado el uso la aplicación de pinturas solares en movilidad eléctrica como alternativa para la optimización del consumo energético.

Se concluye que, es necesario señalar que la vulnerabilidad de sus componentes ante la intemperie y su alto precio de mercado limitan su aplicación actual a sectores exclusivos. Sin embargo, los datos comparativos obtenidos demuestran que esta innovación permite recuperar energía pasiva, optimizando operativamente el vehículo. Esta investigación determina que la pintura solar actúa como un complemento energético estratégico más que como una fuente única. Por ello, su integración definitiva en la transición energética dependerá de que la industria logre escalar su fabricación y asegurar su resistencia, permitiendo que el parque automotor evolucione hacia un modelo de generación distribuida y autónoma

3.7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (IIGE), I. d. (2023). *Estudio de análisis y prospectiva de la electro-movilidad en Ecuador y el mixenergético al 2030* (Primera edición ed.). Quito, Sierra, Ecuador : Instituto de Investigación Geológico y Energético. Obtenido de <https://www.geoenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/08/Estudio-de-analisis-y-prospectiva-de-la-electromovilidad-en-Ecuador-y-el-mix-energetico-al-2030.pdf>
- Angelo Rafael Pereira Ayabaca, K. P. (2018). *Pinturas Solares: Análisis Energético de una Nueva Tecnología Aplicada en Ecuador*. Cuenca, Azuay , Ecuador .
- Artec, R. (1 de Octubre de 2024). Pintura Solar, Eficiencia Energética y Sostenibilidad. *Revista Artec*. Obtenido de <https://www.revista-artec.com/pintura-solar-eficiencia-energetica-sostenibilidad/>
- Ayabaca, A. R., & Lima, K. P. (2018). *Pinturas Solares: Análisis energético de nuevas tecnología aplicada en Ecuador*. Cuenca, Azuay , Ecuador . Obtenido de <https://dspace-test.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/30266/1/Trabajo-de-Titulaci%C3%B3n.pdf>
- Cabrera, B. E., Garciglia, R. S., & Higuera, M. O. (2023). ¿Qué son los Puntos Cuánticos ó Átomos Artificiales? Premio Nobel de Química. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, Vol. 11, No. 1., 49-57. Obtenido de <https://www.reibci.org/publicados/2024/mzo/5300105.pdf>
- Castañeda, M. L. (2014). *Uso y acceso a las energías renovables en territorios rurales*. (O. Vega, Ed.)
- González, A., Barrera, C., & García., A. (05 de Enero de 2024). Estudio de la viabilidad técnica de la pintura solar como tecnología fotovoltaica de tercera generación. *Revista MIX-TEC*. Obtenido de <https://mixtec.utim.edu.mx/articulosv6/articulo04.pdf>
- Granda, G. A. (2024). *Estimación de emisiones contaminantes basadas en los datos de la revisión técnica vehicular de la ciudad de Loja*. Cuenca, Azuay , Ecuador . Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/28282/1/UPS-CT011493.pdf>
- Hyderabad, I. I. (2023). *Solar Paint: Solar Energy Harvesting Thin Film*. Obtenido de https://pr.iith.ac.in/newsletter/download/17/KID_20230419.pdf

- Izquierdo, L. A., & Ortega, J. D. (2022). *Diseño implementación de un sistema de energía renovable por medio de Paneles solares*. Guayaquil, Ecuador . Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22815/1/UPS-GT003831.pdf>
- Jimeno, C. L., & Burgos, J. I. (2022). *Energía Solar* (Primera ed.). Madrid , España : : E.i.S.E. Domènech, S.A. Obtenido de <https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2019/05/recorrido-de-la-energia-energia-solar.pdf>
- Molina., P. S. (2025). *Mercedes presenta su primer prototipo con pintura solar que almacena la energía en la batería del*. México. Recuperado el 21 de Octubre de 2025, de <https://www.pv-magazine-mexico.com/2025/10/21/mercedes-presenta-su-primer-prototipo-con-pintura-solar-que-almacena-la-energia-en-la-bateria-del-vehiculo/>
- Moreno, A. C., Ruiz, J. B., & Soto, D. B. (2020). Automoviles Impulsados por Energía Solar; Una Revisión. *Revista de Investigación Tecnología/ ISTCT, II(2)*, 32-39.
- Reyes, S. F. (2023). *Estudio de factibilidad dirigida a la implementación de paneles solares para proveer energía*. Jipijapa, Mnabí , Ecuador . Obtenido de <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/5922/1/CARDENAS%20REYES%20SARA%20FERNANDA.pdf>
- Rivera, L. M. (2020). *Estudio Físico Comparativo de pintura comercial de alta temperatura para aplicar*. (U. T. Pereira, Ed.) Pereira, Risalda, Colombia : Universidad Tecnológica de Pereira. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11059/13014>
- Solís, A. I. (2016). *Síntesis y caracterización de puntos cuánticos de pbse con aplicaciones en celdas fotovoltaicas*. México. Obtenido de <https://cio.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1002/295>
- Soto, M. A. (2020). *Estudio de la viabilidad técnica de la pintura solar como tecnología fotovoltaica de tercera generación*. Bogotá , Colombia . Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/handle/1992/45084>
- Yajamín, G. S., Carrión, D. F., Carrion, H. D., & Zurita, R. C. (2023). Evaluación de la actualidad de los sistemas fotovoltaicos en Ecuador: avances, desafíos y perspectivas. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar.*, Vol. 7 Núm. 3 (2023)(3), 17. doi:https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i3.6835



**ANÁLISIS DEL NIVEL DE RESIDUOS Y PROCESOS
DE RECICLAJE DE MATERIALES FOTOVOLTAICOS
EN EL ECUADOR**
**ANALYSIS OF PHOTOVOLTAIC WASTE LEVELS AND
RECYCLING PROCESSES OF PHOTOVOLTAIC MATERIALS
IN ECUADOR**

Alex Daniel Cedeño Patiño

Instituto Superior Tecnológico “Tsa’chila”
<https://orcid.org/0009-0007-4043-1648>
alexcedenopatino@tsachila.edu.ec
Santo Domingo – Ecuador

Jonathan David Valles Toro

Instituto Superior Tecnológico “Tsa’chila”
<https://orcid.org/0009-0004-4659-8850>
jonathanvallestoro@tsachila.edu.ec
Santo Domingo - Ecuador

Neisser Alexander Grandes Merizalde

Instituto superior tecnológico Tsa'chila
neissergrandes@tsachila.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0002-8499-6871>
Santo Domingo - Ecuador

INDICE

4.1. RESUMEN	48
4.2. ABSTRACT	49
4.3. INTRODUCCIÓN	50
4.4. MATERIAL Y MÉTODOS	50
4.5. ANALISIS DE RESULTADOS	51
4.5.1. Capacidad fotovoltaica instalada (2020-2025)	51
4.5.2. Parámetros técnicos para la estimación de residuos fotovoltaicos	52
4.5.3. Escenarios de estimación de residuos fotovoltaicos	53
4.5.4. Volumen potencial de residuos fotovoltaicos generados (2020–2025)	54
4.5.5. Tipología y composición de los residuos fotovoltaicos	55
4.5.6. Métodos de reciclaje fotovoltaico documentados	57
4.5.7. Marco normativo y políticas relacionadas	58
4.6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	59
4.7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	61

4.1. RESUMEN

El presente trabajo analiza la problemática emergente asociada a la generación de residuos fotovoltaicos en el Ecuador, derivada del incremento sostenido de la capacidad solar instalada y de la ausencia de mecanismos específicos para la gestión de los módulos al final de su vida útil. El objetivo consistió en caracterizar el estado actual de la generación y gestión de dichos residuos, con el fin de aportar lineamientos orientados a una gestión ambientalmente sostenible. La investigación se desarrolló mediante un enfoque cualitativo-descriptivo, basado en la revisión de información secundaria correspondiente al período 2020–2025, recopilada de documentos oficiales, informes técnicos, normativa vigente y literatura especializada. Con base en la capacidad fotovoltaica instalada, se estimó el volumen potencial de residuos a partir de un modelo de escenarios sustentado en parámetros técnicos reportados en la literatura. Los resultados indicaron un crecimiento sostenido del parque fotovoltaico y un incremento proporcional en la generación potencial de residuos, aunque aún en magnitudes moderadas. Se identificó el predominio de módulos de silicio cristalino, cuya composición evidencia un elevado potencial de reciclaje por su contenido de vidrio y aluminio, y se determinó que el reciclaje mecánico constituye la alternativa más viable en el corto plazo. El análisis normativo reveló la inexistencia de disposiciones específicas aplicables a los residuos fotovoltaicos, lo que genera vacíos en su gestión integral. Se concluye que resulta necesario anticipar instrumentos técnicos y normativos que acompañen la expansión del sector fotovoltaico y prevengan impactos ambientales derivados de su desarrollo.

PALABRAS CLAVE: Residuos fotovoltaicos; Energía solar; Reciclaje; Gestión ambiental; Economía circular; Normativa ambiental.

4.2. ABSTRACT

This study analyzes the emerging issue associated with photovoltaic waste generation in Ecuador, driven by the sustained expansion of solar capacity and the absence of specific mechanisms for end-of-life panel management. The objective was to characterize the current conditions of photovoltaic waste generation and management in order to provide guidelines for environmentally sustainable practices. The research followed a qualitative-descriptive approach based on the review of secondary information for the 2020–2025 period, drawn from official documents, technical reports, current regulations, and specialized literature. Based on installed photovoltaic capacity, potential waste volumes were estimated through a scenario-based model supported by technical parameters reported in the literature. The results indicate a sustained increase in photovoltaic deployment and a proportional rise in potential waste generation, although still at moderate levels. Crystalline silicon modules were identified as the predominant technology, showing a high recycling potential due to their significant glass and aluminum content. Mechanical recycling was determined to be the most viable alternative in the short term for the Ecuadorian context. The regulatory analysis revealed the absence of specific provisions applicable to photovoltaic waste, creating gaps in comprehensive waste management. It is concluded that anticipating technical and regulatory strategies is necessary to accompany the expansion of the photovoltaic sector and prevent future environmental impacts.

KEYWORDS: Photovoltaic waste; Solar energy; Recycling; Environmental management; Circular economy; Environmental regulation.

4.3. INTRODUCCIÓN

La energía fotovoltaica se ha consolidado como una de las tecnologías clave en la transición hacia sistemas eléctricos con menores emisiones y mayor sostenibilidad, debido a su competitividad, modularidad y capacidad de escalar tanto en ámbitos residenciales como industriales (Sampaio & González, 2017). A nivel global, el despliegue de sistemas solares ha experimentado un crecimiento constante durante la última década, impulsado por avances tecnológicos, reducción de costos y políticas orientadas a la descarbonización de los sistemas energéticos.

En Ecuador, las condiciones de radiación solar favorables han permitido una expansión progresiva de la energía fotovoltaica en distintos sectores productivos y zonas urbanas. No obstante, la creciente incorporación de estos sistemas plantea desafíos emergentes vinculados al final de vida útil de los módulos. Los paneles solares contienen materiales cuya gestión requiere procedimientos específicos para evitar impactos ambientales derivados de su disposición inadecuada, a la vez que presentan un potencial de recuperación de recursos valiosos mediante procesos de reciclaje y estrategias asociadas a la economía circular (Ordóñez et al., 2019).

La literatura internacional ha destacado que la gestión de residuos fotovoltaicos se ha convertido en un componente crítico dentro de la consolidación de modelos energéticos sostenibles. Esta problemática involucra consideraciones técnicas, ambientales, económicas y regulatorias, e implica la necesidad de anticipar estrategias que permitan abordar la generación futura de residuos, así como definir alternativas de tratamiento viables para cada contexto nacional. En el caso ecuatoriano persisten interrogantes relativas al volumen potencial de residuos fotovoltaicos, a la disponibilidad de tecnologías de reciclaje, a la duración efectiva de los módulos en condiciones reales de operación y a la pertinencia del marco normativo existente (Barreiro, 2020). En este sentido, resulta pertinente fundamentar técnicamente el problema y establecer el propósito del presente estudio, orientado a aportar información que sustente decisiones futuras de planificación energética y sostenibilidad.

4.4. MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló bajo un enfoque cualitativo-descriptivo sustentado en la revisión y análisis de información secundaria. El objetivo metodológico consistió en caracterizar la generación de residuos fotovoltaicos en Ecuador y examinar los mecanismos disponibles para su gestión al final de la vida útil de los módulos.

El alcance de la investigación fue exploratorio y descriptivo, en tanto aborda un fenómeno escasamente estudiado en el contexto nacional y se orienta a identificar los tipos

de residuos, su volumen estimado y las prácticas de manejo asociadas. El análisis se circunscribió al ámbito nacional y al período 2020-2025, coincidente con la expansión reciente del sector fotovoltaico en el país.

La obtención de datos se realizó exclusivamente mediante revisión documental, empleando informes gubernamentales, bases de datos institucionales, estudios técnicos, literatura científica y normativa vigente. La selección de fuentes se efectuó mediante un muestreo no probabilístico e intencional, privilegiando documentos pertinentes, actualizados y técnicamente fundamentados.

El procesamiento de la información se efectuó mediante clasificación y sistematización en matrices y hojas de cálculo, organizando los datos según capacidad instalada, materiales constitutivos de los módulos, vida útil y potencial de residuos. Para la estimación de volúmenes de desechos se utilizaron modelos documentales basados en capacidad instalada, tasa de reemplazo y vida útil reportada en la literatura especializada. Adicionalmente, se realizó un análisis descriptivo de la normativa y de las prácticas de gestión asociadas al sector.

La validez y confiabilidad se garantizó mediante el empleo de fuentes oficiales y verificables. La objetividad se mantuvo mediante criterios de análisis neutrales y la presentación de la información sin inferencias subjetivas.

4.5. ANALISIS DE RESULTADOS

El análisis documental realizado permitió identificar la evolución del sector fotovoltaico en el Ecuador durante el período 2020–2025, así como estimar el volumen potencial de residuos asociados a la expansión de la capacidad instalada. Los resultados se presentan de manera secuencial conforme a los objetivos específicos del estudio.

4.5.1. Capacidad fotovoltaica instalada (2020-2025)

Las fuentes revisadas muestran una expansión progresiva de la capacidad fotovoltaica instalada en el país entre 2020 y 2025, con participación tanto de instalaciones residenciales como comerciales e industriales.

Tabla 1

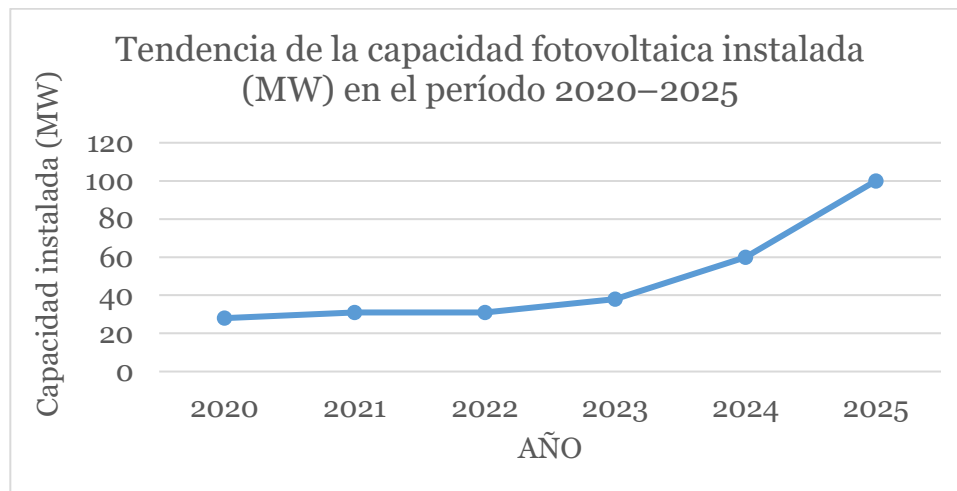
Capacidad fotovoltaica instalada en Ecuador (2020–2025)

AÑO	Capacidad Instalada en MW	FUENTE
2020	28-31	Balance Energético Nacional 2020
2021	29-31	IRENA
2022	29-31	ITA
2023	31-38	Balance Energético Nacional 2023
2024	60	ITA
2025	100	Global Solar Atlas

Nota: La información evidencia un incremento sostenido de la capacidad instalada durante el período analizado, con un aumento más marcado a partir de 2023.

Figura 1

Tendencia de la capacidad fotovoltaica instalada (MW)



4.5.2. Parámetros técnicos para la estimación de residuos fotovoltaicos

Se sistematizaron los parámetros técnicos utilizados para el cálculo del volumen potencial de residuos fotovoltaicos, incluyendo vida útil de los módulos, peso por unidad de potencia y tasas de retiro.

Tabla 2.

Parámetros utilizados para la estimación de residuos fotovoltaicos

Parámetro	Valor	Unidad	Fuente	Nota / supuestos
Vida útil promedio del módulo fotovoltaico	25–30	años	Weckend et al. (2016); IEA-PVPS (2018)	Rango utilizado para definir escenarios de generación de residuos
Factor de generación de residuos fotovoltaicos	60–75	kg/kW	IEA-PVPS (2018); Deng et al. (2022)	Incluye vidrio, aluminio, polímeros y silicio Considera fallas,
Tasa de retiro	0–10	%	Domínguez & Geyer (2019)	repotenciación o reemplazo anticipado
Tasa de degradación anual	0,5–1,0	%/año	Jordan & Kurtz (2013)	Utilizada como criterio técnico para justificar pérdidas de desempeño

4.5.3. Escenarios de estimación de residuos fotovoltaicos

A fin de representar variaciones técnicas en el cálculo, se definieron tres escenarios: conservador, medio y alto, diferenciados por el peso estimado por unidad de potencia y por la tasa de retiro.

Tabla 3

Definición de escenarios de estimación

Escenario	kg/kW	Tasa de retiro
Conservador	60	1 %
Medio	67,5	5 %
Alto	75	10 %

4.5.4. Volumen potencial de residuos fotovoltaicos generados (2020–2025)

El cálculo realizado permitió cuantificar el volumen potencial de residuos fotovoltaicos bajo los tres escenarios planteados para el período 2020–2025.

Tabla 4

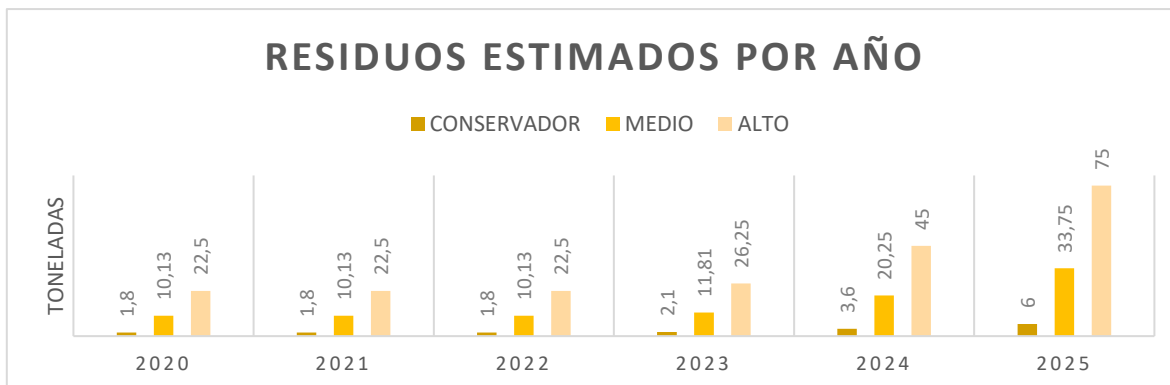
Estimación del volumen potencial de residuos fotovoltaicos en Ecuador (2020–2025)

Año	Capacidad FV base (MW)	Escenario conservador (t)	Escenario medio (t)	Escenario alto (t)
2020	30	1,8	10,13	22,5
2021	30	1,8	10,13	22,5
2022	30	1,8	10,13	22,5
2023	35	2,1	11,81	26,25
2024	60	3,6	20,25	45
2025	100	6	33,75	75

Los resultados muestran un incremento del volumen potencial de residuos a lo largo del período analizado, con diferencias entre escenarios según las tasas de retiro y el peso por unidad instalada.

Figura 2

Residuos estimados por año



4.5.5. Tipología y composición de los residuos fotovoltaicos

La revisión documental permitió identificar que los módulos de silicio cristalino son predominantes en el parque fotovoltaico nacional, seguidos en menor proporción por tecnologías basadas en CdTe y CIGS.

Tabla 5

Tipología de módulos fotovoltaicos predominantes en Ecuador

Tipo de módulo fotovoltaico	Participación estimada	Evidencia (fuente)	Implicación para la gestión de residuos
Silicio cristalino (mono y policristalino)	Predominante	IEA-PVPS (2018); Weckend et al. (2016)	Alto contenido de vidrio y aluminio; reciclaje mecánico viable y ampliamente desarrollado
Teluro de cadmio (CdTe)	Minoritario	IRENA (2016); Deng et al. (2019)	Presencia de metales potencialmente peligrosos; requiere tratamiento especializado
CIGS	Muy minoritario	Weckend et al. (2016); Domínguez & Geyer (2017)	Procesos de reciclaje más complejos; menor infraestructura disponible
No determinado / otras tecnologías	No determinado	Falta de estadística nacional específica	Dificulta la planificación precisa del reciclaje

En relación con la composición material, los módulos fotovoltaicos presentan mayoritariamente vidrio y aluminio, acompañados de polímeros, silicio y pequeñas cantidades de metales conductores.

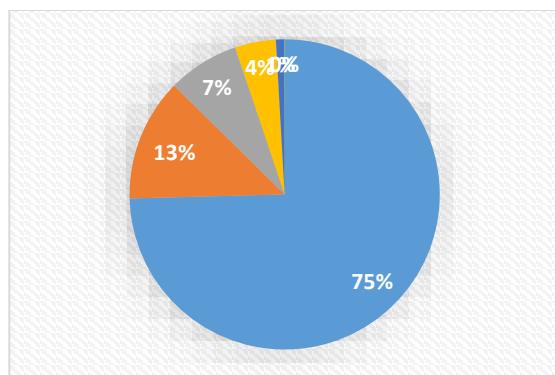
Tabla 6

Composición estimada del residuo fotovoltaico

Componente	Porcentaje aproximado (%)	Potencial de reciclaje	Fuente
Vidrio	65–75	Alto	Weckend et al. (2016); Louwen et al. (2017)
Aluminio (marco)	10–15	Alto	Weckend et al. (2016); IEA-PVPS (2018)
Polímeros (encapsulantes y lámina posterior)	5–10	Medio	Omazic et al. (2019); Deng et al. (2019)
Silicio	3–5	Medio	Weckend et al. (2016); Louwen et al. (2017)
Cobre	0,5–1	Alto	Deng et al. (2019); Domínguez & Geyer (2017)
Plata	<0,1	Alto	Weckend et al. (2016); IEA-PVPS (2018)
Otros materiales (estaño, plásticos menores)	<1	Bajo	Omazic et al. (2019)

Figura 3

Composición promedio del residuo fotovoltaico}



4.5.6. Métodos de reciclaje fotovoltaico documentados

Se identificaron tres métodos principales reportados a nivel internacional para el reciclaje de residuos fotovoltaicos: mecánico, térmico y químico. Cada método se caracteriza por niveles diferenciados de recuperación de materiales y requerimientos técnicos.

Tabla 7

Métodos de reciclaje fotovoltaico

Método de reciclaje	Materiales recuperados	Requerimientos principales	Costo relativo	Aplicabilidad en Ecuador	Justificación
Mecánico	Vidrio, aluminio, cobre	Trituración, separación mecánica, infraestructura básica de reciclaje	Bajo	Alta	Puede integrarse a sistemas existentes de reciclaje de RAEE y chatarra metálica; menor inversión y menor riesgo ambiental Permite mayor recuperación de materiales, pero requiere infraestructura industrial y costos energéticos elevados Alta eficiencia de recuperación, pero implica manejo de sustancias peligrosas, altos costos y normativa
Térmico	Vidrio, silicio, metales	Hornos de alta temperatura, alto consumo energético	Medio–Alto	Media	
Químico	Silicio, plata, cobre, metales críticos	Uso de ácidos y solventes, control ambiental, personal especializado	Alto	Baja	

4.5.7. Marco normativo y políticas relacionadas

El análisis del marco legal ecuatoriano permitió identificar que no existen disposiciones específicas orientadas al tratamiento de residuos fotovoltaicos.

Tabla 8

Normativas y políticas relacionadas con residuos fotovoltaicos

Instrumento legal / norma	Qué regula	¿Menciona FV?	Entidad responsable	Brecha identificada	Fuente
Constitución de la República del Ecuador (2008)	Derecho a un ambiente sano; gestión ambiental	No	Estado ecuatoriano	No aborda residuos tecnológicos específicos ni residuos fotovoltaicos	Registro Oficial
Código Orgánico del Ambiente (2017)	Gestión integral de residuos; prevención y control ambiental	No	MAATE	No contempla disposiciones específicas para residuos fotovoltaicos	MAATE
Reglamento para la Gestión Integral de RAEE (2019)	Manejo de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos	No	MAATE	Los módulos FV no están claramente clasificados como RAEE; ausencia de REP específica	MAATE
Texto Unificado de Legislación Secundaria del MAATE (TULSMA)	Normativa ambiental secundaria	No	MAATE	Carece de lineamientos técnicos para residuos FV	MAATE
Ordenanzas municipales de gestión de residuos sólidos	Recolección y disposición de residuos urbanos	No	Gobiernos Autónomos Descentralizados	No consideran residuos tecnológicos ni fotovoltaicos	GAD municipales
Estudios académicos	Análisis de gestión y	No	—	Identifican debilidades	Méndez-Fajardo et

4.6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten caracterizar la evolución reciente del sector fotovoltaico en Ecuador y las implicaciones que dicha expansión tiene en la generación de residuos entre 2020 y 2025. El crecimiento progresivo de la capacidad instalada confirma un proceso de adopción temprana de tecnología solar, propio de sistemas energéticos que transitan hacia fuentes renovables. Esta expansión, aunque aún moderada en magnitud absoluta, proyecta una tendencia sostenida cuya consecuencia directa es la aparición gradual de residuos asociados al fin de vida útil de los módulos.

La simulación por escenarios revela que la generación de residuos fotovoltaicos es especialmente sensible a factores como la tasa de retiro prematuro y el peso material de los equipos. En escenarios conservadores, el impacto resulta manejable en el corto plazo; sin embargo, en escenarios medios y altos la acumulación de residuos aparece mucho más acentuada. Esto sugiere que futuras variaciones de mercado, fallos técnicos o procesos de repotenciación podrían anticipar picos de desecho antes de lo previsto, lo que implica la necesidad de planificar con márgenes amplios de incertidumbre frente a la ausencia de registros históricos nacionales que permitan proyectar con precisión.

En términos técnicos, la composición material de los módulos predominantes constituye un factor estratégico para el país. El claro predominio de tecnologías basadas en silicio cristalino implica que más del 75 % del módulo está constituido por vidrio y aluminio, materiales que pueden valorizarse mediante reciclaje mecánico con relativa facilidad y bajo costo. Esto abre una ventana de oportunidad para integrar dichos residuos en cadenas ya existentes de recuperación de chatarra y equipos electrónicos, evitando inversiones inmediatas en infraestructura especializada.

No obstante, este escenario no está exento de desafíos. La recuperación de semiconductores, polímeros y metales de alto valor económico continúa siendo el cuello de botella técnico del proceso, ya que exige métodos más complejos y costosos, cuya viabilidad local dependerá de la escala futura del sector. Desde el punto de vista ambiental y logístico, la ausencia de lineamientos normativos específicos constituye una limitación relevante. Sin

regulación clara, los residuos fotovoltaicos corren el riesgo de mezclarse con flujos urbanos o tecnológicos convencionales, con pérdidas materiales y potenciales externalidades ambientales.

En este sentido, los hallazgos subrayan que la gestión de residuos fotovoltaicos no debe ser abordada como un problema futuro, sino como un componente intrínseco de la transición energética. La adopción temprana de mecanismos normativos permitiría evitar escenarios críticos y diseñar un sistema de economía circular coherente con las metas energéticas nacionales.

Se reconoce también la existencia de limitaciones propias del estudio, entre ellas el alcance temporal de la proyección, el carácter documental de los escenarios y la ausencia de parámetros nacionales históricos que permitan validar tendencias a largo plazo. Estas limitaciones no reducen la pertinencia del análisis, pero sí indican la necesidad de generar datos locales y fortalecer registros sectoriales para mejorar la planificación.

En concordancia con el objetivo planteado, se concluye que Ecuador enfrenta una oportunidad estratégica: el sector fotovoltaico aún se encuentra en una fase que permite anticipar la gestión de sus residuos y construir un marco integral que considere viabilidad técnica, sostenibilidad económica y coherencia ambiental. De cara al futuro, se recomienda ampliar el horizonte temporal de análisis, evaluar alternativas normativas comparadas, construir inventarios nacionales de módulos instalados y estudiar la factibilidad económica de implementar tecnologías de reciclaje avanzadas. Estas acciones permitirían asegurar que la transición energética nacional sea sostenible en todas sus etapas, incluyendo el fin de vida útil del equipamiento fotovoltaico.

4.7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Ana Martínez-Barreiro. (2020). Moda sostenible: más allá del prejuicio científico, un campo de investigación de prácticas sociales. *Scielo.Org.Co.*
http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1657-63572020000200051&script=sci_arttext
- Deng, R., Zhuo, Y., & Shen, Y. (2022). Recent progress in silicon photovoltaic module recycling processes. *Resources, Conservation and Recycling*, 187, 106612.
- Domínguez, A., & Geyer, R. (2019). Photovoltaic waste assessment of major photovoltaic installations in the United States of America. *Renewable Energy*, 133, 1188–1200.
- Freddy Ordóñez, Jesus Lopez-Villada, & Diego Vaca Revelo. (2019). Assessment of the solar resource in andean regions by comparison between satellite estimation and ground measurements: study case of Ecuador. *Researchgate.Net.*
https://www.researchgate.net/profile/Freddy-Ordenez-5/publication/334798784_Assessment_of_the_Solar_Resource_in_Andean_Regions_by_Comparison_between_Satellite_Estimation_and_Ground_Measurements_Study_Case_of_Ecuador/links/5d43ba8192851cd04699d9dbb/Assessment-of-the-Solar-Resource-in-Andean-Regions-by-Comparison-between-Satellite-Estimation-and-Ground-Measurements-Study-Case-of-Ecuador.pdf?origin=journalDetail&_tp=eyJwYWdlIjoiam91cm5hbERldGFpbCJ9
- Omazic, A., Oreski, G., Halwachs, M., Eder, G. C., Hirschl, C., Neumaier, L., Pinter, G., & Erceg, M. (2019). Relation between degradation of polymeric components in crystalline silicon PV module and climatic conditions: A literature review. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 192, 123–133.
- Sampaio, P. G. V., & González, M. O. A. (2017). Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 74, 590–601.
- Weckend, S., Wade, A., & Heath, G. (2016). *End of life management: solar photovoltaic panels.* <https://www.osti.gov/biblio/1561525>





**ELECTROMOVILIDAD URBANA: ESTUDIO DE
FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO DE CARGA DE
ENERGÍA A VEHÍCULOS LIVIANOS CON BASE EN
NORMATIVA ECUATORIANA.**

**URBAN ELECTROMOBILITY: FEASIBILITY STUDY FOR
THE DESIGN OF ENERGY CHARGING FOR LIGHT
VEHICLES BASED ON ECUADORIAN REGULATIONS.**

Jonathan Paul Cuasquer Yépez

Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila
jonathancuasqueryepepez@tsachila.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0002-9022-2805>
Santo Domingo - Ecuador

Guido Iván Tuitice Quila

Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila
guidotuiticequila@tsachila.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0006-4414-7030>
Santo Domingo - Ecuador

Ing. Alex Fabián Estrella Quispe, Mgs.

Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila
alexestrella@tsachila.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-3037-9069>
Santo Domingo - Ecuador

5.1. RESUMEN	65
5.2. ABSTRACT	66
5.3. INTRODUCCIÓN	67
5.4. MATERIAL Y MÉTODOS	67
5.5. ANALISIS DE RESULTADOS	68
5.4.1. Requisitos del cableado	72
5.4.2. Normativa Eléctrica	72
5.4.3. Norma Ecuatoriana De Construcción	73
5.4.7. Calibre De Conductores	74
5.4.8. Capacidad de Corriente	74
5.4.9. Protecciones Contra Sobrecorrientes	74
5.4.10. Código Eléctrico Ecuatoriano CPE INEN 019	75
5.4.11. 210.22. Cargas maximas	75
5.4.12. Cargas accionadas por motores y combinadas	75
5.4.13. Cargas inductivas de alumbrado	76
5.4.14. Otras cargas	76
5.4.15. 210-23. Cargas permisibles	76
5.5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	77
5.6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	78

5.1. RESUMEN

Este estudio examina si es posible, legal y económicamente instalar puntos de recarga para VE livianos en el sector residencial. El crecimiento de VE ha motivado por buscar ahorrar energía y bajar gases contaminantes, requiere que los hogares tengan facilidades de recarga que sean seguras, funcionales y que cumplan con las reglas locales. Para lograr esto, el trabajo revisa los requisitos de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SB-IE), el Reglamento de Seguridad Eléctrica (RSE), las especificaciones técnicas NTE INEN-IEC 61851 para los cargadores y las pautas dadas por ARCONEL a través de la Regulación 003/20. Esta investigación considera las conexiones, qué tan buena es la electricidad, si hay protecciones adecuadas, cómo debe ser la conexión a tierra y la necesidad de tener líneas eléctricas separadas para cargar los vehículos. Se plantea un sistema de recarga AC de Nivel 2, apropiado para casas solas y complejos de apartamentos, incluyendo protecciones sensibles a fallas a tierra tipo A o F, disyuntores, cálculo del grosor de los cables y análisis del consumo pico siguiendo la NEC. Los resultados demuestran que la carga residencial es técnicamente viable siempre que se adapte la instalación eléctrica a los estándares establecidos y se realice la coordinación con la empresa distribuidora cuando la demanda supere la capacidad contratada. Finalmente, la investigación concluye que la adopción de infraestructura de carga en viviendas mejora la autonomía del usuario, permite una transición energética ordenada y fortalece el crecimiento de la electromovilidad en el país bajo criterios de seguridad y eficiencia.

PALABRAS CLAVE: Electromovilidad, carga residencial, infraestructura eléctrica, normativa ecuatoriana, eficiencia energética.

5.2. ABSTRACT

This study examines whether it is possible, legal, and economically viable to install charging points for light EVs in the residential sector. The growth of EVs, driven by the desire to save energy and reduce polluting gases, requires households to have charging facilities that are safe, functional, and comply with local regulations. To achieve this, the study reviews the requirements of the Ecuadorian Construction Standard (NEC-SB-IE), the Electrical Safety Regulations (RSE), the NTE INEN-IEC 61851 technical specifications for chargers, and the guidelines provided by ARCONEL through Regulation 003/20. This research considers connections, the quality of the electricity, whether there are adequate protections, how the ground connection should be, and the need for separate electrical lines to charge vehicles. A Level 2 AC charging system is proposed, suitable for single-family homes and apartment complexes, including type A or F ground fault sensitive protections, circuit breakers, cable thickness calculations, and peak consumption analysis following the NEC. The results show that residential charging is technically feasible as long as the electrical installation is adapted to established standards and coordination with the distribution company is carried out when demand exceeds the contracted capacity. Finally, the research concludes that the adoption of charging infrastructure in homes improves user autonomy, enables an orderly energy transition, and strengthens the growth of electromobility in the country under criteria of safety and efficiency.

KEYWORDS: Electromobility, residential charging, electrical infrastructure, Ecuadorian regulations, energy efficiency

5.3. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el interés por los Vehículos Eléctricos (EV's) ha crecido considerablemente, impulsado por el aumento de los costos del petróleo y las ayudas económicas otorgadas por gobiernos de todo el mundo para la compra de estos vehículos. El interés por la adopción de vehículos eléctricos (EV) en movilidad ha crecido debido al cambio climático y a la disminución de las reservas petrolíferas. Según la Agencia Internacional de Energía (IEA), los sistemas de transporte son responsables de alrededor del 25% de las emisiones globales totales (Saldarriaga, 2024, p-748).

Existe una gran oferta y demanda de vehículos eléctricos, especialmente en países como China, Estados Unidos, Alemania, entre otros, que lideran el ranking de uso de vehículos eléctricos, debido a sus políticas ambientales a favor de la reducción de las emisiones de gases como el CO₂, el gobierno nacional impulsa un proyecto donde se estima que para el 2030 un 10% del parque automotor sea eléctrico, evidenciando la necesidad de infraestructura, estaciones de carga y electrolineras en el perímetro urbano de Santo Domingo; en la actualidad se evidencia considerablemente la oferta y demanda de vehículos híbridos y eléctricos gracias a los beneficios tributarios, autonomía, bajo mantenimiento y al uso de energía producida por renovables, además de su practicidad al circular en el territorio urbano.

El actual estudio se realizará con la finalidad de examinar la viabilidad técnica, económica, y reglamentaria para el diseño de carga de energía a vehículos livianos en el perímetro urbano, con fundamento en el reglamento ecuatoriano en vigencia y las directrices de la norma IEC adecuados. Esta investigación procura aportar al progreso sustentable y a una planificación urbana en el territorio.

5.4. MATERIAL Y MÉTODOS

Se utilizó las técnicas de observación directa y entrevista estructurada; la observación se realizó con el uso de croquis de ubicación y registro fotográfico de la red eléctrica de distribución en el área residencial que será toma por referencia específica. Y la entrevista personal aplicada a un representante o técnico de la marca BYD, en la ciudad de Santo Domingo, los datos se procesarán y sintetizará la información más relevante, generando tablas y gráficos descriptivos. En la entrevista que se realizó, se abordó temas como: niveles de voltaje, tipos de cargadores, potencia, autonomía, y demás preguntas sobre términos específicos como es el tiempo de recarga de VE; sobre el mantenimiento de vehículos eléctricos, la necesidad futura de electrolineras en nuestra ciudad de Santo Domingo, además de un análisis e interpretación de la información recopilada.

Se realizó un cuestionario estructurado aplicado a un representante de la marca BYD, agencia Bombolí Shopping Santo Domingo; abordando temas referentes a autonomía de VE's, garantías, recomendaciones de recarga, especificaciones técnicas tales como: tipos de cargadores, potencia y tiempos de recarga, vida útil de las baterías, etc.

5.5. ANALISIS DE RESULTADOS

La entrevista a un representante de BYD proporcionó datos valiosos sobre la situación actual de la movilidad eléctrica y las especificaciones técnicas de los sistemas de carga para automóviles eléctricos en Santo Domingo. Se menciona que los automóviles vendidos por la empresa cumplen con las regulaciones ecuatorianas de homologación vehicular y, en gran parte, se trata de modelos totalmente eléctricos; no obstante, también se ofrecen opciones híbridas, aunque estas tienen una menor aceptación en el mercado local.

Con relación a las baterías, BYD garantiza un periodo de ocho años, lo que da confianza al usuario en cuanto al rendimiento del sistema de almacenamiento de energía. También se mencionó que la vida útil de las baterías puede ir más allá de la garantía, llegando hasta quince años, dependiendo principalmente del uso y del tipo de carga que se aplique. La autonomía de los vehículos varía según el modelo y la capacidad de cada batería, con distancias que pueden oscilar entre aproximadamente 300 km y 850 km.

Figura 1.
Cargador portátil BYD 110V 220V



Fuente: Cuasquer, J; Tuitice, G

En lo que respecta a los sistemas de carga, los vehículos vienen con un cargador portátil para el hogar, que es compatible con redes eléctricas de 110 V y 220 V, con potencias

que oscilan entre 1,3 kW y 3,5 kW. Por otra parte, BYD comercializa un cargador de pared de la marca EVINKA, modelo AlienX con una potencia de 7kW, donde su conexión es a 220 V, el tiempo promedio de carga se aproxima a las 10 horas, mientras que, a través de una red de 110 V, ese tiempo puede llegar hasta 15 horas. Por otro lado, el uso de electrolineras reduce significativamente el tiempo de recarga, que puede ser de aproximadamente 2 horas, gracias a la mayor potencia de estos sistemas.

Se aclaró que el proceso de carga no es constante a lo largo del ciclo, ya que cuando la batería se aproxima a su carga máxima, el sistema disminuye la velocidad de carga para protegerla; completar el último porcentaje de carga puede demorar varios minutos. Por ello, BYD sugiere priorizar la carga lenta en casa y utilizar la carga rápida sólo en situaciones específicas.

Luego de analizar la información obtenida de la entrevista realizada al Sr. Luis Marcillo representante de BYD Santo Domingo, siendo la única empresa que proporciono la información para el analizar; podemos afirmar que la implementación de sistemas de carga en hogares en Santo Domingo es técnicamente viable y ofrece condiciones favorables para su avance e instalación. Los tiempos de carga promedio de los VE muestran que los niveles de voltaje disponibles en los hogares influyen directamente en la eficiencia del proceso de recarga, por lo que las conexiones a 220 V resultan ser más apropiadas para el uso diario.

La preferencia de BYD por implementar la carga lenta como su principal método de recarga en casa se basa en consideraciones técnicas que buscan disminuir el desgaste de las baterías y extender su duración. Por el contrario, la carga rápida se presenta como una alternativa conveniente para viajes prolongados o en situaciones especiales, pero no se sugiere como una práctica regular.

Figura 2
Cargador residencial VE marca EVINKA



Fuente: (Evinka, Evinka, 2023)

Tabla 1.

Parámetro	Especificación
Capacidad	7 kW / 11 kW / 22 kW
Voltaje nominal	110 V – 220 V ± 100 % (7 kW) / 380 V (11 kW y 22 kW)
Fases	Monofásico / Bifásico 7 kW (L+N+T) / Trifásico 11 kW y 22 kW (3L+N+T)
Frecuencia nominal	60 Hz
Tipo de conector	Tipo 2, Tipo 1 o GB/T a elección
Potencia de salida	7 kW / 11 kW / 22 kW
Corriente nominal	32 A (7 y 22 kW) / 16 A (11 kW)
Eficiencia	96 %
Factor de potencia	99 %
Protecciones	Corto circuito, sobrecorriente, sobrevoltaje, bajo voltaje, sobrecorriente, fugas, falla a tierra, mala conexión y exceso de temperatura
Protección diferencial	Tipo B de 6 mA
Indicadores de status	de Pantalla + luces de encendido, cargando y falla
Autenticación usuario	de Tarjeta RFID
Interfaz de comunicación	de Ethernet, 4G (opcional) – Compatible con OCPP 1.6J
Temperatura de operación	de -20 °C hasta 50 °C
Temperatura almacenado	de -20 °C hasta 50 °C
Humedad relativa	3 % hasta 95 %
Altitud	Hasta 3000 msnm
Grado de protección	de IP54
Dimensiones	$382 \times 279 \times 135$ mm
Peso	5.3 kg

Fuente: (Evinka, 2023)

Evinka Alien X, cargador residencial ofertado por la marca BYD para la recarga de vehículos eléctricos en la residencia de sus clientes; con una potencia de hasta 7kw y un voltaje de entrada nominal de 220V, es la alternativa de carga que ofrece BYD a sus clientes; contado con funciones como: consumo en KWh, tiempo de carga, voltaje, corriente, entre otros parámetros que se pueden observar en su pantalla ofreciendo un tiempo de recarga de 8 horas en promedio, siendo esto favorable para el monitoreo de su uso y para la instalación en la red eléctrica de un domicilio.

Para la instalación adecuada de dichos cargadores, BYD sugiere que el lugar donde se desee hacer la instalación debe cumplir ciertas condiciones para garantizar la seguridad, accesibilidad, y desempeño correcto del dispositivo al momento de recargar el VE, tal como se especifica a continuación.

Figura 3.
Condiciones ambientales de instalación.

Ambiente de instalación	Interior / Exterior
Grado de protección	IP55
Presión atmosférica	80kPa ~ 110kPa
Cantidad de circulación de aire	7000m ³ /h
Forma de enfriamiento	Enfriamiento natural
Altitud máxima sobre el nivel del mar	≤ 2.000m
Nivel plano de pared	≤ 0,25%
Inclinación de pared	≤ 5°
Inclinación vertical de cargador	≤ 5°
Distancia entre el fondo del cargador y el suelo	≥ 110cm
Mínima distancia de instalación en ambos lados del cargador	≥ 50cm
Requisitos del hormigón de la superficie de pared y fundación	El grado de resistencia del hormigón debe ser superior a C30#
Capacidad de la superficie de pared para instalación de objetos colgante en ella	La capacidad de la superficie de pared debe ser ≥ 4kg

Fuente: (BYD Automobile Industry Co., Ltd., 2024)

Según (BYD Automobile Industry Co., Ltd., 2024)

Para la operación segura del cargador, el sitio de instalación debe cumplir con las siguientes condiciones:

- El sitio para la colocación debe acceder el acercamiento en cualquier instante;
- El cargador no debe instalarse en un lugar sujeto a vibraciones fuertes o un lugar inflamable y explosivo (por ejemplo, los lugares con gases inflamables, vapor o polvo);
- El cargador no se debe colocarse en sitios con bajo relieve o donde se pueda almacenar H₂O
- Se necesita una buena aireación;
- El lugar de la instalación debe garantizar la iluminación de los indicadores y la comodidad de observar el funcionamiento;

- El ambiente de instalación debe ser limpio.

BYD además sugiere que se instale el cargador con las siguientes distancias: como del suelo a la parte inferior del cargador una distancia \geq a 110cm, del costado izquierdo o derecho un mínimo de 50cm o más del cargador hacia la pared, y de la parte superior del cargador hacia arriba una distancia \geq a 30cm del techo.

5.4.1. Requisitos del cableado

Como requisitos del cableado para la instalación del cargador, seguiré revisar la normativa local, para el uso de los colores del cableado para su identificación adecuada, además de las características físicas y diámetro del conductor a usarse en la instalación. Adicionalmente, una vez finalizada la instalación, deberá realizarse la Prueba de resistencia de aislamiento entre conductores activos y tierra (PE), conforme a los valores y condiciones establecidos por el fabricante, tal como menciona (BYD Automobile Industry Co., Ltd., 2024) a continuación:

Los colores de los cables L, N y PE conectados con la fuente de alimentación de entrada deben cumplir los requisitos de la norma local.

Se debe suministrar un circuito de distribución independiente para el cargador, no debe compartirla con otro producto eléctrico, la parte frontal del cargador debe configurar con un disyuntor cuyo modelo cumple con los requisitos de corriente en los indicadores técnicos.

La estructura del cable conductor para la entrada del cargador debe ser cable trenzado de cobre y en dicho cable de entrada se debe tener los siguientes requisitos.

En el cargador se ha preparado un cable de entrada y el cliente solo necesita conectarlo con la caja de distribución ya preparada: El cable del extremo frontal del disyuntor del cargador 3,3kW requerido es $\geq 2,5\text{mm}^2$. El conductor frontal necesario del interruptor automático (disyuntor) del cargador 7kW requerido es $\geq 6\text{mm}^2$.

5.4.2. Normativa Eléctrica

Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica

Art. 1.- Objeto y alcance de la ley.- La presente ley tiene por objeto garantizar que el servicio público de energía eléctrica cumpla los principios constitucionales de obligatoriedad, generalidad, uniformidad, responsabilidad, universalidad,, accesibilidad, regularidad, continuidad, calidad, sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia, para lo cual, corresponde a través del presente instrumento, normar el ejercicio de la responsabilidad del Estado de planificar, ejecutar, regular, controlar y administrar el servicio público de energía eléctrica (ASAMBLEA NACIONAL, 2025, p. 2)

5.4.3. Norma Ecuatoriana De Construcción

Esta normativa se usa en instalaciones eléctricas residenciales no inmóviles en BV, en inmuebles nuevos, rediseños o ampliaciones de instalaciones eléctricas existentes, de tal manera que las instalaciones cuenten con la protección indispensable contra; choques eléctricos, Efectos térmicos, Sobrecorrientes, Corrientes de falla, Sobrevoltajes (MINISTERIO DE DESARROLLO URBANO Y VIVIENDA, 2018, p. 5)

- Normas y estándares nacionales e internacionales
- NFPA 70 Código Eléctrico Nacional 2011
- CPE INEN 019 Código Eléctrico del Ecuador
- IEC 60617 Símbolos gráficos para diagramas.
- NTE INEN 2345 Alambres y cables con aislamiento termoplástico. Requisitos.
- NTE INEN 3098, Tensiones normalizadas
- Estudio de demanda y factor de demanda
- Parámetros a considerar para los cálculos de diseño:
- Iluminación/cada salida una carga máxima de 100 W.
- Tomacorrientes/cada salida una carga de 200 W.
- Cargas especiales: su potencia parte de 1500 W, y el diseño debe tener en cuenta la potencia de placa de cada máquina y el número de máquinas a utilizar.

5.4.6. Cargas Especiales

Para cálculo de la carga instalada de la vivienda proyectada, además de las cargas de iluminación y tomacorrientes de uso general, se deben considerar, entre otras, las potencias de placa de las cargas especiales. Solamente a falta de los valores específicos se pueden considerar aquellos indicados en la Tabla 7 (MINISTERIO DE DESARROLLO URBANO Y VIVIENDA, 2018, p. 7).

Tabla 2.
Cargas especiales

EQUIPO ELÉCTRICO	POTENCIA MEDIA (W)
Ducha eléctrica	3500
Horno eléctrico	3000
Cocina eléctrica	6000
Calefón eléctrico	8000
Aire acondicionado	2500
Calentador eléctrico	3000
Cargador para vehículo eléctrico	7500

Fuente: (MINISTERIO DE DESARROLLO URBANO Y VIVIENDA, 2018, p. 7)

Los circuitos para cargas especiales deben diseñarse individualmente para soportar la carga unitaria nominal de cada equipo. La demanda de carga especial se determina a partir de la carga instalada utilizando los factores de demanda indicados en la Tabla 8 (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2018, p. 9).

Tabla 3.
Factores de demanda para cargas especiales (ce)

Para 1 carga	Para 2 o más cargas	Para 2 o más cargas	Para 2 o más cargas
	CE < 10kW	10Kw < CE < 20kW	CE > 20kW
1	0,80	0,75	0,65

Fuente: (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2018, p. 8)

5.4.7. Calibre De Conductores

En el dimensionamiento del calibre de los cables se toma en consideración como mínimo la capacidad del flujo de carga eléctrica.

5.4.8. Capacidad de Corriente

El tamaño del cable debe soportar al menos el 125% del valor de corriente de protección del circuito según la tabla 9.

Tabla 4
Capacidad de protección en función del calibre del conductor

Calibre del conductor AWG	14	12	10	8	6
Capacidad máxima del interruptor (A)	15/16	20	30/32	40	50

Fuente: (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2018, p. 9)

5.4.9. Protecciones Contra Sobrecorrientes

Los dispositivos de protección contra sobrecargas (sobrecargas y cortocircuitos) deben ser interruptores termomagnéticos automáticos fabricados según la norma IEC 60898-1, cumpliendo con la norma técnica ecuatoriana RTE INEN 091 y con las siguientes condiciones generales de instalación (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2018, p.

11). Su tamaño depende de la capacidad de los circuitos que debe proteger y del funcionamiento de las curvas de disparo que relacionan intensidad y tiempo, deben instalarse en tableros de distribución de tipo centro de carga, deben resistir la acción de los factores externos a los que estén expuestos, cumpliendo con un mínimo de protección IP 20, la protección del circuito especial de la cocina eléctrica de **220/240 V** debe hacerse mediante un interruptor termomagnético bipolar con una corriente mínima de **40 A**, colocado dentro del tablero de distribución. (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2018, p. 11).

5.4.10. Código Eléctrico Ecuatoriano CPE INEN 019

Tabla 5

210-21b capacidad de corriente de tomacorrientes en circuitos de diversa capacidad

Corriente nominal del circuito (A)	Capacidad de tomacorriente de corriente del (A)
15	No más de 15
20	15 o 20
30	30
40	40 o 50
50	50

Fuente: (CPE INEN 019, 2001, p. 38)

Se permite que la capacidad de corriente de un tomacorriente para estufa se basa en la carga de demanda de una sola estufa, como se especifica en la tabla 11. 210-21b

5.4.11. 210.22. Cargas máximas

La carga total no debe exceder la corriente nominal del circuito derivado y no exceder las cargas máximas especificadas en el Artículo 210-22 literales a), b) y c), sujeto a las condiciones allí especificadas.

5.4.12. Cargas accionadas por motores y combinadas

Si el circuito suministra corriente únicamente a cargas accionadas por motor, se aplica el artículo 430. Si el circuito suministra energía únicamente a equipos de aire acondicionado, equipos de refrigeración o ambos, se aplica el artículo 440. En circuitos que alimentan cargas compuestas por equipos permanentes con motores mayores a 95 VA (1/8 HP) junto con otras cargas, la carga nominal total es mayor al 125% más la suma de todas las demás cargas (CPE INEN 019, 2001, p. 38).

5.4.13. Cargas inductivas de alumbrado

Para los circuitos que suministran equipos de iluminación con balastos, transformadores o autotransformadores, la carga nominal se determina en función de la corriente nominal total de dichos dispositivos, no de la potencia total de las bombillas.

5.4.14. Otras cargas

La corriente nominal de los dispositivos de protección contra sobrecorriente de los circuitos ramales que alimentan cargas continuas como la iluminación de las tiendas y otras cargas similares, no debe ser menor a la carga no continua más el 125% de la carga continua. El calibre mínimo de los conductores del circuito ramal. Sin aplicación de ningún factor de ajuste, deberá tener una capacidad de corriente igual o superior al de carga no continua más el 125% de la carga continua. Se acepta aplicar factores de demanda para cargas de estufa según la Tabla 220-19 incluyendo la nota 4 (CPE INEN 019, 2001, p. 38)

Excepción: Los circuitos alimentados por un conjunto de cables y conectores, junto con dispositivos de protección contra sobrecorriente, están certificados para funcionamiento continuo al 100% de la corriente nominal.

5.4.15. 210-23. Cargas permisibles

La carga nunca debe exceder la corriente nominal del circuito derivado. Se permite que un solo circuito derivado alimente cualquier tipo de carga dentro de su valor nominal. Un circuito derivado que alimente dos o más tomas de corriente o tomacorrientes solo deberá alimentar las cargas especificadas de acuerdo con las siguientes cláusulas a) a d) y resumidas en la Tabla 11. 210-24 (CPE INEN 019, 2001, p. 38)

Tabla 6.

210-24 Resumen de requisitos de los circuitos ramales

Corriente nominal del circuito	15 A	20 A	30 A	40 A	50 A
Conductores (Calibre mínimo)*: Alambres de circuito Salidas derivadas	2,08 (14) 2,08 (14)	3,3 (12) 2,08 (14)	5,25 (10) 2,08 (14)	8,36 (8) 3,3 (12)	13,29 (6) 3,3 (12)
Alambres y cordones de artefactos	Véase el Artículo 240-4				
Protección contra sobrecorriente	15 A	20 A	30 A	40 A	50 A
Dispositivos de salida: Portabombillas permitidos Capacidad nominal del tomacorriente**	Cualquier tipo 15 A max.	Cualquier tipo 15 o 20 A	Servicio pesado 30 A	Servicio pesado 40 o 50 A	Servicio pesado 50 A
Carga máxima	15 A	20 A	30 A	40 A	50 A
Carga permisible	Véase el Artículo 210-23.a)	Véase el Artículo 210-23.a)	Véase el Artículo 210-23.b)	Véase el Artículo 210-23.c)	Véase el Artículo 210-23.c)

Fuente: (CPE INEN 019, 2001, p. 40)

5.5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

De acuerdo con la normativa ecuatoriana pertinente, se determina que el diseño de estaciones de carga eléctrica para automóviles ligeros en el ámbito urbano cuenta con el respaldo legal de la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica, la Norma Ecuatoriana de Construcción y el Código Eléctrico Ecuatoriano CPE INEN 019. Si bien no hay una regulación nacional específica para las estaciones de carga de vehículos eléctricos, la legislación actual facilita su despliegue mediante la aplicación complementaria de normas técnicas internacionales IEC, asegurando por ende la seguridad, fiabilidad y compatibilidad con el sistema eléctrico nacional.

En relación a las especificaciones técnicas, eléctricas y de seguridad, el análisis establece que la instalación de sistemas de carga para hogares debe incluir necesariamente circuitos exclusivos, dispositivos de protección termomagnética y diferenciales, cables adecuadamente dimensionados, sistemas de conexión a tierra y límites de caída de tensión permitidos, de acuerdo a la NEC y al CPE INEN 019 Artículo 210-22 literales a, b y c. La integración de criterios definidos en normas IEC, especialmente la IEC 61851 y la IEC 60364-7-722, refuerza el diseño al garantizar niveles apropiados de protección para el usuario y el vehículo eléctrico frente a peligros eléctricos.

En relación con el desarrollo de una instalación de carga apropiada para el entorno de viviendas en la ciudad de Santo Domingo de los Tsáchilas, se llega a la conclusión de que es factible desde un punto de vista técnico implementar sistemas de carga monofásicos de baja y media potencia (entre 3,7 kW y 7,4 kW), que son compatibles con la infraestructura eléctrica actual en las residencias. Este tipo de diseño se ajusta a las condiciones del suministro de energía local, reduce los efectos sobre la red de distribución y se alinea con las normativas ecuatorianas en vigor, sirviendo como una solución práctica y segura para promover la electromovilidad en áreas residenciales urbanas.

5.6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ASAMBLEA NACIONAL, 2025, p. 2. (s.f.). *LEY ORGÁNICA DEL SERVICIO PÚBLICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA*. LEY ORGÁNICA DEL SERVICIO PÚBLICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.
- BBVA. (18 de Febrero de 2025). <https://www.bbva.com/https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-automovil-electrico/>
- BYD Automobile Industry Co., Ltd. (2024). *electric*. <https://www.gelectriic.com/blog/manuales-3/cargador-de-pared-byd-5>
- Cadena y Haro, 2. p. (2024). <http://dspace.espoeh.edu.ec/handle/123456789/22850>.
<http://dspace.espoeh.edu.ec/handle/123456789/22850>.
<https://dspace.espoeh.edu.ec/handle/123456789/22850>
- CPE INEN 019, 2001, p. 38. (s.f.). <https://archive.org/details/ec.cpe.19.2.2001>.
<https://archive.org/details/ec.cpe.19.2.2001>
- Evinka. (2023). *Evinka*. Evinka.tech. https://www.energiaparatodo.com/app_data_archivos/energiaparatodo.soomi.co/productos/producto_ficha_bodf8ac6fd96f97b6da707d2b41a81daab9ce4341764034917.pdf
- Evinka. (2023). *Evinka*. <https://evinka.tech/producto/evinka-alien-x/>
- Gallardo et al, 2. p.-4. (05 de 08 de 2025). <https://www.polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/10134>.
<https://www.polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/10134>.
<https://www.polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/10134>
- IIGE, 2023, p.35. (s.f.). *Estudio de análisis y prospectiva de la electro movilidad en Ecuador y el mix energético al 2030*. Estudio de análisis y prospectiva de la electro movilidad en Ecuador y el mix energético al 2030. <https://www.geoenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2023/08/Estudio-de-analisis-y-prospectiva-de-la-electromovilidad-en-Ecuador-y-el-mix-energetico-al-2030.pdf>
- Kettles, D. (18 de Febrero de 2015). *Stars library UCF*. <https://stars.library.ucf.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1155&context=fsec>
- Leon, E., & Quituisaca, D. 2. (2019). *Estudio de ubicación y dimensionamiento de electrolineas en la ciudad de Cuenca*. Estudio de ubicación y dimensionamiento de

- electrolíneas en la ciudad de Cuenca.
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17323/1/UPS-CT008270.pdf>
- Maldonado y Narváez, 2. p. (2025). *Análisis de Ubicación y Capacidad de Estaciones de Carga para Vehículos Eléctricos*. Análisis de Ubicación y Capacidad de Estaciones de Carga para Vehículos Eléctricos.
<http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/15895>
- MINISTERIO DE DESARROLLO URBANO Y VIVIENDA, 2018, p. 7. (s.f.). *Norma Ecuatoriana de la Construcción*. Norma Ecuatoriana de la Construcción.
<https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/1.-NEC-SB-Instalaciones-Elctricas.pdf>
- Paredes, 2. p. (2019). Electromovilidad y Eficiencia Energética en el Transporte Público de Pasajeros del Ecuador Continental. *Revista Técnica energía vol.16 no.1 Quito jul./dic. 2019*, 1.
- Ramos, 2. p.-1. (30 de 04 de 2024). *Electromovilidad: Oportunidades y Condiciones para su desarrollo en el Ecuador: Análisis de la Normativa y Regulaciones necesarias para la Incorporación de la Electromovilidad*. Electromovilidad: Oportunidades y Condiciones para su desarrollo en el Ecuador: Análisis de la Normativa y Regulaciones necesarias para la Incorporación de la Electromovilidad..
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/25367>
- Ramos, 2. p.-1. (30 de 04 de 2024). *Electromovilidad: Oportunidades y Condiciones para su desarrollo en el Ecuador: Análisis de la Normativa y Regulaciones necesarias para la Incorporación de la Electromovilidad*. Electromovilidad: Oportunidades y Condiciones para su desarrollo en el Ecuador: Análisis de la Normativa y Regulaciones necesarias para la Incorporación de la Electromovilidad..
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/25367>
- Saldarriaga, 2. p. (2024). Marco Regulatorio Internacional para promover el uso del vehículo eléctrico y su potencial aplicación en Ecuador. *MQRInvestigar*, 745-767.
- Vásquez et al, 2. p. (2019). <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/9621>.
<https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/9621>.
<http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/9621>



UNIDAD VI

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO DE CARGA DE ENERGÍA A VEHÍCULOS PESADOS CON BASE EN NORMATIVA ECUATORIANA.

**ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DISEÑO DE
CARGA DE ENERGÍA A VEHÍCULOS PESADOS CON
BASE EN NORMATIVA ECUATORIANA.**

**FEASIBILITY STUDY FOR THE DESIGN OF ENERGY
CHARGING FOR HEAVY VEHICLES BASED ON
ECUADORIAN REGULATIONS.**

Joel Fernando Mosso Carreño

joelmossocarreno@tsachila.edu.ec
Instituto Tecnológico Superior Tsáchila
<https://orcid.org/0009-0004-8414-5174>
Santo Domingo - Ecuador

Jimmy Medardo Rubio Delgado

jimmyrubiodelgado@tsachila.edu.ec
Instituto Tecnológico Superior Tsáchila
<https://orcid.org/0009-0007-5856-6014>
Santo Domingo - Ecuador

Ing. Estrella Quispe Alex Fabián Mgs

alexestrella@tsachila.edu.ec
Instituto Tecnológico Superior Tsáchila
<https://orcid.org/0000-0003-3037-9069>
Santo Domingo - Ecuador

INDICE

6.1. RESUMEN	83
6.2. ABSTRACT	84
6.3. INTRODUCCIÓN	85
6.4. MATERIAL Y MÉTODOS	87
6.4.1. Recolección y selección de información documental	88
6.4.2. Clasificación temática del material consultado	89
6.4.3. Recolección y selección de información documental -Análisis descriptivo e interpretativo del contenido	89
6.4.4. Síntesis y elaboración del marco analítico	89
6.5. ANÁLISIS RESULTADOS	89
6.5.1. Tablas de comparación entre camiones a diésel y eléctricos: vehículo mediano urbano	91
6.5.2. Autonomía estimada	92
6.5.4. Análisis del Costo Total de Propiedad	95
6.5.5. Costo de infraestructura por vehículo	95
6.5.7. Infraestructura de carga considerada (Caso 2)	97
6.5.8. Prorrateso por vehículo mediano	97
6.6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	99
6.7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	101

6.1. RESUMEN

Este estudio analiza la viabilidad técnica, económica, regulatoria y ambiental de implementar infraestructura de carga para vehículos pesados eléctricos en Santo Domingo, dentro del proceso de transición hacia la electromovilidad orientada a reducir los costos operativos y el impacto ambiental del transporte de carga. La eliminación progresiva de los subsidios al diésel y el aumento de su precio han fortalecido el atractivo de la electricidad como fuente energética más estable y económicamente predecible, lo que se refleja en menores costos de operación y mantenimiento frente a vehículos de combustión interna. Esta tecnología enfrenta barreras importantes, principalmente la elevada inversión inicial requerida para la adquisición de camiones eléctricos, la instalación de infraestructura de carga rápida y ultrarrápida en corriente continua por tanto desde el punto de vista técnico y normativo, la implementación de estas tecnologías debe cumplir las regulaciones de ARCONEL y los estándares internacionales IEC 61851 e IEC 62196, que garantizan seguridad, interoperabilidad y calidad del servicio. La ubicación estratégica de Santo Domingo de los Tsáchilas, como nodo logístico entre la Costa, la Sierra y la Amazonía, refuerza su factibilidad para este tipo de proyectos, en el ámbito ambiental, los camiones eléctricos ofrecen cero emisiones locales, baja contaminación por ruido y una reducción potencial de hasta el 52 % de gases de efecto invernadero.

PALABRAS CLAVE: Electromovilidad, vehículos pesados eléctricos, infraestructura de carga, impacto ambiental, transición energética.

6.2. ABSTRACT

This research evaluates the technical, economic, regulatory, and environmental viability of implementing charging infrastructure for heavy-duty electric vehicles (EVs) in Santo Domingo, framed within the electromobility transition aimed at reducing operational expenditures (OPEX) and the environmental footprint of logistics. The phased removal of diesel subsidies and subsequent price volatility have enhanced the appeal of electricity as a more stable and economically predictable energy source, resulting in significantly lower operation and maintenance (O&M) costs compared to internal combustion engine (ICE) vehicles. However, this technology faces substantial barriers, primarily the high initial Capital Expenditure (CAPEX) required for electric truck procurement and the installation of DC fast and ultra-fast charging infrastructure. From a technical and regulatory perspective, the deployment of these technologies must comply with ARCONEL regulations and international standards IEC 61851 and IEC 62196 to ensure operational safety, interoperability, and power quality. The strategic location of Santo Domingo de los Tsáchilas as a logistics hub connecting the Coastal, Andean, and Amazonian regions reinforces the feasibility of such projects. Environmentally, heavy-duty electric trucks provide zero tailpipe emissions, reduced noise pollution, and a potential reduction of up to 52% in greenhouse gas emissions.

KEYWORDS: Electromobility, heavy-duty electric vehicles, charging infrastructure, environmental impact, energy transition.

6.3. INTRODUCCIÓN

En el Ecuador, el transporte de carga y de pasajeros actualmente está transitando hacia la electromovilidad como una alternativa para disminuir tanto las emisiones contaminantes como los costos de operación. No obstante, la instalación de infraestructura eléctrica de recarga para vehículos pesados (como buses interprovinciales y camiones de carga) requiere de un análisis técnico y económico detallado, debido a la alta potencia eléctrica que demandan, su conexión con redes de bajo y medio voltaje, además existe la obligación de cumplir con las regulaciones técnicas vigentes (ARCONEL, pliegos tarifarios, normas técnicas INEN y disposiciones municipales). Este trabajo se centrará en la factibilidad y el diseño de estaciones de carga para transporte pesado y en la evaluación de su viabilidad técnica, económica y normativa requerida para su implementación dentro de la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas.

En los últimos años, el interés por la electro movilidad se ha incrementado en el país debido al avance tecnológico y las políticas de sostenibilidad.

El proceso de transición energética se encuentra en una etapa inicial, con avances significativos en la incorporación de vehículos livianos eléctricos, pero con un desarrollo limitado en el segmento de transporte pesado después de todo la infraestructura de carga instalada en el país ha sido diseñada mayoritariamente para potencias de uso residencial o comercial general, las cuales resultan insuficientes para atender los requerimientos de vehículos de alto tonelaje que necesitan módulos de carga rápida o ultrarrápida en corriente continua (DC) para poder igualar el abastecimiento de los vehículos de combustión interna. Esta situación evidencia un vacío tanto en infraestructura como en planificación estratégica orientada específicamente a la movilidad pesada eléctrica.

Con el propósito desarrollar un análisis de factibilidad para el diseño e implementación de una estación de carga destinada a vehículos pesados en Santo Domingo de los Tsáchilas, tomando como base la normativa técnica, legal y tarifaria vigente en el Ecuador se consideran aspectos como: requisitos de conexión a redes de media tensión, estándares internacionales de interoperabilidad (IEC 61851, IEC 62196, MCS), modelos tarifarios establecidos por ARCONEL, y criterios económicos asociados a inversión, operación y recuperación financiera.

De esta manera, la investigación busca generar un aporte técnico que permita comprender las condiciones reales para el despliegue de infraestructura de carga pesada en la provincia como sus ventajas y desventajas, facilitando la toma de decisiones por parte de operadores de transporte, empresas distribuidoras y entidades públicas, los resultados

podrán servir como referencia para futuros proyectos de electromovilidad que requieran altos niveles de potencia y garantizar la continuidad operativa del transporte pesado eléctrico en el país.

El interés de este estudio se centra en la factibilidad de un sistema de carga de energía para vehículos eléctricos pesados, basado en la normativa ecuatoriana y considerando la incorporación de nuevas tecnologías que se han dado en el mundo y están llegando al país, las cuales se relacionan indirectamente con el desarrollo de las energías renovables, que adquieren cada vez mayor relevancia para la reducción de la huella de carbono ambiental. El principal desafío radica en la escasa implementación de normativas específicas para estas nuevas tecnologías, debido a que son de aplicación reciente en nuestro país y requieren una repotenciación previa de las líneas eléctricas de bajo y medio voltaje existentes para abastecer de manera adecuada a los centros de carga junto a futuros usuarios del sistema de electro movilidad, lo que representa un trabajo complejo, donde deben participar los usuarios del servicio y los responsables de entregar el servicio de suministro eléctrico.

Este trabajo busca aportar a la limitada literatura local sobre la electromovilidad en el transporte pesado, abordando el tema desde un enfoque técnico y adaptado al contexto nacional por eso en el ámbito local, existen pocos estudios que analicen de forma integral el diseño de electrolinerías de alta potencia para camiones y buses eléctricos, en especial aquellos que consideran los pliegos tarifarios y las resoluciones más recientes emitidas por la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL) a su vez esta falta de información actualizada dificulta la evaluación técnica y económica de los proyectos de infraestructura de carga, así como la toma de decisiones por parte de las empresas de transporte, las autoridades municipales, las distribuidoras de energía eléctrica y los posibles inversionistas independientes por ello, la información desarrollada en el estudio permitirá apoyar el proceso de sustitución de vehículos diésel por unidades eléctricas y servirá como una referencia práctica para la planificación de centros de recarga y para el apoyo a políticas y decisiones relacionadas con el sector eléctrico. Alcívar Méndez, E. (2024). Estaciones de carga para vehículos eléctricos (Electrolinerías). Caso de estudio Loja–Cuenca. Universidad Nacional de Loja.

Para (Jaramillo y Méndez, 2024) este estudio analiza la ubicación óptima de estaciones de carga para vehículos eléctricos a lo largo de la ruta Panamericana E35 entre Loja y Cuenca, utilizando criterios técnicos, ambientales, sociales y económicos. El autor utilizó un sistema de ponderación de varios criterios para determinar los lugares más convenientes para instalar electrolinerías, considerando aspectos como la existencia de red trifásica, la calidad del suministro eléctrico y la facilidad de acceso vial. Además, su trabajo

destaca la ausencia de una normativa ecuatoriana específica, por lo que toma como base estándares internacionales (IEC 61851 y 62196) y propone la implementación de cargadores rápidos de 50 kW tipo ABB Terra 54 con conectores CCS, CHAdeMO y Tipo 2 este antecedente es relevante porque aporta un modelo de análisis aplicable al diseño de estaciones de carga pesada bajo condiciones técnicas y normativas locales.

Análisis de prefactibilidad para la implementación de infraestructura de recarga destinada a vehículos eléctricos de carga pesada (Esteves Sandoval, 2019). Según (Sandoval, 2019) este desarrolla un análisis detallado sobre la viabilidad técnica y económica para instalar estaciones de recarga destinadas a camiones eléctricos, considerando variables como la demanda energética, el tipo de cargadores y el impacto ambiental. El autor emplea una metodología proyectiva que incluye el cálculo de potencias requeridas, los costos de inversión y la comparación con el uso de combustibles fósiles. Este estudio sirve como referencia directa, ya que establece una base metodológica aplicable al contexto ecuatoriano, sobre todo en el dimensionamiento eléctrico y el planteamiento de modelos tarifarios para carga pesada.

Pliegos tarifarios y normativa emitida por la ARCONEL (Ecuador, 2021–2024). Según (ARCONEL, 2021–2024) las resoluciones y pliegos tarifarios de la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCONEL) constituyen un referente normativo indispensable para el desarrollo de estaciones de carga en Ecuador. Estas disposiciones regulan las tarifas del servicio de carga, las condiciones técnicas de conexión en media tensión y los límites de cobro al usuario final. Su análisis resulta esencial para garantizar que el diseño de la infraestructura cumpla con los parámetros legales y económicos vigentes, fortaleciendo la factibilidad del proyecto.

Normas técnicas internacionales IEC 61851 e IEC 62196 adaptadas por el INEN (Ecuador, 2020). Según (INEN, 2020) “Las normas IEC 61851 y IEC 62196, adoptadas por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), establecen los requisitos técnicos para sistemas de carga de vehículos eléctricos, incluyendo conectores, niveles de potencia, seguridad y comunicación”. Estas regulaciones son clave para el diseño del sistema eléctrico de recarga, ya que garantizan la interoperabilidad y la seguridad de los equipos. Su inclusión en el estudio permite asegurar que la propuesta cumpla con estándares internacionales y sea compatible con las tecnologías de carga rápida y ultrarrápida para vehículos pesados.

6.4. MATERIAL Y MÉTODOS

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque descriptivo, el cual permitió detallar con precisión las características técnicas, normativas y operativas relacionadas con el diseño de estaciones de carga destinadas a vehículos pesados eléctricos en el Ecuador.

Este enfoque fue pertinente, ya que la investigación no tuvo como propósito la manipulación de variables ni la ejecución de procesos experimentales, sino la descripción, organización y análisis de la realidad existente en relación con la infraestructura eléctrica, el marco normativo vigente y los requerimientos asociados a la electromovilidad pesada de este modo, fue posible caracterizar el fenómeno dentro del contexto nacional, identificando sus elementos principales, los procesos involucrados y las condiciones que influyeron en la factibilidad del proyecto.

De manera complementaria, el estudio se sustentó en una metodología de carácter bibliográfico–documental, basada en la revisión, selección y análisis de fuentes especializadas ,entre estas se consideraron normativas emitidas por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCONEL), normas técnicas desarrolladas por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), artículos científicos publicados en revistas indexadas, manuales técnicos de ingeniería eléctrica, estudios de caso vinculados a la electromovilidad pesada y documentos institucionales relacionados con la planificación de infraestructura eléctrica a través de esta recopilación permitió conformar un marco teórico sólido y actualizado, indispensable para comprender los requerimientos de potencia, los estándares internacionales de recarga, los lineamientos tarifarios y las condiciones de seguridad exigidas en este tipo de proyectos.

Desde el punto de vista epistemológico, la investigación se inscribió dentro del paradigma empírico–analítico, al fundamentarse en información verificable, datos técnicos existentes y disposiciones normativas que regulan el funcionamiento del sistema eléctrico. Este enfoque facilitó la interpretación de la información desde una perspectiva objetiva, sustentada en evidencias documentadas y criterios técnicos. Asimismo, el estudio incorporó elementos de la corriente cognoscitiva interpretativa, dado que el análisis se basó en la comprensión y evaluación de documentos especializados, examinando la interrelación entre la normativa, las tecnologías disponibles y las condiciones operativas propias del entorno ecuatoriano de la movilidad eléctrica. Esta aproximación permitió desarrollar una lectura profunda de la realidad sin necesidad de ensayo experimental.

La metodología se estructuró en varias fases complementarias:

6.4.1. Recolección y selección de información documental

Se procedió a identificar, revisar y elegir documentos normativos, artículos científicos, reportes técnicos y estudios previos relevantes. Se consideraron criterios de actualidad, pertinencia, validez científica y aplicabilidad al contexto nacional. La selección incluyó normativas ecuatorianas vigentes, estándares internacionales y experiencias exitosas en otros países.

6.4.2. Clasificación temática del material consultado

Una vez recopilada la información, esta fue organizada en categorías temáticas como:

- Normativa eléctrica nacional,
- Estándares internacionales para sistemas de carga,
- Requerimientos técnicos de la infraestructura,
- Tecnologías de carga rápida y megacarga,
- Costos operativos y modelos tarifarios.

Esta estructura permitió realizar un análisis ordenado y coherente.

6.4.3. Recolección y selección de información documental -Análisis descriptivo e interpretativo del contenido

La información previamente clasificada fue analizada de forma detallada con el fin de identificar aspectos críticos, requerimientos técnicos, exigencias normativas y limitaciones operativas. El análisis de tipo descriptivo permitió definir con precisión cada uno de los elementos considerados, mientras que la interpretación documental contribuyó a comprender la interrelación existente entre los distintos componentes que conforman el proyecto.

6.4.4. Síntesis y elaboración del marco analítico

A partir de la información analizada, se desarrolló una síntesis integradora que permitió valorar la factibilidad del diseño planteado. Dicha síntesis contempló los aspectos técnicos requeridos, los criterios que deben cumplir las estaciones de recarga, las condiciones de conexión al sistema eléctrico y los límites tarifarios definidos por la autoridad reguladora.

La articulación del enfoque descriptivo con la metodología bibliográfica, junto con la adopción de los paradigmas empírico-analítico e interpretativo, permitió alcanzar una visión integral, rigurosa y debidamente fundamentada del objeto de estudio. De este modo, la investigación logró identificar con precisión los factores que inciden en la implementación de infraestructura de recarga para vehículos eléctricos pesados y aportar lineamientos técnicos sólidos para su diseño, en concordancia con la normativa vigente en el Ecuador.

6.5. ANÁLISIS RESULTADOS

A continuación, se presenta 2 casos, caso 1: una comparación entre un camión pesado diésel con un tanque de 200 galones (Hino Serie 700 (FS 2848 / variantes)) y un camión pesado eléctrico con una batería de 850 kWh (Volvo FH Electric (Tractor pesado)). Se analiza el costo de un llenado completo según los precios vigentes en Ecuador (diésel: USD 2,80/gal; electricidad para carga ultrarrápida de pesados: USD 0,1751/kWh), y la distancia

estimada que cada vehículo puede recorrer por cada llenado o recarga, considerando valores de consumo típicos para ambos tipos de vehículos.

Tabla 1

Tabla de comparación de camiones

Vehículo	Modelo	Tipo de energía	Capacidad energética	Costo de llenado / recarga	Autonomía estimada	Costo de adquisición
Camión diésel	Hino Serie 700 (FS 2848)	Diésel	200 gal (757 L)	USD 560,00	2.253 – 2.993 km	USD 130.000
Camión eléctrico	Volvo FH Electric (tractor pesado)	Eléctrica	850 kWh	USD 148,84	≈ 300km- 540km	USD ~276.000 (estimado)

Nota: La tabla se elaboró a partir de la información de la página (Volvo, 2025) y (Mevesa, 2025)

Costo de recarga

Tabla 2

Tabla de comparación en costos diésel e eléctrico

Vehículo	Modelo	Capacidad usada	Precio unitario	Costo total
Camión diésel	Hino Serie 700 (FS 2848)	200 gal (757 L)	2,80 USD/gal	560,00 USD
Camión eléctrico	Volvo FH Electric	850 kWh	0,1751 USD/kWh	148,84 USD

Nota: La tabla se elaboró a partir de la información del Pliego Tarifario 2025 de ARCONEL (2024)

Autonomía estimada

Tabla 3

Tabla de comparación en autonomía

Vehículo	Modelo	Consumo utilizado	Autonomía estimada
Camión diésel (conservador)	Hino Serie 700	2,97 km/L	2.253 km
Camión diésel (óptimo)	Hino Serie 700	3,95 km/L	2.993 km
Camión eléctrico	Volvo FH Electric	1,7 kWh/milla	805 km

Nota: La tabla se elaboró a partir de la información de la página (Volvo, 2025) y (Mevesa, 2025)

6.5.1. Tablas de comparación entre camiones a diésel y eléctricos: vehículo mediano urbano

A continuación, se presenta el Caso 2, correspondiente a una comparación entre un camión mediano diésel Chevrolet NQR, equipado con un tanque de 33 galones, y un camión mediano eléctrico JAC N75 Electric Urban, con una batería de tracción de aproximadamente 107 kWh. El análisis considera el costo de llenado o recarga según los precios vigentes en el Ecuador (diésel: USD 2,80/gal; electricidad: USD 0,1751/kWh), así como la autonomía estimada y los consumos típicos de ambos vehículos, en el contexto de operaciones urbanas y de distribución regional.

Tabla 4

Comparación entre un camión mediano

Vehículo	Modelo	Tipo de energía	Capacidad energética	Costo de llenado / recarga	Autonomía estimada	Costo de adquisición

Camión diésel	Chevrolet NQR	Diésel	33 gal (125 L)	USD 92,40	500 – 750 km	USD 37.000 – 45.000
Camión eléctrico	JAC N75 Electrica Urban (furgón)	Eléctrica	110 kWh	USD 19,30	170 – 180 km	USD 69.500 (estimado)

Nota: La tabla se elaboró a partir de información técnica de (Chevrolet, 2025), (Dercomaq, 2025) y precios referenciales del mercado (2024–2025).

Costo de llenado / recarga

Tabla 5

Comparación en costos de energía

Vehículo	Modelo	Capacidad usada	Precio unitario	Costo total
Camión diésel	Chevrolet NQR	33 gal (125 L)	2,80 USD/gal	92,40 USD
Camión eléctrico	JAC N75 Electrica Urban	110 kWh	0,1751 USD/kWh	19,30 USD

Nota: El costo eléctrico se calculó con base en el Pliego Tarifario 2025 de ARCONEL (2024).

6.5.2. Autonomía estimada

Tabla 6

Comparación en autonomía caso N-2

Vehículo	Modelo	Consumo utilizado	Autonomía estimada
Camión diésel (conservador)	Chevrolet NQR	4,0 km/L	500 km
Camión diésel (óptimo)	Chevrolet NQR	6,0 km/L	750 km
Camión eléctrico	JAC N75 Electrica Urban	0,307 kWh/km	170 – 180 km

Nota: La tabla se elaboró a partir de información técnica de (Chevrolet, 2025) , (Dercomaq, 2025) y precios referenciales del mercado (2024–2025).

El contraste entre camiones diésel y eléctricos, tanto en el segmento de larga distancia como en el de carga media, permite evidenciar diferencias relevantes desde las perspectivas económica, operativa y tecnológica. En el caso de los vehículos destinados a recorridos extensos, como el Hino Serie 700 en comparación con el Volvo FH Electric, se identifica una brecha significativa en los costos energéticos. El abastecimiento completo del camión diésel implica un gasto aproximado de USD 560,00, mientras que la recarga total del camión eléctrico representa un costo cercano a USD 148,84. Estos valores reflejan que, considerando las tarifas vigentes en el Ecuador y la mayor eficiencia energética de los vehículos eléctricos, el costo directo de energía de esta tecnología equivale aproximadamente al 27 % del costo asociado al diésel para un ciclo completo de operación.

No obstante, en términos de autonomía, el camión diésel conserva una ventaja considerable, con distancias estimadas que oscilan entre 2.253 km en un escenario conservador y hasta 2.993 km en condiciones más favorables, frente a una autonomía aproximada de 805 km en el caso del camión eléctrico. Esta diferencia pone de manifiesto que, en el contexto actual, los vehículos diésel continúan siendo más adecuados para trayectos de muy larga distancia, especialmente en zonas donde la infraestructura de recarga intermedia es inexistente o limitada.

Al extender el análisis al segmento de camiones medianos, a través de la comparación entre el Chevrolet NQR diésel y el JAC N75 Electric Urban, se aprecia una variación significativa en relación con los resultados obtenidos en el análisis de vehículos eléctricos de mayor costo, lo que sugiere un comportamiento distinto en términos de viabilidad económica y operativa en este segmento. El camión eléctrico JAC N75 presenta un costo de adquisición significativamente menor, lo que reduce de manera directa la principal barrera económica asociada a la electrificación del transporte de carga.

Desde el punto de vista operativo, el costo de recarga completa del JAC N75, estimado en aproximadamente USD 19,30, resulta sustancialmente inferior al costo de abastecimiento del camión diésel, que alcanza los USD 92,40 por llenado completo. Esta brecha se refleja en una disminución considerable del costo operativo por kilómetro recorrido, particularmente en actividades de distribución urbana y logística de última milla.

En cuanto a la autonomía, el camión diésel continúa presentando una ventaja evidente, con rangos de desplazamiento estimados entre 500 y 750 km, en contraste con una autonomía aproximada de 170 a 180 km en el caso del camión eléctrico. Sin embargo, esta

restricción no constituye un factor determinante en entornos urbanos, donde las distancias diarias suelen ser más reducidas y pueden gestionarse mediante una adecuada planificación operativa que contemple retornos frecuentes a los puntos de recarga.

Desde el punto de vista tecnológico, los camiones eléctricos presentan una ventaja estructural derivada de su diseño mecánico. La ausencia de sistemas complejos como motores de combustión interna, transmisiones convencionales y sistemas de escape implica una menor cantidad de piezas móviles, lo que reduce el desgaste mecánico y los requerimientos de mantenimiento. En este sentido, resulta pertinente destacar que Según Cunanan et al (2021) “los BEV tienen costos de mantenimiento entre un 20 % y un 30 % más bajos en comparación con los vehículos convencionales de gasolina o diésel” (p. 479), lo cual refuerza la viabilidad económica de los camiones eléctricos en contextos de operación continua. Adicionalmente, este tipo de vehículos presenta niveles de ruido significativamente inferiores, lo que constituye una ventaja relevante en entornos urbanos, operaciones nocturnas y áreas residenciales, al contribuir a la disminución de la contaminación acústica y a la mejora de las condiciones de calidad de vida de la población. En conjunto, los resultados evidencian que, aunque los camiones diésel conservan ventajas significativas en cuanto a autonomía y capacidad de cobertura para recorridos de larga distancia, tanto en el segmento pesado como en el mediano, los camiones eléctricos presentan beneficios económicos acumulativos cuando se evalúan a largo plazo. Estos beneficios se derivan principalmente de menores costos de energía, reducción en los gastos de mantenimiento y una mayor eficiencia operativa, especialmente en escenarios donde la infraestructura y la planificación de rutas permiten aprovechar al máximo sus características.

6.5.3. Costos de instalación de electrolineras:

La instalación de una estación de carga rápida para vehículos pesados con dos cargadores de 300 kW requiere una inversión que, según precios actuales de equipos y construcción, puede variar entre 240 mil y 583 mil dólares, siendo alrededor de 583 mil dólares una estimación equilibrada para un proyecto típico.

Tabla 75

Costos a realizar una electrolinera

Categoría	Costo típico
Cargadores DC pesados	66.4 k – 102.2k
DC 150 kw – 300kw	116.4 k – 167.4 k
Por unidad	

Transformador + tableros	20k – 70k
Acometida CNEL	15k – 60k
Instalación eléctrica	10k – 60k
Obra civil	10k – 70k
Ingeniería/permisos	5k – 30k
Total: cargadores de 150kw	140k – 440k
cargadores de 300kw	200 k – 600 k

Nota: La tabla se elaboró a base aproximaciones y de la información de (Center, 2023), (Rogers, 2024)

Desde la perspectiva de la inversión inicial, el camión eléctrico representa una barrera económica significativa, con un costo de adquisición estimado en torno a los USD 270.000. A este valor se suma la inversión requerida en infraestructura de recarga, ya que la implementación de una electrolinera para vehículos pesados equipada con dos cargadores de 300 kW puede demandar un desembolso aproximado de entre USD 140.000 y USD 600.000, considerando la adquisición de equipos, la ejecución de obras civiles, las acometidas eléctricas y los costos asociados a la ingeniería del proyecto.

6.5.4. Análisis del Costo Total de Propiedad

Caso 1: Vehículos pesados de larga distancia

En el primer caso se compara un camión diésel Hino Serie 700 con un camión eléctrico Volvo FH Electric. El análisis incluye costos de adquisición hipotética de 5 vehículos, energía, mantenimiento e infraestructura de carga rápida con dos cargadores de 300 kW.

6.5.5. Costo de infraestructura por vehículo

Para este escenario se considera la instalación de una electrolinera con dos cargadores rápidos DC de 300 kW, adecuada para camiones eléctricos pesados con baterías de gran capacidad, como el Volvo FH Electric

Tabla 8

Costos de infraestructura por vehículo

Concepto	Valor
----------	-------

Total, electrolinera (2 × 300 kW) **USD 583.000** (valor representativo del escenario de alta potencia)

Nota: Tabla sacada de las especificaciones de (Center, 2023)

Prorrateo por vehículo pesado

$$\frac{USD\ 583000}{5} = USD\ 116600\ \text{por vehiculo}$$

TCO Vehículo eléctrico pesado (por unidad)

Costos acumulados en 10 años

Tabla 9

Costos acumulados en 10 años Eléctrico

Concepto	Costo (USD)
Costo de adquisición	276.000
Electricidad (10 años)	437.000
Mantenimiento (10 años)	60.000
Infraestructura de carga	116.600
TCO total eléctrico	≈ 830.000

Nota: Tabla echa por autoría propia

TCO – Vehículo diésel pesado (por unidad)

Costos acumulados en 10 años

Tabla 10

Costos de 10 años Diésel

Concepto	Costo (USD)
Costo de adquisición	130.000
Diésel (10 años)	1.020.000

Mantenimiento (10 años)	90.000
TCO total diésel	≈ 1.240.000

Nota: Tabla echa por autoría propia

TCO por vehículo (10 años):

- Camión diésel: USD 1.240.000
- Camión eléctrico: USD 830.000

TCO flota (5 vehículos):

- Flota diésel: USD 6,20 millones
- Flota eléctrica: USD 4,15 millones

Ahorro estimado con electrificación: aproximadamente USD 2,05 millones.

En el caso de los vehículos pesados destinados a recorridos de larga distancia, el mayor ahorro absoluto se explica por el elevado consumo de combustible diésel y por la mayor eficiencia energética de los sistemas de propulsión eléctrica, a pesar de la elevada inversión inicial que estos últimos requieren.

6.5.7. Infraestructura de carga considerada (Caso 2)

Para este escenario se considera una electrolinera con dos cargadores DC de 150 kW, suficiente para camiones de carga media.

Tabla 11

Prorratio por vehículo mediano

Concepto	Valor
Total, electrolinera (2 × 150 kW)	USD 300.000 (<i>valor medio representativo</i>)

Nota: Tabla sacada de las especificaciones de (Center, 2023)

6.5.8. Prorratio por vehículo mediano

$$\frac{USD\ 300000}{5} = USD\ 60000\ Por\ vehiculo$$

Tabla 12

Vehículo eléctrico de carga media (por unidad)

Concepto	Costo (USD)
Costo de adquisición	69.500
Electricidad (10 años)	21.500
Mantenimiento (10 años)	40.000
Infraestructura de carga	60.000
TCO total eléctrico	191.000

Nota: Tabla echa por autoría propia

Tabla 13
Camión diésel de carga media

Concepto	Costo (USD)
Costo de adquisición	40.000
Diésel (10 años)	420.000
Mantenimiento (10 años)	70.000
TCO total diésel	530.000

Nota: Tabla echa por autoría propia

Costos de adquisición utilizados:

- Chevrolet NQR (diésel): USD 40.000
- JAC N75 Electric Urban (eléctrico): USD 69.500

TCO por vehículo (10 años):

- Camión diésel: USD 530.000
- Camión eléctrico: USD 191.000

Ahorro estimado con electrificación: aproximadamente USD 339.000.

TCO flota (5 vehículos):

- Flota diésel: USD 2,65 millones
- Flota eléctrica: USD 0,96 millones
- Ahorro estimado con electrificación de la flota:
USD 1,69 millones en un periodo de 10 años.

La inclusión del camión eléctrico JAC N75 Electric Urban evidencia que, cuando se selecciona un vehículo eléctrico adecuadamente dimensionado para operaciones urbanas y de distribución regional, la electrificación del transporte de carga resulta no solo

técnicamente factible, sino también económicamente más conveniente en comparación con la alternativa diésel. El menor costo de adquisición del JAC N75, junto con gastos reducidos en energía y mantenimiento, permite obtener ahorros relevantes en el Costo Total de Propiedad, incluso al incorporar la inversión necesaria en infraestructura de recarga.

6.6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El análisis comparativo entre camiones diésel y eléctricos, aplicado tanto a los vehículos pesados de larga distancia como a los de carga media urbana, permite concluir que la rentabilidad de la electrificación del transporte de carga no es uniforme, sino que depende de una combinación de factores técnicos, económicos, operativos y regulatorios claramente identificables. En este contexto, el estudio determinó que el diseño e implementación de infraestructura de carga eléctrica para vehículos pesados en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas resulta técnica y económicamente viable, siempre que se contemple una adecuada planificación de la inversión inicial y se cumpla con la normativa ecuatoriana vigente.

Desde el punto de vista económico, el kilometraje anual se consolida como uno de los factores más influyentes en el Costo Total de Propiedad (TCO). A medida que se incrementa la distancia recorrida, los ahorros acumulados en costos de energía y mantenimiento frente a la alternativa diésel permiten compensar progresivamente la elevada inversión inicial, alcanzando el punto de equilibrio en plazos razonables, especialmente en escenarios de análisis de largo plazo. Este comportamiento es más evidente en los camiones pesados de larga distancia, donde el alto consumo de combustible del diésel genera diferencias significativas a favor de la tecnología eléctrica. Asimismo, el incremento del precio del diésel y su proceso de liberalización refuerzan esta tendencia, posicionando a la electricidad como una fuente energética más estable, predecible y competitiva para el transporte pesado en el Ecuador.

No obstante, el análisis del marco normativo evidencia que, si bien el país cuenta con regulaciones orientadas a fomentar la electromovilidad, estas presentan aún un alcance limitado cuando se trata específicamente del transporte pesado de carga. La normativa vigente establece lineamientos generales y beneficios iniciales, pero carece de disposiciones técnicas y económicas más específicas, así como de incentivos claros que impulsen de manera decidida la adopción de camiones eléctricos y el desarrollo de infraestructura de carga de alta potencia, lo que constituye una barrera adicional para su masificación. Desde el punto de vista técnico, se confirma que los vehículos pesados eléctricos requieren sistemas de carga rápida y ultrarrápida en corriente continua, con potencias elevadas que demandan una infraestructura robusta y una adecuada capacidad de la red eléctrica. En este sentido, la

electrificación de flotas resulta más factible para empresas de transporte urbano, operadores logísticos y de distribución, entidades públicas o privadas y grandes industrias que disponen de patios, terminales o centros logísticos fijos y capacidad de inversión inicial. En contraste, los transportistas independientes y los operadores de rutas extensas sin infraestructura intermedia enfrentan mayores barreras técnicas y económicas en el contexto actual.

Finalmente, se concluye que la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, debido a su ubicación estratégica como nodo logístico a escala nacional, reúne condiciones favorables para el desarrollo progresivo de infraestructura de recarga orientada al transporte pesado eléctrico, representando una oportunidad concreta para impulsar la transición energética, reducir la dependencia del diésel y promover un sistema de transporte de carga más sostenible, eficiente y competitivo a mediano y largo plazo.

6.7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ARCONEL. (2021–2024). *Pliegos tarifarios y normativa para el servicio de carga de vehículos eléctricos*. Ecuador: ARCONEL – Gobierno del Ecuador.
- Center, U. D. (2023). *Electric Vehicle Charging Solutions*. driveelectric.gov. <https://driveelectric.gov/files/webinar-2023-04-25-community-charging-market-scan.pdf?utm>
- Chevrolet. (27 de 12 de 2025). *chevrolet.com.ec*. <https://www.chevrolet.com.ec/camiones-y-buses/nqr-915-camion-6-toneladas>
- Cunanan, C., Tran, M.-K., Lee, Y., Kwok, S., Leung, V., & Fowler, M. (1 de 6 de 2021). A Review of Heavy-Duty Vehicle Powertrain Technologies: Diesel Engine Vehicles, Battery Electric Vehicles, and Hydrogen Fuel Cell Electric Vehicles. *Clean Technologies*. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/cleantechnol3020028>
- Dercomaq. (27 de 12 de 2025). *Dercomaq*. <https://www.dercomaq.cl/productos/camiones-medianos/camion-electrico-n75-urban-furgon?utm>
- INEN. (2020). *Normas técnicas NTE INEN-IEC 61851 y NTE INEN-IEC 62196: Sistemas de carga conductiva para vehículos eléctricos*. Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN).
- Jaramillo, E., & Méndez, A. (2024). Estaciones de carga para vehículos eléctricos (Electrolineras). Caso de estudio Loja–Cuenca. Loja, Ecuador: Universidad Nacional de Loja.
- Mevesa, G. (27 de 12 de 2025). *Hinomavesa*. <https://hinomavesa.com.ec/>
- Rogers, C. N. (24 de 6 de 2024). REDUCING EV CHARGING INFRASTRUCTURE COSTS. *rocky muntain institute*.
- Sandoval, R. E. (2019). *Estudio de prefactibilidad para la instalación de estaciones de recarga dirigida a vehículos eléctricos de carga pesada*. Colombia: Universidad Agustiniana.
- Volvo, T. (2025). Volvo Trucks: <https://www.volvotrucks.com/en-en/news-stories/press-releases/2022/jan/volvos-heavy-duty-electric-truck-is-put-to-the-test-excels-in-both-range-and-energy-efficiency.html#:~:text=Datos%20sobre%20la%20gama%20de,del%20Norte%20comenz%C3%B3%20en%202020>.



**DOMÓTICA INALÁMBRICA CON TECNOLOGÍA
ENOCEAN
WIRELESS HOME AUTOMATION UTILIZING ENOCEAN
TECHNOLOGY**

Cedeño Villalta Leonardo Geovanny
Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila
<https://orcid.org/0009-0006-7975-3292>
leonardocedenovillalta@tsachila.edu.ec
Santo Domingo - Ecuador

Nasimba Bautista Manuel Joel
Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila
<https://orcid.org/0009-0008-8421-4677>
manuelnasimbabautista@tsachila.edu.ec
Santo Domingo - Ecuador

Ing. Roberto Carlos Ortega Ordoñez, MSc.
Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila
<https://orcid.org/0000-0003-1121-7507>
robertoortega@tsachila.edu.ec
Santo Domingo – Ecuador

INDICE

7.1. RESUMEN	105
7.2. ABSTRACT	106
7.3. INTRODUCCIÓN	107
7.4. MATERIAL Y MÉTODOS	110
7.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	111
7.6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	116
7.7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	118

7.1. RESUMEN

El presente analiza la viabilidad, beneficios y desafíos de la implementación de sistemas de domótica inalámbrica basados en la tecnología EnOcean en edificaciones existentes, considerando la necesidad de soluciones sostenibles, eficientes y de fácil instalación en el contexto de la automatización de espacios. El estudio tuvo como objetivo evaluar las características técnicas de dicha tecnología, su impacto en el consumo energético, el mantenimiento y el confort del usuario, así como las condiciones técnicas, económicas y estructurales necesarias para su adopción. La investigación se desarrolló bajo un enfoque documental, con un diseño no experimental y de tipo descriptivo–analítico, sustentado en la revisión de literatura científica reciente proveniente de fuentes académicas confiables. Los resultados evidenciaron que la tecnología EnOcean, basada en el principio de energy harvesting, permitió reducir significativamente el consumo energético y los costos de mantenimiento, al prescindir del uso de baterías y cableado convencional, además de facilitar su integración en edificaciones ya construidas. Asimismo, se determinó que su aplicación mejora el confort, la usabilidad y la eficiencia operativa en entornos residenciales, educativos y comerciales. Finalmente, se concluyó que la tecnología EnOcean constituye una alternativa viable y sostenible para la automatización de edificaciones existentes, siempre que se consideren adecuadamente los aspectos técnicos, económicos y estructurales, consolidándose como una solución innovadora orientada al desarrollo de entornos inteligentes y energéticamente eficientes.

PALABRAS CLAVE: Domótica, EnOcean, eficiencia, automatización, sostenibilidad.

7.2. ABSTRACT

This research evaluates the feasibility, benefits, and challenges of implementing wireless home automation systems based on EnOcean technology within existing buildings, addressing the growing demand for sustainable, efficient, and non-invasive solutions for space automation. The study aims to assess the technical specifications of this protocol, its impact on energy consumption, maintenance requirements, and user comfort, alongside the technical, economic, and structural conditions necessary for its deployment. Adopting a documentary approach with a non-experimental, descriptive-analytical design, the investigation is supported by a systematic review of contemporary scientific literature from high-impact academic sources. The findings demonstrate that EnOcean technology, powered by the energy harvesting principle, significantly reduces energy overhead and operational maintenance expenditures (OPEX) by eliminating the dependency on batteries and conventional hardwiring, thereby facilitating seamless integration into retrofit projects. Furthermore, its application enhances comfort, usability, and operational efficiency across residential, educational, and commercial environments. The study concludes that EnOcean constitutes a highly viable and sustainable alternative for the automation of existing infrastructures, provided that technical and structural constraints are addressed, establishing it as an innovative solution for the development of smart, energy-efficient environments.

KEYWORDS: Home automation, EnOcean, energy harvesting, building automation, sustainability, energy efficiency.

7.3. INTRODUCCIÓN

La integración de sistemas de automatización en la construcción de viviendas y edificios inteligentes ha demostrado ser una forma eficaz de mejorar la comodidad y la eficiencia energética, gestionando de forma más sostenible los espacios habitados. De esta forma, el incremento de dispositivos que interactúan de forma automática en los espacios habitados genera la necesidad de desarrollar técnicas que en el ámbito de la ingeniería y gestión energética se cataloguen como autónomas, con bajo mantenimiento y que tengan una huella ambiental poco significativa. En este sentido, la tecnología EnOcean (2025) se adapta como una de las más representativas y novedosas para estos fines, ya que aplica el principio de energy harvesting, que se traduce en la utilización de tecnología que captura y aprovecha la energía de diferentes fuentes ambientales para alimentar dispositivos y sensores que se instalan en espacios habitados, sin que se requiera el uso de baterías ni la instalación de cableado. Este tipo de construcción domótica, además de ser más operativamente y menos costosa en mantenimiento, permite una mayor versatilidad en la instalación de sistemas en edificios ya existentes y en nuevas construcciones.

La situación actual limita el potencial de las edificaciones para ser más sostenibles, dado que, pese a los beneficios que ofrecen, las soluciones domóticas con EnOcean no son del todo conocidas, ni aprovechadas, en la mayoría de los contextos regionales e institucionales. En este sentido, es preciso investigar la viabilidad, el alcance y la concreción de beneficios en contextos específicos, tales como, centros educativos, oficinas o viviendas en zonas urbanas.

La tecnología EnOcean se originó a partir de innovaciones en la implementación de sensores sin cables que utilizan recolección de energía, que consiste en utilizar energía del medio ambiente (movimiento, luz, diferencias de temperatura) para funcionar sin utilizar baterías o cables. Esta tecnología fue desarrollada a principios de la década de 2000 por EnOcean GmbH, empresa de Oberhaching (Alemania) que comercializó sus primeros módulos inalámbricos autoalimentados en 2001, tras escindir de algunas iniciativas de investigación sobre energía ambiental y electrónica de consumo de bajo costo. Esta empresa fue pionera en la fusión de micro convertidores de energía, electrónica de consumo ultrabaja y electrónica de comunicación por radio, permitiendo a los interruptores y a los sensores operar de manera autónoma y sin requerir mantenimiento.

EnOcean, por ejemplo, trabaja predominantemente en las bandas de 868 MHz, 902 MHz y 928 MHz, que ofrecen el mejor equilibrio en términos de alcance, penetración de señal y consumo de energía, considerando estos compromisos el mejor dispositivo para estas bandas debería ser basado en 6LoWPAN. Los protocolos basados en EnOcean pueden transmitir datos a largas distancias, aproximadamente 300 metros al aire libre y 30 metros en interiores, dependiendo de las características arquitectónicas del edificio (López, 2022). Además, la estructura de comunicación, un esquema de bajo consumo y unidireccional, prolonga la vida útil de los componentes del sistema inalámbrico y minimiza las posibilidades de interferencia en el sistema inalámbrico.

Un aspecto relevante de esta tecnología es su seguridad en la transmisión de datos, basada en algoritmos de cifrado AES-128, que protege la integridad y autenticidad de la información enviada por los dispositivos. Además, el bajo tiempo de transmisión (en el orden de milisegundos) disminuye la probabilidad de interferencias y contribuye a mantener la eficiencia operativa incluso en entornos con alta densidad de dispositivos inalámbricos (Pesántez, 2023). “Los sistemas basados en energy harvesting reducen la dependencia de baterías externas y convierten a los sensores en elementos autónomos, capaces de operar durante décadas sin requerir mantenimiento, lo que representa un salto significativo hacia la automatización sostenible” (Flores y Cedeño, 2023, p. 6).

La provisión de dispositivos EnOcean se complementa con marcas especializadas que integran este estándar en sus productos. Por ejemplo, NodOn desarrolla varios dispositivos compatibles con EnOcean, incluidos sensores de apertura de puertas y ventanas inalámbricos y sin batería, sensores de temperatura y movimiento, interruptores y enchufes inteligentes (NodOn, s.f.). Otro fabricante notable es Eltako, un miembro activo de la Alianza EnOcean, que utiliza tecnología EnOcean para reducir el mantenimiento y el consumo de energía de sus soluciones de automatización inalámbrica para el control de la iluminación, el aire acondicionado y los sistemas de sensores (Eltako, s.f.).

La domótica ahora cuenta con sistemas más eficientes, flexibles y escalables, gracias a la incorporación de nuevas tecnologías inalámbricas. Zigbee, Z-Wave, Wi-Fi y Bluetooth son algunas de las alternativas más utilizadas por su versatilidad, interoperabilidad y facilidad de implementación (Paredes, 2023). Cada tecnología cuenta con diferentes características como distancia, consumo de energía, frecuencia y número de equipos conectados, lo cual define su uso en diferentes escenarios de automatización.

En contraste, el wi-fi es la tecnología más prevalente utilizada en el entorno doméstico debido a su muy alta velocidad de transmisión de datos. Sin embargo, es considerablemente más demandante de energía (decenas a cientos de mW), lo que la hace menos eficiente para dispositivos autónomos (Cedeño & Zambrano, 2020). Aun así, su compatibilidad prácticamente universal la convierte en una tecnología apropiada para sistemas que requieren transmisión continua de datos, como cámaras IP, sensores de alta tasa de datos, entre otros.

Diversos estudios enfatizan que la eficiencia energética mejorada no proviene únicamente del bajo consumo de los sensores, sino de la optimización automatizada de recursos. Por ejemplo, Rodríguez (2025) explican que “la domótica basada en sensorización autónoma mejora la eficiencia en un rango del 15 % al 30 %, dependiendo del tipo de edificación” (p. 75). Esta mejora se logra mediante algoritmos que ajustan la iluminación según presencia humana o que regulan la climatización de acuerdo con parámetros térmicos del ambiente. EnOcean, al no depender de baterías, permite instalar sensores adicionales sin incrementar la carga energética global, lo que potencializa los beneficios del control distribuido.

La disminución del consumo eléctrico se puede observar en construcciones donde es complicado realizar la adición de cableado. En el ámbito comercial, Paredes (2023) muestra que la reducción del uso de energía fue de un 18 % por el uso de sensores inalámbricos y que, además, no requieren baterías. Esto se debe a que tienen un sistema de encendido y apagado de manera automática por movimiento, así como un sistema de apagado en zonas donde no hay actividad. Investigadores como Moreno (2023) también señalan que la operabilidad de los sensores EnOcean, que no requieren energía, los hacen más rentables y económicamente viables, porque no se requiere de un mantenimiento en el corto plazo.

La sostenibilidad y mantenimiento de la tecnología EnOcean han sido determinantes para su importación en construcciones contemporáneas, especialmente en las de eficiencia energética y de impacto ambiental reducido. EnOcean, a diferencia de otras tecnologías inalámbricas, posee la capacidad de trabajar sin baterías, lo que hace que el impacto y la generación de residuos en las intervenciones de mantenimiento se reduzcan significativamente. Como afirman Mendoza (2022), los dispositivos autosuficientes disminuyen entre un 60 % y 80 % las tareas de mantenimiento preventivo asociadas a la sustitución de baterías en sensores convencionales.

La optimización energética en la educación es uno de los principales beneficios de EnOcean, dado el tipo de espacios que el sistema tiene que gestionar: superficie, horarios de ocupación, y la variable térmica y lumínica de los que los usuarios requieren para aprender. En la educación, uno de los sistemas que permite la integración de plataformas de gestión centralizadas es EnOcean. Gracias a esto, el sistema puede reducir el consumo de energía en aulas, bibliotecas y laboratorios en un 30% (Ángulo & Rivera, 2023).

Los espacios comerciales necesitan sistemas que sean confiables, escalables y con bajo mantenimiento. EnOcean automatiza la iluminación en zonas de alta rotación, usa sensores de ocupación que optimizan la climatización, y realiza monitoreo en tiempo real de variables críticas como la temperatura y el aforo. La industria ha destacado la estabilidad de estos sistemas y el rápido retorno de la inversión, en particular en supermercados y oficinas eficientemente energéticas (Amaya et al., 2020). Su independencia de baterías garantiza menor intervención técnica y continuidad operativa, incluso en instalaciones grandes.

7.4. MATERIAL Y MÉTODOS

La investigación utilizó un enfoque mixto, para la parte cualitativa se aplicó un diseño documental dirigido a la sistematización y análisis crítico de la información disponible en la literatura científica sobre sistemas de domótica inalámbrica utilizando la tecnología EnOcean, en la que se revisó y sistematizó información sobre su origen, evolución, características técnicas y otras tecnologías, incluyendo a sus fabricantes. En la parte cualitativa se realiza el análisis de los datos obtenidos basado en el consumo de energía, el confort del usuario y el mantenimiento, también teniendo en cuenta la recopilación de precios de referencia con el fin de estimar los costos de implementación para el usuario final.

El estudio en cuestión inicia bajo una modalidad documental, puesto que la investigación parte del estudio crítico, sistemático y comparativo de datos obtenidos de fuentes secundarias en las que se documenta el uso de la tecnología EnOcean, abordada desde una perspectiva comercial. Esta modalidad permite la revisión, sistematización y construcción de aportes teóricos de varios autores, de la empresa EnOcean y de algunos promotores de la marca, sin la necesidad de realizar una recolección de datos en el campo o de un trabajo de experimentación.

Este trabajo de titulación se desarrolla desde un nivel descriptivo-analítico, debido a que se orienta a caracterizar y analizar la información sobre el diseño e implementación de sistemas de domótica inalámbrica de la tecnología EnOcean. Desde la perspectiva descriptiva, se abordan los rasgos y las principales características que puedan describir los

aspectos técnicos, funcionales, estructurales y comerciales de esta tecnología en diversos tipos de construcciones. Desde la perspectiva analítica, se abordan los aspectos de los beneficios y las limitaciones, así como las condiciones y el costo de la tecnología en comparación con otras alternativas que se ofrecen en el mercado. Así mismo, la investigación se orienta a la modalidad no experimental, debido a que no se manipulan variables. Las investigaciones en función de documentos no utilizan poblaciones ni muestras, en un sentido estricto y estadístico, ya que no efectúan trabajos de campo, ni recogen datos de sujetos u objetos de estudio. En este caso, la población la constituyen las fuentes documentales especializadas en domótica inalámbrica, la EnOcean, la automatización de edificios y la eficiencia energética de las bases de datos de ciencia, revistas indexadas y repositorios académicos.

Este tipo de muestreo no probabilístico garantiza, en este caso, la calidad y pertinencia de la información obtenida, asegurando el aporte de los datos en el cumplimiento de los objetivos de la investigación. Por lo tanto, la población y la muestra seleccionadas documentales ayudan a la obtención de una interpretación confiable y objetiva acerca de la posibilidad y el uso de la EnOcean en edificios ya construidos.

En la presente investigación, de tipo documental, se diseñaron instrumentos de recolección de información orientados a la sistematización y análisis de la recolección y organización de las bibliografías especializadas en domótica inalámbrica y la tecnología EnOcean. El principal bibliográfico fue la ficha de análisis documental, orientada a la captura y sistematización de información relevante y pseudo estructurada, como autor, año de publicación, objetivo del estudio, metodología, principales hallazgos y aportes teóricos en relación a los objetivos de investigación.

7.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los hallazgos de este trabajo de investigación se alinean con los objetivos propuestos, lo que hace posible, en este caso, analizar de forma plausible los aspectos positivos y negativos de la implantación de sistemas de domótica inalámbrica con tecnología EnOcean, en obras de construcción existentes. Para la elaboración de la discusión, se realizó la revisión de obras científicas en su mayoría contemporáneas, priorizando estudios técnicos, de tipo comparativo y revisiones especializadas.

Tabla 6 .

Comparación de protocolos de sistemas domóticos inalámbricos

Protocolo	Ventajas	Desventajas
EnOcean	<ol style="list-style-type: none"> 1. Funciona sin baterías mediante tecnologías de recolección de energía (energy harvesting). 2. Presenta un consumo energético extremadamente bajo. 3. Reduce costos de mantenimiento y cableado. 4. Alta fiabilidad en aplicaciones de automatización de edificios. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Alcance de comunicación limitado. 2. Disponibilidad reducida de dispositivos compatibles. 3. Costo inicial relativamente elevado. 4. Dependencia de condiciones ambientales para la generación de energía.
Zigbee	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bajo consumo energético, ideal para redes de sensores. 2. Soporta topologías de red mallada (mesh). 3. Amplia compatibilidad con sistemas domóticos. 4. Estandarización internacional para IoT. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Requiere un coordinador o gateway. 2. Posibles interferencias en la banda de 2.4 GHz. 3. Configuración relativamente compleja. 4. Velocidad de transmisión limitada.
Z-Wave	<ol style="list-style-type: none"> 1. Opera en frecuencias menos saturadas. 2. Alta interoperabilidad entre dispositivos certificados. 3. Red mallada estable y confiable. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tecnología propietaria. 2. Costos elevados de implementación. 3. Menor disponibilidad de fabricantes. 4. Limitaciones en la velocidad de transmisión.

	4. Bajo consumo energético.	
Wi-Fi	<ol style="list-style-type: none"> Alta velocidad de transmisión de datos. Amplia compatibilidad con dispositivos comerciales. No requiere infraestructura adicional. Ideal para aplicaciones de alto consumo de datos. 	<ol style="list-style-type: none"> Alto consumo energético. Saturación en redes con múltiples dispositivos. Menor estabilidad en entornos densos. Vulnerabilidades de seguridad si no se configura adecuadamente.
Bluetooth (BLE)	<ol style="list-style-type: none"> Bajo consumo energético. Fácil integración con dispositivos móviles. Costos de implementación reducidos. Adecuado para comunicaciones de corto alcance. 	<ol style="list-style-type: none"> Alcance limitado. No recomendado para redes extensas. Interferencias en entornos saturados. Menor estabilidad frente a redes malladas.

Nota: La tabla presente describe un enfoque técnico comparativo inicial entre los principales tipos de protocolos de comunicación inalámbrica utilizados en sistemas domésticos, resaltando los pros y los contras de estos desde una perspectiva funcional, energética y operativa, con el fin de determinar el más adecuado para su uso en tecnologías de automatización de edificios. **Elaborado por:** (Cedeño & Nasimba, 2026).

La singularidad de EnOcean radica en su funcionamiento basado en el harvesting de energía, que no requieren de baterías ni de cableado eléctrico permanente. En comparación con tecnologías como Zigbee, Z-Wave o Wi-Fi, que requieren más infraestructura porque son dependientes de fuentes de energía constantes, diferentes estudios coinciden que los sistemas EnOcean son más sostenibles y están más optimizados económicamente, por el menor costo en el mantenimiento debido a la menor dependencia de la energía. Además, EnOcean es tecnológicamente viable para la modernización de edificaciones, debido a su alta confiabilidad operativa, baja latencia en la transmisión de los datos y a su fácil integración en entornos construidos.

Tabla 7 Comparación de consumo energético, confort y mantenimiento en tecnologías

Tecnología	Consumo energético	Unidad Referencia	/	Confort para el usuario	Nivel de mantenimiento
EnOcean	≈ 0.01 – 0.1 μJ por paquete	Consumo ultra bajo (energy harvesting)		Alto (sin baterías, alta fiabilidad, mínima intervención)	Muy bajo (no requiere reemplazo periódico de energía)
Zigbee	≈ 0.01 – 3.16 μJ por paquete	Consumo bajo a medio	a	Alto (buena estabilidad y automatización eficiente)	Medio (requiere mantenimiento ocasional de nodos)
Z-Wave	≈ 1 – 3 μJ por paquete	Consumo bajo		Alto (buena interoperabilidad y estabilidad)	Medio (mantenimiento periódico de dispositivos)
Bluetooth Low Energy (BLE)	Decenas de μW en transmisión	Consumo bajo		Medio (limitado por alcance y estabilidad)	Medio (requiere supervisión de baterías)
Wi-Fi	Decenas a cientos de mW	Consumo elevado		Medio–Alto (alta velocidad, mayor consumo)	Alto (mayor desgaste energético y mantenimiento)

Nota: Se realiza una comparación técnica entre diferentes tipos de tecnologías de domotización, considerando el consumo de energía, la comodidad del usuario y el mantenimiento, si es que se requiere. La escala de comodidad y mantenimiento se expresa cualitativamente y se clasifica en categorías según si es Baja, Media o Alta, en términos de experiencia del usuario, estabilidad operativa y requisitos técnicos. **Elaborado por:** (Cedeño & Nasimba, 2026).

El impacto ambiental es más bajo y hay menores costos operacionales a largo plazo por la falta de necesidad de batería y por la reducción de intervenciones técnicas periódicas. En el ámbito de la integración, la automatización de la iluminación, la climatización y el control de accesos, mejora la experiencia de los usuarios y permite interacciones más cómodas y adaptativas. Estos hallazgos se alinean con la investigación más contemporánea que describe la domótica inalámbrica en el confort térmico, lumínico y funcional en edificaciones, ya sea en la residencia, la educación o el comercio.

Tabla 8.

Condiciones técnicas, económicas y estructurales de la tecnología EnOcean

Área	Condiciones técnicas	Condiciones económicas	Condiciones estructurales
Residencial	<ul style="list-style-type: none"> Implementación de sensores y actuadores autoalimentados mediante <i>energy harvesting</i>. Comunicación inalámbrica de bajo consumo y baja latencia. Compatibilidad con sistemas de iluminación, climatización y control de accesos. Instalación sencilla sin cableado adicional. 	<ul style="list-style-type: none"> Reducción de costos por eliminación de baterías y mantenimiento periódico. Inversión inicial moderada, compensada por ahorro energético a largo plazo. Disminución de costos operativos por automatización eficiente. 	<ul style="list-style-type: none"> No requiere modificaciones estructurales significativas Fácil integración en viviendas nuevas o existentes. Instalación no invasiva en paredes, puertas y ventanas.
Educativo	<ul style="list-style-type: none"> Alta confiabilidad para control de iluminación, ventilación y monitoreo ambiental. Funcionamiento continuo sin interrupciones por cambio de baterías. Integración con sistemas de gestión energética institucional. 	<ul style="list-style-type: none"> Optimización del consumo energético en aulas y laboratorios. Reducción de costos de mantenimiento técnico. Ahorro económico a mediano y largo plazo en infraestructura educativa. 	<ul style="list-style-type: none"> Adaptable a edificaciones existentes sin afectar su estructura. Facilita ampliaciones futuras del sistema domótico. Instalación segura en espacios de alta concurrencia.
Comercial	<ul style="list-style-type: none"> Alta fiabilidad operativa para sistemas de control de iluminación, climatización y accesos. Comunicación estable en entornos con alta densidad de dispositivos. 	<ul style="list-style-type: none"> Retorno de inversión favorable por reducción del consumo energético. Disminución de costos asociados al mantenimiento y reemplazo de baterías. 	<ul style="list-style-type: none"> Compatible con infraestructuras comerciales existentes. Instalación flexible sin interrupciones prolongadas de operación.

-
- Integración con sistemas de gestión inteligente de edificios (BMS).
 - Optimización del uso energético en horarios operativos.
 - Escalabilidad para ampliaciones futuras del sistema.
-

Nota: Se detallan las condiciones técnicas, económicas y estructurales necesarias para la adopción efectiva de soluciones domóticas basadas en EnOcean en un entorno específico, pero puede variar considerándose las condiciones que el usuario final plantee al técnico que realice la instalación del sistema EnOcean. **Elaborado por:** (Cedeño & Nasimba, 2026).

La implementación de estos sistemas es especialmente ventajosa en edificaciones donde hay restricciones físicas que limitan la instalación de sistemas cableados. En este sentido, la tecnología EnOcean hace aprovechamiento de la integración de sistemas tecnológicos con escasas modificaciones, lo que implica que se reduzcan los costos de instalación y el tiempo de ejecución. Desde el punto de vista económico, la inversión inicial es moderada y los beneficios a mediano y largo plazo que justifiquen su adopción son el ahorro energético, la reducción del mantenimiento y la prolongación de la vida útil del mismo. Por su parte, el sistema es escalable y se adapta a los diferentes entornos, ya sean residencial, educativo o comercial.

7.6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El desarrollo de este trabajo permitió analizar de manera integral la viabilidad técnica, funcional y económica de la implementación de sistemas de automatización del hogar inalámbricos basados en la tecnología EnOcean para edificios existentes. A partir de los resultados obtenidos, es evidente que esta tecnología es una opción de automatización viable para llenar espacios, particularmente en situaciones donde las limitaciones estructurales obstaculizan la instalación de sistemas convencionales cableados. La ausencia de cableado y baterías facilita la modernización de edificios sin intervenciones invasivas y también reduce el tiempo de instalación y los costos relacionados de la infraestructura.

Una de las principales contribuciones identificadas en esta investigación es el funcionamiento de EnOcean utilizando dispositivos autosuficientes a través de la recolección de energía, una característica que lo diferencia de otras tecnologías inalámbricas como Zigbee, Z-Wave, Wi-Fi y Bluetooth Low Energy. Esta condición permite minimizar el consumo de energía del sistema, reducir el mantenimiento a gran escala y mitigar el impacto ambiental negativo asociado con el reemplazo de baterías. El análisis comparativo

demuestra que, a pesar de que algunas tecnologías ofrecen una mayor disponibilidad comercial o tasas de transmisión de datos más altas, EnOcean tiene ventajas competitivas en eficiencia energética, sostenibilidad y fiabilidad operativa.

Desde la perspectiva del confort del usuario, los resultados apuntan a que la automatización, apoyada en EnOcean, que mejora la gestión de la iluminación, climatización, control de ocupación y del funcionamiento de los espacios a las condiciones reales de uso, es positiva. La responsabilidad de tal capacidad de respuesta automática radica en ser la causa de una experiencia más cómoda y eficiente en el uso de espacios residenciales, educativos y comerciales. Con ello, se alinean con los estudios que se han hecho sobre el tema y que han destacado la importancia de la automatización sin intervención manual, con el desarrollo de edificaciones inteligentes.

Como todo sistema, esta automatización sin intervención manual ofrece algunas limitaciones que son de naturaleza técnica. En uno de los estudios, se pudieron identificar algunas de estas limitaciones que se relacionan con EnOcean, tales como el alcance de comunicación en ambientes cerrados y que existen algunos dispositivos que dependen de la radiación solar para la activación de la energía. Estos dispositivos pueden ser enfocados como una oportunidad de mejora en el sistema, ya que limitan o restringen la forma en que se puede adoptar EnOcean. Por ello, la necesidad de establecer un control y una planificación adecuada del sistema EnOcean, de tal manera que se pueda realizar un uso óptimo de los dispositivos. Una planificación adecuada se relaciona con el estudio de la ubicación más adecuada en la que se pueden establecer los sensores y los actuadores, y el estudio de las características del entorno en donde se hará la implementación.

Desde una perspectiva económica, se puede concluir que, si bien la inversión inicial puede ser relativamente baja, las ventajas a medio y largo plazo son suficientes para justificar su implementación. El ahorro de costos en gastos operativos, la reducción del mantenimiento y la extensión de la vida útil de los dispositivos hacen de EnOcean una solución rentable y sostenible. En general, esta investigación nos permite concluir que la tecnología EnOcean se presenta como una opción viable y estratégica para la automatización de edificios existentes, fomentando la creación de entornos inteligentes, eficientes y energéticamente sostenibles.

7.7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Amaya Fariño, L. M., Tumbaco Reyes, A., Roca Quirumbay, E., Villón González, T., Mendoza Morán, B., & Reyes Quimís, Á. (2020). El IoT aplicado a la domótica. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 7(1), 21-28. <https://doi.org/10.26423/rctu.v7i1.490>
- Ángulo Casanova, L. J., & Rivera Moreira, K. R. (2023). Diseño de un sistema domótico centralizado con comunicación inalámbrica mediante el uso de sistemas embebidos, con pantalla de operador y tecnología IoT [Tesis de grado, ESPOL]. DSpace ESPOL. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/58235>
- Cedeño, A., Macías, J., & Zambrano, L. (2020). Domótica como alternativa para la eficiencia energética en viviendas. *Revista ESPACIOS*, 41(17), 9-18. <https://www.revistaespacios.com/a20v41n17/20411709.html>
- Cedeño, L. G., & Nasimba, M. J. (2026). DOMÓTICA INALÁMBRICA CON TECNOLOGÍA ENOCEAN [Tesis de grado, ITSS]
- Eltako. (s. f.). EnOcean products. Recuperado de <https://www.eltako.com/en/company/partner-allianzen/enoclean/>
- EnOcean Alliance. (2016). *Introducing the EnOcean ecosystem* [White paper]. Recuperado de https://www.enoclean-alliance.org/wp-content/uploads/2016/11/Whitepaper_Introducing_the_EnOcean_Ecosystem.pdf?utm_source
- EnOcean GmbH. (2025). *Building Automation – Smart and sustainable with EnOcean technology*. Recuperado de https://www.enoclean.com/en/applications/building-automation/?utm_source
- EnOcean. (2025). *EnOcean – The World of Energy Harvesting Wireless Technology* [White paper]. Recuperado de https://www.enoclean.com/wp-content/uploads/redaktion/pdf/white_paper/WhitePaper_Getting_Started_With_EnOcean_v3.0.pdf?utm_source
- Flores, H., & Cedeño, V. (2023). *Sistemas autónomos para monitoreo ambiental basados en recolección energética*. *Revista de Sistemas y Automatización*, 9(1), 1–12.
- Mendoza, R. (2022). Sistema de control domótico usando redes inalámbricas [Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/36547>
- Moreno, A. L. P. (2023). Implementación de un sistema domótico en la empresa EPROEN S.A.C. [Tesis de grado, Universidad Católica Los Ángeles de Chimbote]. Repositorio ULADECH. <https://hdl.handle.net/20.500.13032/35641>



NodOn. (s. f.). Protocolo EnOcean de NodOn. Recuperado de <https://nodon.fr/es/pages/enocan>

Paredes Gutiérrez, M. D. (2023). Análisis de dispositivos IoT para uso en domótica y su desarrollo en la ciudad de Guayaquil [Tesis, Universidad Politécnica Salesiana]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/27883>

Pesántez Picón, F. D. (2023). Implementación de una plataforma basada en IoT y software libre para el desarrollo de un sistema domótico [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio UPS. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23633>

Rodríguez, D. N. (2025). Sistemas domóticos inalámbricos [Tesis de grado, Universidad Estatal del Sur de Manabí]. Repositorio UNESUM. <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/3127/1/TESIS%20-%20LINO%20RODRIGUEZ%20DENISSE%20NICOLE.pdf>

Innovación energética sostenible en el Ecuador:

La transición hacia fuentes de energía renovable y soluciones innovadoras es una de las apuestas más importantes para asegurar un futuro más sostenible y eficiente. Este libro aborda los pilares fundamentales de la innovación energética sostenible en el Ecuador, con un enfoque especial en el **almacenamiento térmico, la energía solar, la economía circular y la electromovilidad** como herramientas esenciales para optimizar el consumo eléctrico en el país.

A través de un análisis profundo de las tecnologías emergentes, se destacan las oportunidades que Ecuador tiene para convertirse en líder en el ámbito de la sostenibilidad energética en América Latina. Los avances presentados no solo son fundamentales para mejorar la eficiencia energética, sino también para mitigar el impacto ambiental y promover una economía más limpia y circular.

Este trabajo es una invitación a pensar más allá de lo convencional y explorar nuevas formas de generar, almacenar y utilizar la energía, contribuyendo así a un Ecuador más resiliente, ecológico y preparado para los desafíos del futuro.



INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO
Tsa'chila

Contacto: mmseditorial@gmail.com

