

INVESTIGACIÓN

TECNOLÓGICA IST CENTRAL TÉCNICO

Volumen 8 · Número 1 · Junio 2026 · Publicación semestral



INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA

REVISTA DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN

INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO CENTRAL TÉCNICO

COMISIÓN DE INVESTIGACIÓN

ISSN 2600-5565

Volumen 8

Número 1

Junio 2026

Publicación Semestral

Dirección:

ISTCT, Av. Isaac Albéniz E4-15 y El Morlán, Sector el Inca, Quito
- Ecuador

Contactos:

www.istct.edu.ec

www.investigacionistct.ec

email: investigacion@istct.edu.ec

Telf.: 099 924 1151

Equipo editorial

DIRECCIÓN EDITORIAL

Mgs. Rodrigo Veintimilla - Instituto Superior Universitario Central
Técnico, Ecuador. ORCID: 0009-0004-8278-0246. Correo:
rodrigo.veintimilla@educacion.gob.ec

DIRECCIÓN DEL COMITÉ CIENTÍFICO

PhD Katalina Sarmiento Sarmiento - Instituto Superior
Universitario Central Técnico, Ecuador. ORCID: 0000-0001-5978-
600X. Correo: ksarmiento@istct.edu.ec

EDITOR EN JEFE (Responsable científico)

PhD (c) Elva Gioconda Lara Guijarro - Instituto Superior
Universitario Central Técnico, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3025-4792>. Correo: elvalara@istct.edu.ec

EDITORES ASOCIADOS

Msc. José Andrés Beltrán Ruiz - Instituto Superior Universitario
Central Técnico, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2394-0815>. Correo: jbeltran@istct.edu.ec

COMITÉ CIENTÍFICO

- PhD Gabriel Eduardo Sandoval Romero - Universidad Nacional Autónoma de México-México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7136-4897>. Correo: eduardo.sandoval@icat.unam.mx
- Dra. Ivanier Paz Hermsilla Illanes - Directora IIDIA - Centro Investigación Interdisciplinario de Derecho en IA - Universidad Internacional Ignacio Castro Pérez (UNICAP) - México. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-7130-3589> Correo: centroinvestigacion.ia@unicap.edu.mx
- PhD Doris Hernández Dukova - Universidad Distrital Francisco José de Caldas-Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5124-0213>. Correo: dorisdukova@yahoo.com
- PhD (c) Fátima Bañuelos Gómez - Universidad Nacional de Asunción - Paraguay. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3670-0941>. Correo: fbanuelos@founa.edu.py

- PhD Arturo Ramos Bueno - Instituto de Investigación Dr. José María Luis Mora - México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4882-1348>. Correo: aramos@institutomora.edu.mx
- PhD Robert Bernardo Guamán Rivera - Universidad de O'Higgins - Chile. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1387-0315>. Correo: robert.guaman@uoh.cl
- PhD. Ana Teresa Berrios Rivas - Instituto Superior Tecnológico Tecnocuatoriano - Ecuador
- Dra. María Julieta Duedra - Universidad Nacional de La Plata - Argentina
- Dr. Rafael Ángel Cepeda Campo - Director Tertulia Académica Virtual - Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central de Bogotá - Colombia. Pertenece a la Red <https://etitic.edu.co/es/page/investigacion&grupos>. Correo: racedac@itc.edu.co
- Msc. Abraham Mesías Jorquera - Instituto Superior Universitario Central Técnico - Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4235-9604>. Correo: ajorque@istct.edu.ec
- PhD (c) Elva Gioconda Lara Guijarro - Instituto Superior Universitario Central Técnico - Ecuador
- Msc. Alex Stalin Núñez Moscoso - Instituto Superior Universitario Central Técnico - Ecuador
- Mgr. Verónica Jeanneth Sotelo Reinoso - Instituto Superior Tecnológico Tecnocuatoriano - Ecuador
- Msc. Christian Patricio Cabascango Camuendo - Instituto Superior Tecnológico Tecnocuatoriano - Ecuador
- Msc. Klever Armando Tumbaco Casa - Instituto Superior Tecnológico Tecnocuatoriano - Ecuador
- Msc. Santiago David Silva Endara - Director General Comunidad Latinoamericana de Investigación, Innovación, Emprendimiento y Educación (CLIEE). ORCID: 0000-0002-6094-5810. Correo: ssilva@cliiee.com
- Msc. Edwin Guamán Narváez - Instituto Superior Universitario Central Técnico - Quito-Ecuador. ORCID: 0000-0002-6305-6242. Correo: eguaman@istct.edu.ec

EDITORES TÉCNICOS

- Msc. José Andrés Beltrán Ruiz - Coordinador Editorial - Instituto Superior Universitario Central Técnico - Ecuador
- Msc. Wilson Sebastián Lozada Calle - Revisor Experto - Instituto Superior Universitario Central Técnico - Ecuador
- Msc. Grace Elizabeth Manobanda Jimenez - Revisor Experto - Tecnológico Internacional Universitario ITI, Ecuador

EDITORES DE PRODUCCIÓN

- Msc. Hilda Jacqueline Montesdeoca Orozco - Diagramadora - Instituto Superior Universitario Central Técnico.

Aprobada mediante Resolución ROCS-SO-012-No.014--2020, en la Décimo Segunda Sesión Ordinaria del Órgano Colegiado Superior, a los ocho (08) días del mes de diciembre de 2020.

INVESTIGACIÓN

TECNOLÓGICA IST CENTRAL TÉCNICO

La aventura de descubrir



Junio 2026

Nota Editorial

Nos complace presentar el Volumen 8, Número 1 (2026) de la revista institucional de Investigación Tecnológica IST Central Técnico, una edición que consolida el esfuerzo de investigadores comprometidos con el desarrollo de soluciones tecnológicas aplicadas, la eficiencia de los recursos y el bienestar social. Los artículos que integran este número reflejan una sinergia crucial entre la ingeniería, la gestión estratégica y la responsabilidad ambiental, abordando desafíos contemporáneos desde enfoques prácticos y rigurosos.

En esta entrega, la producción científica se articula firmemente alrededor de tres ejes fundamentales:

En primer lugar, la transición energética y la movilidad sostenible ocupan un espacio prioritario. Diversas investigaciones de este número evalúan el impacto, la viabilidad y los marcos normativos de las energías limpias —con especial énfasis en la tecnología solar fotovoltaica y los sistemas de almacenamiento energético—, al tiempo que analizan de manera crítica el panorama actual de los combustibles y las brechas tecnológicas existentes para la inserción efectiva de la electromovilidad y el reciclaje técnico.

En segundo lugar, la optimización y automatización de procesos industriales demuestra el avance de la manufactura moderna y el mantenimiento predictivo. A través de propuestas que van desde el diseño de maquinaria automatizada y sistemas de control de coordenadas de precisión, hasta el análisis de datos mediante termografía para la detección temprana de fallas mecánicas, los autores aportan soluciones tangibles para mejorar la eficiencia y la distribución logística en las líneas de producción actuales.

Finalmente, se destacan en esta edición las propuestas de diseño asistido y automatización enfocadas en la inclusión social y la optimización de la autonomía para personas con discapacidad física, demostrando cómo la ingeniería de precisión puede resolver necesidades humanas críticas.

Invitamos a nuestra comunidad académica, estudiantes y profesionales del sector técnico e industrial a explorar estas páginas, confiando en que cada artículo constituirá una fuente de inspiración, debate y base para futuras innovaciones científicas.

Equipo Editorial
Revista de Investigación Tecnológica IST Central Técnico

INVESTIGACIÓN

TECNOLÓGICA IST CENTRAL TÉCNICO

ÍNDICE

Estudio de las brechas tecnológicas hacia una inserción sostenible de vehículos eléctricos.	7
Análisis comparativo del octanaje de gasolinas Extra y Súper en estaciones de Quito.	20
Validación de la configuración eléctrica de un banco de baterías de níquel-metal hidruro (NiMH) reacondicionadas en un sistema fotovoltaico autónomo para alimentación energética a un taller automotriz.	32
Evaluación del tratamiento contable bajo la NIC 16 y su impacto en proyectos de generación fotovoltaica para la optimización energética industrial.	51
Seguimiento de la Tecnificación del Reciclaje de PET en Instituciones Educativas.	70
Análisis comparativo basado en el estudio de datos mediante cámaras termográficas para detectar fallas existentes en una máquina a medir.	82
Diseño y construcción de una máquina cortadora por plasma con sistema automático para destajes "boca de pez" en tubos redondos.	95
Silla de ruedas de tres llantas para la optimización arquitectónica en personas con discapacidad física.	106
Prototipo 3D automatizado para la distribución eficiente de insumos desde bodega hacia líneas de producción.	118
Desarrollo e implementación de un sistema de dispensación automática de medicamentos basado en ventosas de precisión y control de coordenadas XY.	134

Study of technological gaps towards a sustainable insertion of electric vehicles

Estudio de las brechas tecnológicas hacia una inserción sostenible de vehículos eléctricos.

Christian Patricio Cabascango-Camuendo^{1[0000-0002-4927-0832]}, Ana Teresa Berrios-Rivas^{2[0000-0002-0101-176X]}

¹ *Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano, Quito, Ecuador*
E-mail: ccabascango@istte.edu.ec

² *Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano, Quito, Ecuador*
E-mail: aberrios@istte.edu.ec

Recibido: 12/01/2026

Aceptado: 17/04/2026

Publicado: 30/06/2026

RESUMEN

La integración masiva de vehículos eléctricos (VE) tensiona las redes de distribución, diseñadas para flujo unidireccional, causando caídas de tensión, desbalances y degradación de la calidad de la energía (aumento de SAIFI y THD). Paralelamente, la ansiedad por la autonomía limita la adopción, debido a la gestión ineficiente de la energía a bordo y a la falta de sistemas de monitorización en tiempo real. El análisis se basa en una revisión sistemática de literatura técnica para identificar los desafíos interconectados. Examinando el impacto de la carga de VE en la estabilidad de red y los criterios para la ubicación óptima de estaciones, la arquitectura de cargadores (PFC + DC-DC) y estrategias de carga (CC-CV) para la eficiencia y seguridad de las baterías. las tecnologías del vehículo (telemetría de alta frecuencia, frenado regenerativo, algoritmos de estimación de SOC/SOH) para optimizar la autonomía. La solución requiere un enfoque de sistema dual. En la infraestructura, se necesita una planificación de red activa con ubicación óptima de carga y capacidades de gestión bidireccional para mitigar impactos. En el vehículo, es crucial integrar sistemas de gestión de energía en tiempo real, algoritmos de diagnóstico de batería y recuperación de energía. Solo esta coordinación técnica garantizará una transición sostenible, asegurando simultáneamente la estabilidad de la red y una autonomía confiable para el usuario.

Palabras clave: Vehículo eléctrico; Recuperación de energía; freno regenerativo; autonomía; batería

ABSTRACT

The massive integration of electric vehicles (EV) stresses distribution networks, designed for unidirectional flow, causing voltage drops, imbalances and degradation of power quality (increase in SAIFI and THD). In parallel, range anxiety limits adoption, due to inefficient onboard energy management and the lack of real-time monitoring systems. The analysis is based on a systematic review of technical literature to identify interconnected challenges. Examining the impact of EV charging on grid stability and criteria for optimal station placement, charger architecture (PFC + DC-DC) and charging strategies (CC-CV) for battery efficiency and safety. vehicle technologies (high frequency telemetry, regenerative braking, SOC/SOH estimation algorithms) to optimize range. The solution requires a dual system approach. In infrastructure, active network planning with optimal load placement and bidirectional management capabilities is needed to mitigate impacts. In the vehicle, it is crucial to integrate real-time energy management systems, battery diagnostic algorithms and energy recovery. Only this technical coordination will guarantee a sustainable transition, simultaneously ensuring network stability and reliable autonomy for the user.

Index terms: electric vehicle; energy recovery; regenerative brake; autonomy

1. INTRODUCCIÓN.

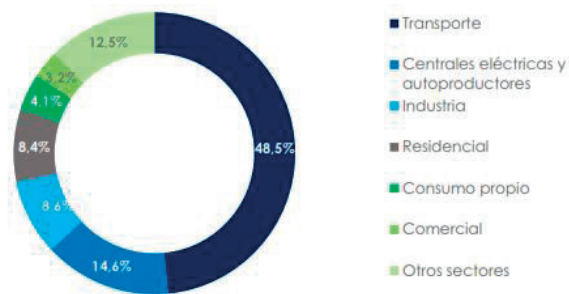
La temperatura mundial en el siglo XXI es aproximadamente 1 °C superior al promedio del período 1850-1900, lo que implica un calentamiento sin precedentes en los últimos 2000 años (IPCC, 2021), Esto trae consigo el aumento de los eventos climáticos extremos como ondas de calor, tormentas y sequías, que afectan la seguridad alimentaria e hídrica. En vista de este panorama alrededor de 194 países se han comprometido en cumplir los objetivos del Acuerdo de París (Capítulo 5) y evitar daños irreversibles en el medio ambiente y los ecosistemas internacionales, reiterando que es necesario transformar el mix energético mundial, dejando atrás los combustibles fósiles y adoptando las energías renovables, previendo que, para mediados de siglo, las emisiones deberán reducirse entre un 75% y un 98%, lo que implica que la economía mundial deberá ser prácticamente neutral en emisiones de carbono en ese momento (IPCC, 2022). En la búsqueda de alcanzar emisiones netas cero en 2050 es necesario hacer cambios rápidos y profundos en el sistema energético y el sistema alimentario, la movilidad, las técnicas de producción industrial y la conservación de la naturaleza (CEPAL, 2020)

Ecuador como parte de los países que firmaron el acuerdo de París, inicia con el impulso de políticas públicas, que proporcionen una línea de desarrollo sostenible en pos de reducir la emisión de gases contaminantes, por ello, cuenta con una Estrategia Nacional de Cambio Climático 2012-2025, un Plan Nacional de Transición hacia la Descarbonización (2021) que define una hoja de ruta sectorial (OECD, 2022), el Plan Nacional de Eficiencia Energética 2016-2035, y la Estrategia Nacional de Electromovilidad para Ecuador (2021) desarrollada en conjunto con el Banco Interamericano de Desarrollo BID, cada iniciativa, tiene como finalidad la contribución a la descarbonización y la sostenibilidad del transporte terrestre en el Ecuador desde el punto de

vista ambiental, social y económico, convirtiéndose en el instrumento que estructura la política y acciones a nivel nacional y local, que se encuentran dirigidas a promover la adopción de la electromovilidad (BID, 2021).

Figura 1.

Emisiones del sector energía



Nota. BID, (2021, p. 1)

La estrategia de electromovilidad que proponía el sector gubernamental para el país, presentaba un panorama prometedor, y apuntaba a que la electromovilidad a más de ser beneficiosa para el medio ambiente, ésta ocupe un rol importante en la recuperación económica post-covid, mediante la creación de empleos en toda la cadena de producción, mantenimiento, carga y operación de los vehículos eléctricos.

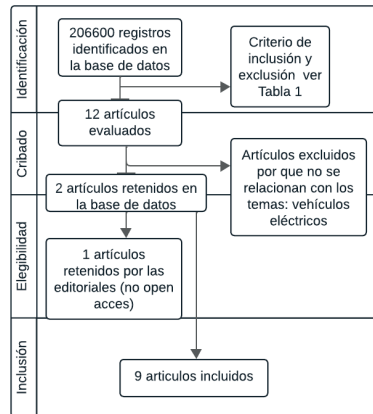
La investigación se encuentra enfocada en revisar el proceso de transición a seguir para la adopción de la electromovilidad, sin embargo, los estudios realizados en este ámbito parten desde el análisis del vehículo eléctrico; la recuperación de energía; los sistemas de freno regenerativo; la autonomía del vehículo y la infraestructura para los puntos de carga de las batería, cabe mencionar que el estudio se enfoca de manera local, sin embargo, el número reducido de investigaciones en este ámbito dificultan caracterizarlo de manera puntual, es por ello, que también se consideraron estudios realizados por otros países de la región y, de esta manera ampliar la visión.

2. MATERIALES Y MÉTODOS / DESARROLLO

La investigación parte de una revisión bibliográfica sobre estudios realizados en el ámbito de la electromovilidad, para ello, las bases de datos consultadas son Scopus y MDPI, para iniciar con la búsqueda se aplica la palabra electric vehicle generando un total de 209600 resultados, los cuales, ingresan al proceso de revisión sistemática bajo el método PRISMA 2009, mediante el cual, no solo se recaba información de los documentos, sino, permite realizar un análisis detallado de los resultados de estudios sobre el área de investigación (Page et al, 2021). La figura 1 detalla el proceso del método aplicado.

Figura 2.

Proceso sistemático de revisión bibliográfica



Nota. Autores, (2025). Diagrama del proceso del proceso de selección de los estudios sobre vehículos eléctricos en la base de datos Scopus

La búsqueda en Scopus generó 209600 resultados, mismos que debieron ser refinados, iniciando por el periodo que fue de 2020-2025, generando 110852 documentos. La tabla 1 detalla los criterios de inclusión y exclusión aplicados para la selección de las investigaciones

Tabla 1.

Criterios de inclusión y exclusión

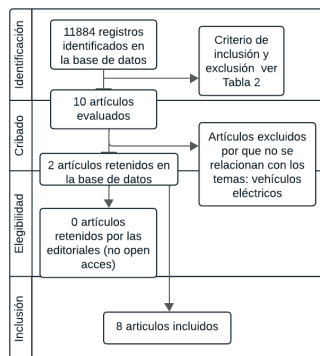
Criterios	Inclusión	Exclusión	Cantidad
Periodo	Artículos publicados de 2020 a 2025.	Publicaciones anteriores a 2020	110852 documentos
Área de estudio	Ingeniería	Todas	79964 documentos
Idioma	Artículos en inglés y español	Artículos en otros idiomas	79964 documentos
Keywords	Electric Vehicle, Electric Vehicles, Electric Vehicles (ev)	Todas	21 documentos
Países	Colombia Argentina, Ecuador y México	Todas	17 documentos
Source type	Artículo	Libros, reportajes, conferencias y reportes de caso	12 documentos
Acceso	Open acces	Gold, platino, oro, bronce	12 documentos

Nota. Autores, (2025)

El mismo proceso fue aplicado a la base de datos MDPI, la cual, se presenta en la figura 2

Figura 3.

Proceso sistemático de revisión bibliográfica



Nota. Autores, (2025). Diagrama del proceso del proceso de selección de los estudios sobre vehículos eléctricos en la base de datos MDPI

La tabla 2 describe los criterios aplicados al proceso de selección de los artículos que ingresan en la revisión bibliográfica

Tabla 2.

Criterios de inclusión y exclusión

Criterios	Inclusión	Exclusión	Cantidad
Periodo	Artículos publicados de 2020 a 2025	Publicaciones anteriores a 2020	11884
Subjects	Engineering	Todas	139 documentos
Journal	Vehicles	Todas	139 documentos
Article type	Articulo	Libros, reportajes, conferencias y reportes de caso	124 documentos
Countries	Colombia, Brasil, México y Uruguay	Todas	10 documentos

Los artículos seleccionados fueron procesados en el programa Atlas-ti, con la finalidad de analizar las tendencias investigativas generadas alrededor del vehículo eléctrico, para ello, se definieron los siguientes nodos, baterías, control de corriente y tensión, freno regenerativo, vehículo eléctrico.

Los nodos fueron definidos en base a una revisión previa de los resúmenes en los documentos encontrados en las bases de datos mencionadas, posterior se presentan los resultados de las tendencias investigativas en una tabla y mediante un diagrama Sankey que relaciona los estudios teóricos que se presentan.

3. RESULTADOS

El análisis de los estudios acerca de electromovilidad en las bases de datos consultadas, generaron una distribución de temáticas, mismas que fueron utilizados en este estudio como nodos, para determinar la coocurrencia que se generaron alrededor del tema. El nodo vehículos eléctricos se encuentra de color azul, el control corriente de tensión de color tomate, las baterías de color morado y freno regenerativo de color gris como se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 3.

Distribución de coocurrencias

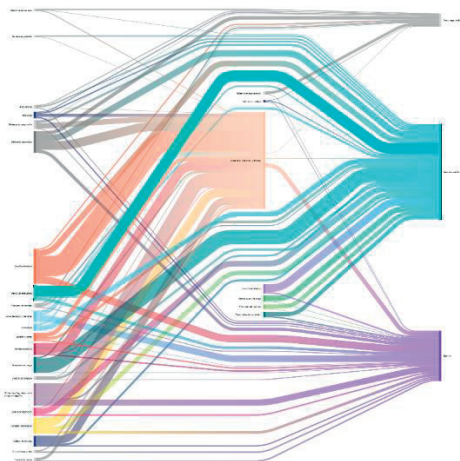
Áreas de investigación	● Baterías Gr=67	● Control de Corriente y Tensión Gr=98	○ Freno regenerativo Gr=29	● Vehículos eléctricos Gr=105
○ Área urbana	2	1	2	4
● Calidad de energía Gr=46	3	20	0	5
● Cargador de baterías Gr=43	7	23	0	12
● Ciclos de carga y descarga Gr=32	17	6	1	5
○ Consumo de energía Gr=26	2	1	4	4
● Contaminación ambiental Gr=23	3	0	0	10
● Control de Corriente y Tensión Gr=98	11	0	1	3
● Costos de operación Gr=50	4	2	0	15
● Demanda energética Gr=78	7	3	1	28
● Desafíos técnicos Gr=136	19	54	3	15
● Eficiencia energética Gr=96	8	23	9	17
● Eficiencia y Seguridad en la Carga de Baterías Gr=83	16	38	0	5
● Emisiones de carbono Gr=21	1	0	0	11
○ Energías renovables Gr=34	2	2	0	6
● Estaciones de carga Gr=73	1	4	0	38
● Infraestructura de carga Gr=34	1	0	0	15
● Movilidad eléctrica Gr=40	4	0	0	20
○ Proceso de carga Gr=7	4	7	0	0

○ Sistema de regeneración Gr=10	1	0	7	0
● Sistemas actuales Gr=50	4	25	0	2
○ Sistemas de propulsión Gr=24	2	14	1	6
○ Telemetría de carreras Gr=17	0	2	2	1
○ Tendencias globales Gr=8	0	1	0	4
● Tensión y carga Gr=28	4	11	0	7
● Transporte Gr=23	1	5	0	13
○ Validación de datos Gr=14	4	3	0	0
● Vehículos híbridos Gr=3	1	0	1	2
● Velocidad Gr=28	3	8	2	3

La distribución de colores es asignada por defecto del programa Atlas-ti, representa los nodos principales que se encuentran los estudios referentes a la electromovilidad. La relación

Figura 4.

Distribución de coocurrencias en el estudio de electromovilidad



Nota. Autores, (2025). Aplicación de diagrama de Sankey para la distribución de los nodos y correlaciones de temáticas alrededor de la electromovilidad

El diagrama presenta 4 grandes tendencias que previamente fueron identificadas en la revisión de los resúmenes, sin embargo, como se puede observar sus coocurrencias se encuentran interconectadas algunas con mayor presencia en comparación con otras lo que será presentado en el siguiente apartado.

4. DISCUSIÓN

Los resultados de la revisión bibliográfica realizada, genera 4 tendencias de estudios que serán analizadas a partir de preguntas de investigación que han sido planteadas en base a los nodos de las coocurrencias arrojadas por el análisis realizado en el procesamiento de los datos.

¿Cuál es el enfoque para el control de corriente y tensión en el proceso de carga de los vehículos eléctricos?

Se observa que la penetración de VE puede provocar caídas significativas en la tensión nominal en las barras colectoras de la red, lo que puede afectar la estabilidad del sistema. Esto se debe a la desigualdad en la magnitud o los ángulos de fase de las tensiones en redes trifásicas, lo que puede resultar en un desequilibrio de corriente (Robles, Saldarriaga y Zuluaga, 2025).

En los últimos años, ha habido un incremento significativo en la demanda de energía tanto a nivel industrial como residencial. Esto ha llevado a los operadores de red a aumentar sus inversiones en infraestructura y potencia firme, lo que plantea desafíos en la planificación y operación de la red eléctrica. Sin embargo, en cuanto al nodo de control de corriente y tensión, los estudios se encuentran enfocados desde la eficiencia y seguridad de la carga de las baterías, debido a la necesidad de cargarlas de manera eficiente y segura, ya que es un punto fundamental para preservar su vida útil y la confiabilidad del sistema. Esto implica que los métodos de carga deben ser optimizados para evitar daños a las baterías, lo que representa un desafío técnico significativo (Serra y De Angelo, 2021), Además, se enfatiza desde la visión de control de corriente y tensión por el hecho de controlar adecuadamente la corriente y la tensión durante la carga. Esto es necesario para garantizar una recarga segura y eficiente, lo que añade otra capa de complejidad al diseño del sistema de carga (Serra y De Angelo, 2021).

Que, inicialmente en el estudio realizado por Paipa et al (2018) propone que el cargador de baterías debe incluir al menos una etapa de corrección del factor de potencia (PFC) y otra de conversión DC-DC. Debido a que esto no solo mejora la eficiencia del sistema, sino que también permite un control más preciso de las variables operativas, facilitando la carga de las baterías mediante métodos como el de corriente constante-tensión constante. Adicional dentro de este apartado también un elemento de estudio es la distribución incorrecta de las estaciones de carga, lo cual, puede afectar negativamente la calidad de la energía, aumentando parámetros como la frecuencia de interrupción promedio del sistema (SAIFI) y la distorsión armónica total (THD). Que pueden resultar en interrupciones más frecuentes y riesgos de daños a los equipos eléctricos (Lara, Gallego, García, León, Cuaresma y Muñoz, 2025)

¿Cuál es la tendencia que prevalece en la inserción de Vehículos eléctricos?

En los últimos años, los VE han emergido como una alternativa viable a los vehículos de combustión interna, lo que ha generado la necesidad de mejorar su rendimiento y eficiencia (Valdivieso, Galluzzi, Tramacere, Cerpi y Castellanos, 2025) La creciente transición global hacia

los vehículos eléctricos y la búsqueda de una movilidad sostenible han generado una mayor necesidad de sistemas de monitorización y telemetría en tiempo real. Esto debido a que los Sistemas Inteligentes de Transporte (ITS) requieren tecnologías que sean escalables y energéticamente eficientes para la adquisición de datos en tiempo real (Pérez, Villa, Gómez, Velázquez, Romero y Jaramillo, 2025)

Sin embargo, el hablar de vehículos eléctricos no solo es centrarse en la conducción o funcionamiento, más bien, en los últimos años las investigaciones se encuentran enfocadas en cómo las diferentes condiciones de conducción afectan el comportamiento del sistema híbrido y la eficiencia general, ya que, es un punto crucial para comprender el rendimiento y las necesidad del nuevo vehículo en pos de mejorar el rendimiento energético en escenarios urbanos, donde las demandas de arranques y paradas son frecuentes (Martinez, Bibiloni, Rivoir, Irimescu y Merola, 2025). De la misma manera un respaldo de la red de distribución eléctrica es un punto crítico que se evidencia en la revisión realizada, sobre todo, porque si se aborda a la carga de energía desde el flujo unidireccional, esto limita la capacidad del vehículo para adaptarse a las nuevas demandas y fuentes de energía. Tal como lo menciona el estudio realizado por Nitola et al (2021), quien menciona que esta unidireccionalidad requiere que los operadores realicen estudios frecuentes para garantizar un suministro continuo de energía, llevándolo a ser restrictivo, es decir, limitar la conducción a ciertos puntos de parada y por áreas preestablecidas.

Este comportamiento ha generado una demanda de energía que se suma a las demandas ya existentes del sector industrial y residencial, lo cual, ha llevado a los operadores de red a incrementar sus inversiones en infraestructura y potencia firme, planteando desafíos en la planificación y operación de la red eléctrica (Costa y Melián, 2023), a pesar de estas iniciativas la red de distribución eléctrica fue diseñada para un flujo unidireccional de energía, lo que limita su capacidad para adaptarse a las nuevas demandas y fuentes de energía, es decir, la investigación sobre la ubicación óptima de estaciones de carga para vehículos eléctricos en redes de distribución son el desafío que se presenta como tendencia investigativa (Lara, Gallego, García, León, Cuaresma y Muñoz, 2025). Desde la investigación realizada por Robles et al (2025) se puede observar que, a pesar de los beneficios potenciales de los VE, su integración en las redes de distribución activa presenta numerosos desafíos. Estos incluyen el aumento del consumo eléctrico, la degradación del perfil de voltaje y la evaluación de la capacidad de alojamiento para la integración de VE en las redes, lo cual, nos lleva al análisis de la ultima tendencia investigativa que es el tipo de batería que se emplea y como los sistemas aledaños a él mejoran la autonomía energética.

¿Qué sucede con las baterías de los vehículos eléctricos?

La autonomía es un aspecto crítico para los consumidores al elegir un vehículo. Se señala que la distancia máxima que un vehículo puede recorrer con una sola carga es un parámetro fundamental, lo que ha llevado a la necesidad de desarrollar sistemas que permitan la recarga de baterías mientras el vehículo está en movimiento, sin depender de puntos de carga fijos (Monroy, Siachoque, Durán y Marulanda, 2020). Es por ello que una de las principales preocupaciones por

parte del usuario para la aceptación y uso masivo de los VE es su autonomía de manejo limitada. Este factor es crucial, ya que afecta la percepción del consumidor sobre la viabilidad de los VE en comparación con los vehículos convencionales de combustión interna (Valladolid, Calle y Guiracocha, 2023)

Además, se han identificado en el mercado que los dispositivos de rastreo de vehículos no permiten registrar ni acceder a datos de velocidad y consumo energético con la frecuencia de muestreo requerida. Esto limita la capacidad de análisis y optimización del rendimiento de los vehículos (Quirama, Giraldo, Mejia y Tibaquirá, 2025). Lo cual, es una desventaja frente a los vehículos de combustión, ya que, el rastreo permite conocer segundo a segundo el comportamiento del vehículo y, esto combinado con los sistemas de freno regenerativo que utilizan los VE pueden alargar la autonomía del automóvil, ya que, la capacidad de recuperar parte de la energía perdida durante el proceso de frenado no solo ayuda a mejorar la eficiencia energética, sino que también contribuye a aumentar la autonomía del vehículo (Valladolid, Calle y Guiracocha, 2023), adicional, el estudio realizado por Hidalgo (2021) menciona que también la implementación de un método de velocidad diferencial es crucial para la maniobrabilidad de los vehículos eléctricos. Este aspecto técnico resalta la complejidad del control de estos vehículos y la necesidad de desarrollar un esquema de control robusto que garantice su estabilidad y rendimiento

Las investigaciones están enfocadas a incorporar sistemas auxiliares que permitan no solo un manejo amigable, sino que buscan alternativas para aumentar de manera progresiva la autonomía de las baterías utilizadas en los VE, ya que, la batería es un componente crítico en estos automóviles, y su monitoreo preciso es esencial para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente. Lo cual, no solo conlleva a la incorporación de sistemas sino, la inclusión de tecnologías basadas en algoritmos que puedan estimar con precisión el estado de carga (SOC) de las baterías, lo que es fundamental para la operatividad de los vehículos eléctricos (Martínez, Rosado y Bañuelos, 2024). Como se puede observar un VE no solo tiene la necesidad de auxilio en el manejo, que es un punto importante sino, que el garantizar una vida útil de sus componentes es el desafío presente y, las baterías son uno de esos puntos, ya que, si la autonomía disminuye ya no es viable su uso en un VE, por ende, su desecho será inevitable. Sin embargo, en el estudio Deonei et al (2024) determinaron que las baterías retiradas son esenciales para la movilidad eléctrica, pero su estado de salud (SOH) debe ser superior al 80% para ser efectivas en aplicaciones de alta demanda, como automóviles eléctricos. Esto plantea un desafío significativo, ya que muchas baterías no alcanzan este umbral después de su uso inicial, pero pueden ser utilizadas en ámbitos relacionados con la electromovilidad y ya no precisamente en VE.

5. CONCLUSIONES

El análisis presentado identifica que la penetración masiva de vehículos eléctricos (VE) representa un desafío multifactorial para la estabilidad y calidad de las redes de distribución eléctrica. Técnicamente, se destaca que la carga no coordinada de VE puede provocar caídas de tensión

significativas y desbalances en fases, comprometiendo la estabilidad del sistema debido a la desigualdad en magnitud o ángulos de fase. Adicionalmente, una distribución incorrecta de estaciones de carga exacerba estos problemas, incrementando índices de confiabilidad como el SAIFI y degradando la calidad de la energía con una mayor distorsión armónica total (THD).

Desde el punto de vista del control de la carga, el desafío se centra en la gestión eficiente y segura de las baterías. Se requiere una arquitectura de cargador que integre, como mínimo, una etapa de corrección del factor de potencia (PFC) y una de conversión DC-DC. Esta configuración es esencial no solo para optimizar la eficiencia, sino para permitir estrategias de carga precisas (como CC-CV) que preserven la vida útil de la batería y aseguren la confiabilidad del sistema.

Los vehículos eléctricos (VE) en la red de distribución identifica un desafío sistémico que abarca desde el vehículo hasta la infraestructura de potencia. Se constata que el núcleo del problema es la incompatibilidad operativa entre la naturaleza dinámica y bidireccional de la energía en los VE y la arquitectura tradicional de las redes, diseñadas para un flujo unidireccional y pasivo. Esta discordancia genera impactos críticos: aumento del consumo eléctrico agregado, degradación del perfil de voltaje y limitaciones en la capacidad de alojamiento de la red.

Técnicamente, la solución requiere una evolución en múltiples capas. En el nivel del vehículo, la investigación se orienta a optimizar el rendimiento de sistemas híbridos y baterías bajo condiciones reales de conducción (ciclos urbanos con frecuentes arranques/paradas), así como a implementar sistemas avanzados de telemetría y monitorización para una gestión energética en tiempo real. En el nivel de infraestructura, el principal desafío de ingeniería es la ubicación óptima de estaciones de carga, un problema de planificación que debe minimizar los impactos en la calidad del servicio (SAIFI, THD) y maximizar la resiliencia de la red.

El desafío central para la adopción masiva del vehículo eléctrico (VE) no es únicamente la autonomía nominal de la batería, sino la gestión integral y en tiempo real de la energía a bordo. La limitada distancia por carga es un factor determinante para el usuario, pero su solución no reside solo en aumentar la densidad energética de las baterías. Técnicamente, se requiere un enfoque sistémico que combine la optimización del consumo con la recuperación y el diagnóstico preciso del estado del sistema de almacenamiento.

Se identifican tres pilares tecnológicos clave para abordar este problema. Primero, la implementación de sistemas de telemetría de alta frecuencia que permitan monitorear velocidad y consumo energético en tiempo real es fundamental para optimizar algoritmos de eficiencia. Segundo, tecnologías de frenado regenerativo avanzado y esquemas de control robusto de velocidad diferencial son esenciales para maximizar la recuperación de energía y la estabilidad dinámica, impactando directamente la autonomía útil. Tercero, el desarrollo de algoritmos precisos de estimación del Estado de Carga (SOC) y Estado de Salud (SOH) es crítico para garantizar un funcionamiento seguro, predecible y para extender la vida útil de la batería.

El incrementar la autonomía efectiva es un problema de ingeniería de sistemas de control y

gestión de datos. La viabilidad técnica del VE depende de la integración sinérgica de estos subsistemas telemetría, recuperación de energía y diagnóstico de batería para maximizar la eficiencia de cada kilovatio/hora almacenada, mitigando la ansiedad de rango del usuario. Adicionalmente, la consideración del SOH abre la puerta a modelos de economía circular, donde baterías con menos del 80% de salud pueden reutilizarse en aplicaciones de segunda vida, optimizando el ciclo de vida completo del recurso más crítico del vehículo eléctrico.

6. REFERENCIAS

- Banco Interamericano de Desarrollo (BID) (2021). Estrategia nacional de electromovilidad para Ecuador
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). Estudio Económico de América Latina y el Caribe, 2020 (LC/PUB.2020/12-P), Santiago.
- Costa, D. D., & Cobas, V. R. (2023). Electric Vehicles Charged with Solar-PV: A Brazilian Case Study for 2030. *Vehicles*, 5(4), 1743-1759. <https://doi.org/10.3390/vehicles5040095>
- Deonei-Gotz, J., Galvão, J. R., Corrêa, F. C., Badin, A. A., Siqueira, H. V., Viana, E. R., Converti, A., & Borsato, M. (2024). Random Forest-Based Grouping for Accurate SOH Estimation in Second-Life Batteries. *Vehicles*, 6(2), 799-813. <https://doi.org/10.3390/vehicles6020038>
- Eckert, J. J., Santiciolli, F. M., Silva, L. C., Corrêa, F. C., & Dedini, F. G. (2020). Design of an Aftermarket Hybridization Kit: Reducing Costs and Emissions Considering a Local Driving Cycle. *Vehicles*, 2(1), 210-235. <https://doi.org/10.3390/vehicles2010012>
- IPCC (2021), Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge/New York, <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) (2022), Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, P. R. Shukla y otros (eds.), Cambridge, Cambridge University Press.
- Martinez-Boggio, S., Bibiloni, S., Rivoir, F., Irimescu, A., & Merola, S. (2025). Mitigating Power Deficits in Lean-Burn Hydrogen Engines with Mild Hybrid Support for Urban Vehicles. *Vehicles*, 7(3), 88. <https://doi.org/10.3390/vehicles7030088>
- Monroy, C. C., Siachoque, C. A., Durán-Tovar, I. C. y Marulanda-Guerra, A. R. (2020). Comparative Study of Regenerative Braking System and Regeneration with Constant Kinetic Energy in Battery-based Electric Vehicles, *Ingeniería*, 25,(3),305-322, DOI:<https://doi.org/10.14483/23448393.16620>
- Nitola, A., Marin, J., & Rivera, S. (2021). Scheduling of a Microgrid with High Penetration of Electric Vehicles Considering Congestion and Operations Costs. *Vehicles*, 3(3), 578-594. <https://doi.org/10.3390/vehicles3030035>
- OECD et al. (2022), Perspectivas económicas de América Latina 2022: Hacia una transición verde

y justa, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/f2f0c189-es>.

- Pérez-González, A., Villa-Salazar, A. F., Gomez-Miranda, I. N., Velásquez-Gómez, J. D., Romero-Maya, A. F., & Jaramillo-Duque, Á. (2025). An IoV-Based Real-Time Telemetry and Monitoring System for Electric Racing Vehicles: Design, Implementation, and Field Validation. *Vehicles*, 7(4), 128. <https://doi.org/10.3390/vehicles7040128>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Alonso-Fernández, S. (2021). Declaración PRISMA 2020: Una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española de Cardiología*, 74(9), 790-799. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2021.06.016>
- Robles-Lozano, G., Saldarriaga-Zuluaga, S.D., Zuluaga-Ríos, C. D. (2025). Performance assessment and impact of electric vehicles penetration in active distribution grids, *Revista Facultad de Ingeniería*, <https://www.doi.org/10.17533/udea.redin.20240724>
- Serra, F. M. y De Ángelo, C. H. (2021). Control de un cargador de baterías para vehículos eléctricos con factor de potencia unitario. *TESEA*, 1(2), 33-44, DOI: 10.32397/tesea.vol2.n1.3
- Valdivieso-Soto, A., Galluzzi, R., Tramacere, E., Cespi, R., & Castellanos Molina, L. M. (2025). Lyapunov-Based Pitch Control for Electric Vehicles Using In-Wheel Motors. *Vehicles*, 7(2), 37. <https://doi.org/10.3390/vehicles7020037>

Análisis comparativo del octanaje de gasolinas Extra y Súper en estaciones de Quito

Comparative Analysis of the Octane Rating of Extra and Super Gasoline at Stations in Quito

José Andrés Beltrán Ruiz ¹[0000-0003-2394-0815], Edwin Rolando Guamán Narváez ²[0000-0002-6305-6242],
Christian Daniel Vazco Silva ³[0000-0002-0726-2578], Edison Patricio Usiña Tirira ⁴[0009-0007-0336-2508]

¹ Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador
E-mail: jbeltran@istct.edu.ec

² Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador
E-mail: eguaman@istct.edu.ec

³ Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador
E-mail: cvazco@istct.edu.ec

⁴ Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador
E-mail: edusina@istct.edu.ec

Recibido: 06/03/2026

Aceptado: 08/04/2026

Publicado: 30/06/2026

RESUMEN

La calidad del combustible es fundamental para garantizar el rendimiento eficiente de los motores de combustión interna modernos, especialmente en ciudades de altura como Quito que se encuentra a 2850 metros sobre el nivel del mar, donde las condiciones atmosféricas afectan la combustión. En Ecuador se comercializan gasolinas Extra (85 octanos aproximadamente) y Súper (92-95 octanos), la presente investigación busca determinar si existen variaciones significativas en el número de octanos entre diferentes estaciones de servicio. Se recolectaron muestras de gasolina Extra y Súper en diversas estaciones ubicadas en sectores geográficamente distribuidos de Quito, realizando tres mediciones independientes por muestra utilizando medidores de octanaje digital calibrado, obteniendo promedios representativos. Los resultados revelan los combustibles si cumplen con la normativa ecuatoriana, incluso se puede determinar que se excede el valor mínimo requerido en el índice de octanos ya que en el caso de la gasolina extra es de 87 y en el caso de la gasolina supes es de 92. Estos hallazgos evidencian que existe variabilidad en la calidad del combustible disponible al consumidor, independientemente de los estándares normativos establecidos.

Palabras clave: Aditivos combustibles, Análisis comparativo, Combustibles, Control de calidad, Gasolinas, Octanaje

ABSTRACT

The quality of fuel is essential to ensure the efficient performance of modern internal combustion engines, especially in high-altitude cities such as Quito, located at 2,850 meters above sea level, where atmospheric conditions affect combustion. In Ecuador, Extra (approximately 85 octane) and Súper (92–95 octane) gasolines are marketed. This study aims to determine whether there are significant variations in octane number among different service stations. Samples of Extra and Súper gasoline were collected from various stations located in geographically distributed areas of Quito, and three independent measurements were performed per sample using calibrated digital octane meters to obtain representative averages. The results show that the fuels do comply with Ecuadorian regulations; moreover, the measured octane index exceeds the minimum required value. These findings indicate that there is variability in the fuel quality available to consumers, despite established regulatory standards.

Key words: Comparative analysis, Fuel additives, Fuels, Gasoline, Octane rating, Quality control

1. INTRODUCCIÓN.

La calidad del combustible constituye un factor determinante en el rendimiento de los motores de combustión interna, la eficiencia energética y la reducción de emisiones contaminantes atmosféricas (Tipanluisa et al., 2017). Debido a las crecientes exigencias ambientales y tecnológicas, las normativas actuales establecen parámetros mínimos de calidad para los combustibles utilizados en vehículos equipados con sistemas de inyección modernos. Entre estos parámetros, el índice de octanaje medido en unidades RON (Research Octane Number) representa una característica fundamental, ya que determina la capacidad del combustible para resistir la detonación espontánea dentro de los cilindros del motor. Este aspecto es especialmente relevante en motores turboalimentados, de alta compresión y con sistemas de inyección directa GDI (Gasoline Direct Injection), donde un combustible de bajo octanaje puede afectar el desempeño, la eficiencia y la durabilidad del motor (Chandi et al., 2025).

En Ecuador, el mercado de combustibles se caracteriza por la comercialización de dos principales tipos de gasolinas: Extra (con un octanaje aproximado de 85 RON) y Súper (con valores entre 92 y 95 RON), cuyas especificaciones están reguladas por la normativa nacional vigente establecida por organismos competentes (Benítez Salinas, 2024). Sin embargo, el presente estudio busca determinar si existe una brecha significativa entre los valores declarados por las estaciones de servicio y la calidad real del combustible ofrecido al consumidor final (Banco Central del Ecuador, 2024). Esta discrepancia afecta no solamente la experiencia del usuario, sino también la durabilidad del motor y la economía del combustible en vehículos particulares. Varios estudios han documentado que variaciones de apenas 2-3 unidades de octanaje pueden modificar significativamente el rendimiento del motor y aumentar el riesgo de detonación en especial en sistemas de inyección directa (Druet Rodríguez & Vera Castro, 2018). Por esta razón, la presente investigación buscó medir el número de octanaje que tienen los combustibles de diferentes gasolineras, y así determinar si existe relación entre lo que la normativa ecuatoriana determina

y el valor real encontrado, en la tabla 1 se puede apreciar los valores de octanaje que tienen los combustibles en Ecuador.

Tabla 1.

Valores de octanaje de las gasolinas en Ecuador

Tipo de gasolina Octanaje (RON) declarado	
Extra	85 octanos (propuesto aumento a 87)
Ecopaís	85 octanos (propuesto aumento a 87)
Súper	92 octanos (algunas fuentes indican 95 octanos para “premium”)

En ciudades de altura como Quito (2.850 metros sobre el nivel del mar), las condiciones atmosféricas específicas generan particularidades en el comportamiento del combustible que afectan los procesos de combustión en los motores de manera diferente a ciudades a nivel del mar (Rocha-Hoyos et al., 2018). La presión atmosférica reducida en la capital ecuatoriana implica que el aire disponible para la combustión sea menos denso, lo que influye en la relación aire-combustible y, consecuentemente, en la necesidad de combustibles de mayor octanaje para evitar detonación espontánea. Esta situación es particularmente crítica para vehículos con sistemas turboalimentados o con tecnología de inyección directa que requieren combustibles de mayor octanaje para evitar daños en el motor (Ojeda Vivanco, 2023).

A nivel mundial, diversos estudios han documentado variaciones en la calidad de combustibles entre diferentes estaciones de servicio, incluso en países con sistemas de control regulatorio más rigurosos. Según la Organización de Países Exportadores de Petróleo (2019), existen estándares internacionales de calidad de gasolinas; sin embargo, su aplicación varía significativamente según las regiones. En Norteamérica, investigaciones realizadas por organismos de protección ambiental han identificado que aproximadamente el 15-20% de las gasolineras no cumplen estrictamente con los estándares de octanaje establecidos. En Latinoamérica y específicamente en Ecuador, la información sobre la verificación del octanaje de gasolinas comercializadas es limitada, lo que genera incertidumbre en los consumidores respecto a si están adquiriendo el producto conforme a especificaciones. La falta de estudios sistemáticos en contextos locales representa una brecha importante en el conocimiento sobre la realidad del mercado de combustibles ecuatoriano (Manaces-Esaud, G. S., Molina-Mora, J. F., & Zambrano-Olvera, 2025). Adicionalmente, la efectividad de aditivos combustibles comerciales promovidos en el mercado local permanece sin evaluar de manera sistemática (Bustos González, 2025). Numerosos productos comerciales afirman mejorar el octanaje o potencia del combustible; sin embargo, estas afirmaciones carecen frecuentemente de respaldo científico verificable. Existen aditivos que mejoran la limpieza del sistema de inyección y otros que actúan como mejoradores de combustión, pero estos no incrementan necesariamente el número de octanos del combustible. Esta confusión comercial genera decisiones de compra basadas en información no verificada, lo cual, justifica la necesidad de realizar un estudio comparativo que ratifique la calidad del octanaje ofrecido por las principales marcas distribuidoras de combustible en Quito, identificando posibles variaciones y determinando si estas influyen en el rendimiento del motor y la experiencia del consumidor (Lozano Bajaña & Rodríguez Díaz, 2025). Además, es necesario

evaluar empíricamente la efectividad real de los aditivos comerciales disponibles en el mercado local. Un estudio de esta naturaleza proporcionaría información valiosa para tomadores de decisiones a nivel regulatorio y permitiría a los consumidores acceder a información confiable sobre la calidad del combustible que adquieren.

2. MATERIALES Y MÉTODOS / DESARROLLO

2.1 Diseño de la Investigación

El estudio empleó un diseño descriptivo-comparativo de corte transversal con enfoque cuantitativo, orientado a medir y comparar el octanaje de gasolinas Extra y Súper obtenidas en estaciones de servicio representativas del Distrito Metropolitano de Quito. La selección de las estaciones se realizó considerando que, según datos de la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE), la capital concentra entre el 40% y 50% de las ventas de vehículos livianos nuevos en el país (AEADE - Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador, 2026).

Para la recolección de muestras se establecieron criterios de inclusión y exclusión. Como criterios de inclusión se consideraron: estaciones de servicio ubicadas en diferentes sectores de Quito, disponibilidad de gasolina Extra y Súper al momento del muestreo, accesibilidad para la obtención de las muestras y participación voluntaria de los estudiantes encargados de la recolección según su lugar de residencia. Además, se buscó incluir distintas marcas y distribuidoras de combustible con el fin de obtener una muestra comparativa representativa. Como criterios de exclusión se descartaron estaciones que no disponían simultáneamente de ambos tipos de combustible, puntos de abastecimiento con restricciones para el muestreo, muestras contaminadas o almacenadas inadecuadamente, y estaciones repetidas dentro de un mismo sector geográfico.

Las muestras fueron recolectadas por estudiantes participantes de la investigación en diferentes gasolineras cercanas a sus lugares de residencia, con el objetivo de abarcar distintos sectores de la ciudad y obtener variabilidad en las condiciones de distribución y comercialización del combustible. Posteriormente, se realizaron mediciones triplicadas utilizando un medidor digital de octanaje marca Oktis, modelo Oktis-2, calibrado según estándares internacionales.

Adicionalmente, se evaluó el efecto de aditivos comerciales mediante la comparación del octanaje antes y después de su aplicación. El análisis estadístico se basó en estadística descriptiva, determinación de valores promedio, variabilidad y verificación de conformidad respecto a los rangos normativos establecidos (Sampieri, 2018).

2.2 Población y Muestra

Se escogieron estaciones de servicio ubicadas en diferentes puntos de la ciudad de Quito, como se aprecia en la tabla 2, se omite, sin embargo, las direcciones exactas de las mismas.

Tabla 2

Mediciones de octanaje en gasolineras de Quito

Gasolinera	Gasolina Extra (octanos)	Gasolina Súper (octanos)
Primax	89	94
PYS	87	93
Petroecuador	86	92
Ultra NG	87	93
PYS	86	93

Nota. Los valores presentados corresponden a los promedios de tres mediciones realizadas en cada gasolinera con un medidor de octanaje calibrado. Se evaluaron combustibles Extra (estándar esperado ≈ 85 octanos) y Súper (estándar esperado ≥ 92 octanos) en la ciudad de Quito durante el período de recolección de datos del estudio.

Para garantizar la representatividad y validez de los resultados, se establecieron criterios específicos de inclusión y exclusión para la selección de las estaciones de servicio participantes en el estudio.

Criterios de inclusión:

- Estaciones de servicio ubicadas dentro del Distrito Metropolitano de Quito.
- Comercialización simultánea de gasolina Extra y Súper.
- Operación regular y permanente al momento de la toma de muestras.
- Accesibilidad para la recolección y transporte de las muestras.
- Representatividad geográfica en distintos sectores de la ciudad.
- Disponibilidad de estudiantes participantes para la toma de muestras según su lugar de residencia.
- Inclusión de diferentes marcas o distribuidoras de combustible.

Criterios de exclusión:

- Estaciones que no disponían de ambos tipos de combustible durante el muestreo.
- Gasolinas especiales, aditivadas o reformuladas distintas a las categorías comerciales Extra y Súper.
- Estaciones con menos de seis meses de funcionamiento.
- Puntos de venta informales o no autorizados.
- Muestras contaminadas, mal almacenadas o transportadas en recipientes no adecuados.

- Estaciones repetidas dentro de un mismo sector geográfico.

Considerando estos criterios, se seleccionaron cinco estaciones de servicio correspondientes a las principales marcas comercializadoras de combustible en Ecuador, distribuidas estratégicamente en sectores representativos de Quito. Esta distribución geográfica permitió captar variaciones en la calidad del combustible que podrían asociarse a diferencias altitudinales y factores ambientales particulares de cada zona, de cada estación se recolectaron muestras de gasolina Extra (85 RON especificados) y Súper (92-95 RON especificados). Para cada tipo de combustible se realizaron tres mediciones independientes, lo que resultó en un total de 30 mediciones (5 estaciones × 2 tipos de gasolina × 3 repeticiones).

2.3 Instrumentos de Medición

2.3.1 Medidor de Octanaje Digital

Se utilizó un medidor de octanaje digital portátil de tecnología de análisis rápido, con las siguientes especificaciones técnicas:

Tabla 3

Especificaciones técnicas del medidor de octanaje digital portátil utilizado en el estudio

Parámetro Técnico	Especificación
Tipo de tecnología	Análisis rápido con circuito integrado internacional avanzado
Rango de medición de octanaje (RON)	75 – 99.9 octanos
Precisión de medición	± 0.5 octanos
Tiempo de análisis	15 – 30 segundos
Temperatura de funcionamiento	-5°C a +30°C
Fuente de alimentación	Corriente continua (CC) 6V (pilas AA)
Portabilidad	Pequeño y portátil con estuche especialmente diseñado
Normas de equivalencia	ASTM D2699 y ASTM D2700

Nota. El medidor de octanaje digital portátil utilizado cumple con los estándares internacionales ASTM D2699 (Research Octane Number) y ASTM D2700 (Motor Octane Number).

El equipo fue calibrado conforme a protocolos internacionales antes de cada jornada de mediciones, utilizando combustibles de referencia certificados con valores conocidos de octanaje (80, 85, 92 y 95 RON) suministrados por laboratorios de calibración acreditados (Ceballos Marcillo, 2021).

2.3.2 Materiales Complementarios

Para el procedimiento de medición de análisis de hidrocarburos, se emplean diversos materiales auxiliares que garantizan la precisión, seguridad y trazabilidad del proceso. La contención de las muestras se realiza mediante una probeta de vidrio de 500 ml con escala graduada, mientras que el almacenamiento temporal se efectúa en recipientes estériles de polietileno de 1 L que mantienen la integridad de las muestras de gasolina.

Finalmente, la limpieza rigurosa de equipos y probetas entre mediciones se realiza con papel absorbente y alcohol isopropílico 70% de grado analítico, que previenen la contaminación cruzada entre muestras.

2.4 Procedimiento de Recolección de Datos

La recolección de datos se realizó por parte de estudiantes de la asignatura de lubricantes y combustibles del Instituto Superior Tecnológico Central Técnico, siguiendo los pasos detallados en la fase de recolección de muestras.

Procedimiento por estación de servicio:

Paso 1: Se accedió a cada estación de servicio entre las 7:00 y 17:00 horas, seleccionando horas de operación normal para evitar variaciones por cambios de turno o mantenimiento.

Paso 2: Se recolectaron 1000 ml de cada tipo de gasolina (Extra y Súper) directamente del dispensador, en recipientes estériles de polietileno de 1 litro, garantizando que el recipiente estuviera completamente lleno para minimizar la evaporación.

Paso 3: Las muestras fueron inmediatamente identificadas con etiquetas impermeables que incluían: marca de gasolinera, tipo de gasolina, fecha, hora de recolección, ubicación geográfica y observaciones relevantes.

Paso 4: Las muestras se mantuvieron en condiciones de temperatura controlada (15-25 °C) durante el transporte, en un período no superior a 2 horas antes de la medición (Ceballos Marcillo, 2021).

Fase de Medición de Octanaje

Paso 1: Se permitió que la muestra alcanzara temperatura ambiente estable (18-22 °C) antes de iniciar las mediciones.

Paso 2: Se vertió aproximadamente 300 ml de la muestra de gasolina en una probeta de vidrio de 500 ml, limpia y seca.

Paso 3: Se insertó el medidor de octanaje en la probeta, asegurando que el sensor estuviera completamente inmerso en el combustible, sin tocar las paredes del recipiente.

Paso 4: Se aguardó a que el equipo completara el ciclo de medición (15-30 segundos aproximadamente) y se registró el valor de octanaje mostrado en la pantalla digital con precisión de 0.1 unidades.

Paso 5: Se extrajeron el equipo y se procedió a limpiar meticulosamente con alcohol isopropílico y papel absorbente, asegurando la eliminación de residuos de combustible.

Paso 6: Se realizaron tres mediciones independientes de cada muestra, con un intervalo mínimo de 5 minutos entre mediciones para evitar saturación del sensor.

Paso 7: Se calculó el promedio aritmético de las tres mediciones para cada muestra, así como la desviación estándar y el coeficiente de variación, los valores promedio obtenidos se detallaron en la tabla 2, estos pasos se corresponden a lo expuesto en la norma ASTM D2699 (*Normas ASTM / Normas ASTM En Español, 2026*).

3. RESULTADOS

Los resultados obtenidos muestran que todas las muestras de gasolina analizadas presentaron valores de octanaje iguales o superiores a los valores declarados por la normativa ecuatoriana.

En el caso de la gasolina Extra, cuyo valor referencial es aproximadamente 85 RON, los valores medidos oscilaron entre 86 y 89 octanos, lo que indica que el combustible comercializado presenta un margen de octanaje ligeramente superior al mínimo requerido. La estación de servicio Primax presentó el valor promedio más alto con 89 RON, mientras que Petroecuador registró el valor más bajo con 86 RON, manteniéndose aún dentro de los parámetros esperados.

Para la gasolina Súper, cuyo valor normativo se sitúa entre 92 y 95 RON, los resultados mostraron valores entre 92 y 94 octanos. Petroecuador registró el valor mínimo con 92 RON, mientras que Primax alcanzó 94 RON, evidenciando una variación moderada entre estaciones de servicio.

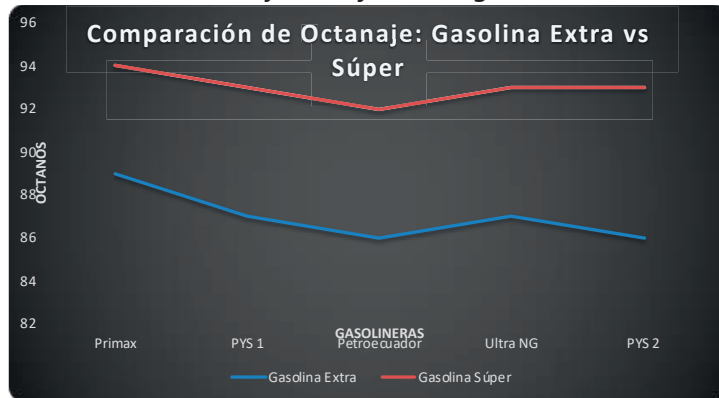
En términos generales, la variación entre estaciones fue relativamente baja, con diferencias máximas de aproximadamente 3 unidades de octanaje en gasolina Extra y 2 unidades en gasolina Súper. Esta variabilidad puede estar asociada a factores logísticos como almacenamiento, transporte del combustible o mezcla en tanques de distribución.

Los resultados también evidencian que ninguna de las estaciones evaluadas presentó valores de octanaje por debajo de los estándares establecidos, lo que sugiere un cumplimiento general de

la normativa vigente respecto al octanaje del combustible comercializado en Quito, tal como se aprecia en la figura 1.

Figura 1.

Variación de octanaje en diferentes gasolineras



4. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el presente estudio evidencian que las gasolinas Extra y Súper comercializadas en las estaciones de servicio analizadas en la ciudad de Quito cumplen con los valores mínimos de octanaje establecidos por la normativa ecuatoriana. Estos hallazgos coinciden con lo señalado por Rocha-Hoyos et al. (2018) y Tipanluisa et al. (2017), quienes destacan que el control del octanaje es un factor clave para garantizar un adecuado proceso de combustión en motores de gasolina, especialmente en condiciones de altura como las presentes en la ciudad de Quito. La presencia de valores ligeramente superiores al mínimo normativo, particularmente en la gasolina Extra, podría responder a márgenes de seguridad aplicados durante los procesos de refinación, mezcla o distribución del combustible con el fin de prevenir fenómenos de detonación en los motores.

Las variaciones moderadas observadas entre estaciones de servicio, con diferencias de hasta tres unidades de octanaje en gasolina Extra y dos unidades en gasolina Súper, sugieren que factores logísticos como el transporte, almacenamiento o mezcla en los tanques de distribución pueden influir en la composición final del combustible disponible al consumidor. No obstante, dichas variaciones se mantienen dentro de los rangos aceptables y no representan desviaciones críticas que comprometan el funcionamiento normal de los motores de combustión interna. Estos resultados contrastan parcialmente con lo reportado en algunos estudios internacionales que evidencian discrepancias significativas entre el octanaje declarado y el real en ciertos mercados de combustibles (Manaces-Esaud et al., 2025), lo que sugiere que, al menos en las estaciones evaluadas de Quito, los sistemas de control y distribución mantienen niveles adecuados de calidad.

En relación con la evaluación de aditivos comerciales, los resultados obtenidos indican que estos productos no generaron incrementos significativos en el número de octanos del combustible

analizado. Este hallazgo coincide con lo reportado por (Flores Vicuña & Quizhpi Flor, 2025), quienes señalan que muchos aditivos comercializados como mejoradores de octanaje cumplen principalmente funciones de limpieza del sistema de inyección o de optimización del proceso de combustión, más que un aumento real del índice de octano. En este sentido, la percepción de mejora en el rendimiento del motor reportada por algunos usuarios podría estar relacionada con la eliminación de depósitos en inyectores o cámaras de combustión, más que con una modificación directa del octanaje del combustible.

Finalmente, es importante señalar que el presente estudio presenta algunas limitaciones que deben considerarse al interpretar los resultados. En primer lugar, el número de estaciones evaluadas fue limitado, por lo que futuras investigaciones podrían ampliar la muestra incluyendo un mayor número de estaciones de servicio y diferentes ciudades del país. Asimismo, sería recomendable complementar las mediciones de octanaje con análisis de laboratorio más detallados, que permitan evaluar otros parámetros de calidad del combustible como contenido de etanol, presión de vapor o composición química. A pesar de estas limitaciones, los resultados obtenidos constituyen un aporte relevante para la comprensión de la calidad real de los combustibles comercializados en el contexto ecuatoriano y proporcionan información útil tanto para consumidores como para organismos reguladores (Morillo Chandi, G & Muñoz, M., 2025).

5. CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos indican que las gasolinas Extra y Súper comercializadas en las estaciones de servicio analizadas en la ciudad de Quito cumplen con los valores mínimos de octanaje establecidos en la normativa ecuatoriana vigente, evidenciando una correspondencia general entre el octanaje declarado y el valor medido.
- Se identificaron variaciones moderadas en el número de octanos entre las estaciones evaluadas; sin embargo, estas diferencias se mantuvieron dentro de los rangos esperados y no representan desviaciones significativas que puedan afectar el funcionamiento normal de los motores de combustión interna.
- En el caso de la gasolina Extra, los valores medidos fueron ligeramente superiores al valor nominal de 85 RON, lo que podría relacionarse con márgenes de seguridad aplicados durante el proceso de formulación o distribución del combustible para prevenir fenómenos de detonación en condiciones de operación.
- La gasolina Súper mostró una variabilidad menor entre estaciones de servicio, manteniéndose dentro del rango esperado de 92 a 95 RON, lo que sugiere estabilidad en los procesos de distribución y comercialización de este combustible.
- En términos generales, los resultados sugieren que no existe una discrepancia significativa entre el octanaje declarado y el octanaje real del combustible en las estaciones evaluadas, lo que contribuye a generar confianza en los consumidores respecto a la calidad del combustible disponible en el mercado local.

6. REFERENCIAS

- AEADE - Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador. (2026, marzo 5). AEADE - Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador. <https://www.aeade.net/>
- Banco Central del Ecuador. (2024). *Boletín Analítico del Sector Petrolero* [Dataset]. Boletín Analítico del Sector Petrolero - <https://contenido.bce.fin.ec>. Banco Central del Ecuador <https://contenido.bce.fin.ec> › ASP202404
- Benítez Salinas, W. F. (2024). *Evaluación de los factores de emisión en vehículo sedan de inyección directa para gasolina de 87 octanos y 95 octanos en la ciudad de Quito—Ecuador*. <https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/5203>
- Bustos González, J. D. (2025). *Análisis de aditivos en el combustible para la optimización de prestaciones en motores de vehículos para competición* [masterThesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/30212>
- Chandi, G. M., Muñoz, M., Cárdenas, L. M. F., & Espín, M. R. (2025). Estudio de la variación del grado de octanaje mediante mezclas de gasolinas extra, súper y aditivo mejorador de octanaje en Ecuador. *European Public & Social Innovation Review*, 10, 1-18. <https://doi.org/10.31637/epsir-2025-1388>
- Druet Rodríguez, F. A., & Vera Castro, P. V. (2018). *Evaluación técnica y optimización del uso de aditivos comerciales para elevar el octanaje de las gasolinas en el Ecuador* [bachelorThesis, ESPOL.FCNM]. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/42507>
- Flores Vicuña, C. T., & Quizhpi Flor, R. A. (PENDIENTE T. (2025). *Estudio del aditivo E85 en la gasolina Ecopaís para la mejora de las prestaciones en los motores de combustion interna* [bachelorThesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/31521>
- Lozano Bajaña, N. B., & Rodríguez Diaz, W. A. (2025). *Análisis de la influencia del uso de aditivos elevadores de octanaje de tipo sólido en el consumo de combustible de vehículos tipo M1, mediante pruebas en ruta extra urbana* [bachelorThesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/31301>
- Manaces-Esaud, G. S., Molina-Mora, J. F., & Zambrano-Olvera,. (2025, junio 16). *Evaluación de la calidad de los combustibles en Ecuador frente a modelos de referencia internacionales* | *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*. <https://remca.umet.edu.ec/index.php/REMCA/article/view/921>
- Morillo Chandi, G & Muñoz, M. (2025, enero 29). *Estudio de la variación del grado de octanaje mediante mezclas de gasolinas extra, súper y aditivo mejorador de octanaje en Ecuador* | *European Public & Social Innovation Review*. 10. <https://epsir.net/index.php/epsir/article/view/1388>
- Rocha-Hoyos, J. C., Tipanluisa, L. E., Zambrano, V. D., Portilla, Á. A., Rocha-Hoyos, J. C., Tipanluisa, L. E., Zambrano, V. D., & Portilla, Á. A. (2018). Estudio de un Motor a Gasolina en

- Condiciones de Altura con Mezclas de Aditivo Orgánico en el Combustible. *Información tecnológica*, 29(5), 325-334. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000500325>
- Sampieri, R. H. (2018). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN: LAS RUTAS CUANTITATIVA, CUALITATIVA Y MIXTA*. McGraw-Hill Interamericana.
- Tipanluisa, L. E., Remache, A. P., Ayabaca, C. R., & Reina, S. W. (2017). Emisiones Contaminantes de un Motor de Gasolina Funcionando a dos Cotas con Combustibles de dos Calidades. *Información tecnológica*, 28(1), 03-12. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642017000100002>

Validation of the electrical configuration of a bank of reconditioned nickel-metal hydride (NiMH) batteries in an off-grid photovoltaic system for powering an automotive repair shop

Validación de la configuración eléctrica de un banco de baterías de níquel-metal hidruro (NiMH) reacondicionadas en un sistema fotovoltaico autónomo para alimentación energética a un taller automotriz

Karla Patricia Vera Calderón¹[0009-0000-1515-9776], Stalyn Ricardo Collaguazo Casa²[0009-0002-1474-1240]

¹ Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano, Quito, Ecuador

E-mail: karlapatriciaveracalderon@gmail.com

² Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano, Quito, Ecuador

E-mail: scollaquazo@istte.edu.ec

Recibido: 04/04/2026

Aceptado: 05/06/2026

Publicado: 30/06/2026

RESUMEN

En esta investigación se valida la configuración eléctrica de un prototipo fotovoltaico autónomo utilizando baterías recicladas de níquel-metal hidruro (NiMH), con el objetivo de garantizar conexiones seguras y eficientes en condiciones reales de operación. El enfoque principal se basa en definir cómo realizar correctamente las conexiones serie-paralelo, seleccionar el cableado adecuado y controlar parámetros como la caída de tensión y la capacidad de conducción de corriente. Para ello, se implementó un prototipo funcional donde se evaluaron variables como voltaje, corriente, potencia y autonomía del sistema. A partir de estas pruebas, se pudo comprobar que una correcta selección de conductores y un diseño adecuado de las conexiones permiten minimizar pérdidas eléctricas y mejorar el desempeño del sistema.

Finalmente, se logró validar que el sistema es capaz de generar aproximadamente 3000 Wh diarios, cubriendo un escenario de iluminación y aportando al ahorro energético, demostrando la viabilidad de la configuración eléctrica del prototipo fotovoltaico.

Palabras clave: prototipo fotovoltaico, configuración eléctrica, conexiones serie-paralelo, caída de tensión, conductores eléctricos, energía autónoma

ABSTRACT

This study validates the implementation of a battery bank consisting of reconditioned NiMH batteries from hybrid vehicles, powered by an off-grid photovoltaic system, for an automotive repair shop. In compliance with CPE INEN-NEC 2018, IEC 60617, and ARCONEL 001/21 standards, thereby ensuring operational safety and mitigating thermal failures through interconnection protocols. Meeting the identified critical energy demand of 3.64 kWh/day, the designed system uses four 550 Wp panels and a 3.8 kVA inverter, successfully covering 14% of the workshop's total consumption. Despite limitations such as self-discharge, the technical feasibility confirms a two-year payback period. The study concludes that the reuse of recycled NiMH batteries promotes the circular economy and reduces operating costs through a properly designed electrical installation. Furthermore, it establishes a replicable educational model that strengthens technical training in renewable energy and promotes environmental sustainability.

Index terms: SFV; prototype, electrical configuration, series-parallel connections, voltage drop, electrical conductors, autonomous energy

1. INTRODUCCIÓN

Según datos presentados por Aeade y Cinae (2026), Ecuador ha experimentado un incremento significativo en la adquisición de vehículos híbridos, lo que ha generado un flujo constante de baterías de Níquel-Metal Hidruro (NiMH) que, al alcanzar el fin de su vida útil automotriz, plantean un desafío ambiental y técnico (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica [MAATE], 2023). Cuando las baterías de estas unidades pierden entre el 20% y 30% de su capacidad original, dejan de ser eficientes para la tracción vehicular, aunque conservan una densidad energética apta para aplicaciones estacionarias de almacenamiento (Cevallos & Morales, 2022). Este escenario se alinea con los principios de la economía circular, donde la reutilización de componentes se presenta como una alternativa sostenible frente a la disposición final de residuos peligrosos.

La justificación de esta investigación radica en la necesidad de los talleres automotrices de contar con sistemas de energía autónoma que garanticen la continuidad de servicios de mantenimientos, frente a la inestabilidad de la red eléctrica convencional. De tal manera que el aprovechamiento de energías renovables es un aspecto fuerte a considerar como los sistemas fotovoltaicos con almacenamiento de energía en baterías recicladas, no obstante, la integración de baterías recicladas no es un proceso trivial; requiere de una configuración eléctrica precisa que cumpla con normativas de seguridad y eficiencia. La falta de protocolos estandarizados para el uso de NiMH en sistemas solares justifica el análisis profundo de las conexiones y el comportamiento térmico de estas celdas (Calle León & Castro Hoyos, 2024).

La configuración eléctrica de un sistema fotovoltaico es un aspecto determinante para garantizar su eficiencia y seguridad. La correcta interconexión de paneles solares, baterías e inversores

mediante arreglos serie-paralelo, junto con la adecuada selección de conductores y dispositivos de protección, permite reducir pérdidas eléctricas, evitar sobrecalentamientos y asegurar un funcionamiento estable y confiable del sistema bajo condiciones reales de operación. (Parra et al.,2020).

BATERÍAS DE NIMH DE SEGUNDA VIDA

Las baterías de NiMH son dispositivos de almacenamiento de energía electroquímica que utilizan una reacción reversible para cargar y descargar electrones. A diferencia de las tecnologías basadas en cadmio, estas utilizan una aleación metálica capaz de absorber hidrógeno como electrodo negativo. (Zhu, 2021).

Las baterías NiMH retiradas de vehículos híbridos conservan una capacidad residual que puede aprovecharse en aplicaciones estacionarias de almacenamiento energético. La reutilización de estos sistemas permite prolongar su vida útil, reducir impactos ambientales asociados a la disposición final de baterías y favorecer modelos de economía circular, especialmente cuando son integradas en sistemas de energías renovables de pequeña y mediana escala. (Martínez Sánchez et al.,2024). Las baterías NiMH después de cumplir su funcionamiento dentro de un automóvil se puede reutilizar para aplicaciones fotovoltaicas autónomas debido a su robustez operativa, tolerancia a variaciones de temperatura y comportamiento estable durante los procesos de carga y descarga. Aunque su capacidad disponible es menor en comparación con una batería nueva o una batería de litio que se ocupa en la mayoría de sistemas fotovoltaicos, estos módulos de NiMH aún pueden proporcionar niveles adecuados de almacenamiento para sistemas de baja demanda energética, como iluminación, equipos electrónicos y cargas auxiliares.

ECONOMÍA CIRCULAR

La economía circular promueve la conservación del valor de los materiales y componentes durante el mayor tiempo posible mediante procesos de reutilización, reparación, reacondicionamiento y reciclaje. Si hacemos referencia a los sistemas de almacenamiento energético, la reutilización de baterías retiradas de vehículos híbridos y eléctricos permite extender su ciclo de vida, reducir la extracción de recursos naturales que a su vez ya son limitados como el litio, disminuir la generación de residuos tecnológicos en vista a que no contamos con una planta de reciclaje a nivel nacional de estos residuos, por lo cual se busca mejorar el aprovechamiento energético de materiales que aún conservan capacidad operativa. Este enfoque es considerado una de las estrategias más prometedoras para fortalecer la sostenibilidad de los sistemas energéticos y facilitar la integración de tecnologías renovables en aplicaciones estacionarias. (Ma et al., 2024).

En este contexto, la reutilización de módulos NiMH recuperados de vehículos híbridos en sistemas fotovoltaicos autónomos constituye una aplicación práctica de los principios de economía circular, al extender la vida útil de componentes que aún conservan capacidad de almacenamiento energético y retrasar su ingreso a los procesos de reciclaje o disposición final.

MICROREDES FOTOVOLTAICAS AUTÓNOMAS

Las microredes fotovoltaicas autónomas constituyen una solución tecnológica capaz de integrar generación renovable y almacenamiento energético para abastecer cargas eléctricas de manera independiente. Su implementación permite mejorar la seguridad energética, optimizar el aprovechamiento de los recursos solares disponibles y reducir la dependencia de combustibles fósiles. Asimismo, la incorporación de sistemas de almacenamiento reutilizados contribuye a disminuir los costos asociados a la infraestructura energética y favorece el desarrollo de modelos energéticos más sostenibles y descentralizados, especialmente en aplicaciones de pequeña escala y zonas con limitaciones de acceso a la red eléctrica convencional. (Liu et al., 2024).

2. MATERIALES Y MÉTODOS / DESARROLLO

2.1. METODOLOGÍA

La presente investigación adopta un enfoque experimental y cuantitativo, orientado a la validación técnica de un prototipo fotovoltaico. El diseño metodológico se fundamenta en los protocolos de Velásquez-Cajas y Villacíz Torres (2024), Para cumplir con el objetivo de establecer una configuración eléctrica eficiente, se procedió a la selección de módulos NiMH en mejores condiciones. Se diseñó un arreglo de conexiones serie-paralelo para alcanzar una tensión nominal de 24V DC debido a las características de funcionamiento del inversor y controlador de carga. Esta disposición física fue calculada para equilibrar la densidad energética y la gestión térmica, evitando puntos calientes en las terminales de interconexión sobre todo es el voltaje de trabajo del inversor y controlador de carga del sistema fotovoltaico, permitiendo recolectar datos sobre el comportamiento de la configuración eléctrica de todo el sistema fotovoltaico bajo condiciones de carga real en un taller de mecánica automotriz. El desarrollo se divide en las siguientes fases:

2.1.1. SELECCIÓN DE MÓDULOS Y CONFIGURACIÓN ELÉCTRICA

Las baterías de NiMH son dispositivos de almacenamiento de energía electroquímica que utilizan una reacción reversible para cargar y descargar electrones. A diferencia de las tecnologías basadas en cadmio, estas utilizan una aleación metálica capaz de absorber hidrógeno como electrodo negativo. (Zhu, 2021).

Se utilizaron módulos de NiMH reciclados donde la selección se realizó en base al voltaje de cada módulo. Primeramente se seleccionaron módulos que tengan un voltaje similar o superior a 6.5 V para después realizar una descarga de hasta 5.76 V una vez completada la descarga se realizó una carga controlada y progresiva de 2.2 A durante 60 minutos teniendo como resultado una carga completa, finalmente se procedió con un balanceamiento de todos los módulos hasta tener módulos balanceados de 7.2 V los módulos que mantienen ese voltaje de 7.2 V son considerados aptos para la implementación en el banco de baterías para el sistema fotovoltaico es muy importante mencionar que se realizó una descarga y carga controlada a un amperaje específico monitoreando en todo momento la temperatura y el estado físico de cada módulo con la

finalidad de tener un banco de baterías funcional y mitigando el factor riesgo de recalentamiento de baterías.

2.1.2. CRITERIOS DE SELECCIÓN CONDUCTORES ELÉCTRICOS

Se calculó la corriente máxima de carga y descarga. Para los circuitos de potencia del banco de baterías y paneles solares de 550W a 42 V y 13 A cada panel, se determinó la corriente máxima del sistema incluyendo un factor de seguridad del 25%. Esto derivó en el uso de cable de cobre flexible #8 AWG para los circuitos de potencia es decir para el cableado que va desde los paneles solares hacia el controlador de carga y por otro lado el diámetro de cableado #14 AWG de igual manera flexible para la redistribución de cargas es decir para la caja de conexión donde están los breakers de tomas de 110 V y luz del taller automotriz. Para la redistribución de corriente desde las baterías hasta el Inversor del sistema fotovoltaico, se utilizó cable flexible #04 AWG.

2.1.3. IMPLEMENTACIÓN DE SEGURIDAD ELÉCTRICA

Siguiendo las recomendaciones del Manual de Inversor TECLAM (2023), se integró una arquitectura de protección que incluye:

- a. **Protecciones de Corriente Continua (DC):** Breakers termomagnéticos dimensionados para la corriente de cortocircuito del banco de baterías del sistema fotovoltaico, paneles solares, inversor y controlador de carga, mitigando la afectación o daños a los equipos del sistema fotovoltaico en el caso de algún cortocircuito o anomalía en algún componente del sistema fotovoltaico.
- b. **Gestión Térmica:** Diseño de racks ventilados para mantener los módulos NiMH por debajo de los 35°C, evitando la reducción de su vida útil según la literatura técnica consultada.
- c. Aprovechando las funcionalidades del inversor se implementó un sistema de monitoreo continuo desde un software conectado hacia el celular para evaluar constantemente de parámetros eléctricos (voltaje, corriente y temperatura de los componentes del sistema fotovoltaico).

2.1.4. CONTROL DE VARIABLES

Durante las pruebas se mantuvieron constantes las condiciones de operación del sistema. Se registraron la irradiancia solar mediante plataformas en Internet como: tu.tiempo.net en donde se puede monitorear la radiación e irradiancia solar durante 15 días tomando en cuenta que la radiación solar promedio en Quito es de 4,5 w/m², la temperatura ambiente, el voltaje y la corriente del banco de baterías ya que se utilizaron variables de descarga hasta un máximo de 22.8 V en la descarga y en la carga de un máximo de 25.2 V ya que el controlador permite controlar del sistema fotovoltaico permite controlar la carga y descarga del banco de baterías, utilizando las mismas cargas eléctricas en todos los ensayos. Esto permitió comparar los resultados bajo condiciones similares y garantizar la confiabilidad de las mediciones.

2.1.5. MATERIALES Y EQUIPOS

HERRAMIENTAS DE MEDICIÓN Y DIAGNÓSTICO

El uso de estas herramientas especializadas calibradas según la norma ISO/IEC 17025:2017, permitieron el levantamiento de datos en tiempo real sobre el consumo energético del taller, carga e integridad de los componentes eléctricos del SFV.

Tabla 1

Herramientas utilizadas para el proceso de mediciones y diagnósticos.

Herramienta	Función Principal	Rango de Trabajo	Aplicación Crítica en el Proyecto	Precisión (Según ISO/IEC 17025)
Cronómetro Digital	Cálculo de tiempo de operación y demanda.	0,01 s	Validación de la cinética de carga y descarga para determinar la salud (SoH) de las baterías NiMH.	± 0,01 a 0,1 segundos
Luxómetro	Medición del nivel de iluminancia en áreas de trabajo.	0 a 20000 lux.	Estimación del confort lumínico y cálculo preciso de la demanda de energía para iluminación.	±3% (Calibrado a LED)
Multímetro Digital de Alta Impedancia	Medición de corriente (A) y tensión (V).	0 a 1000 V CC/CA.	Verificación de caídas de tensión en puntos lejanos y cumplimiento de normativa de pérdidas < 3%.	±0.05% (True RMS)
Pinza Amperimétrica (True RMS)	Medición de corriente alterna en circuitos y herramientas.	0 a 1000 A CA. Precisión 0,01 A	Lecturas precisas en presencia de variadores de frecuencia y equipos de diagnóstico electrónico.	± 1.0% + 5 dígitos

Nota. Valores de Rango de Trabajo de acuerdo a su manual de usuario o placa característica de Herramienta.

HERRAMIENTAS Y MATERIALES PARA INSTALACION DE ELEMENTOS DE LA ETAPA DE CAPTACIÓN

Figura 1

Paneles Solares y Estructura metálica




Nota. Estructura metálica de 2,30 x 2,50 m. Inclinación de 15°.

Detallaremos las herramientas e insumos que se destinaron al montaje mecánico y fijación de la etapa de Captación, teniendo que:

- **Estructura de Soporte:** Ángulos estructurales metálicos 40mm (para marcos diagonales y horizontales), ángulos estructurales metálicos 60mm (para patas), flexómetro, electrodos 6011, soldadora 6000-6500W.
- **Para asegurar estructura al piso:** Tornillos de cimentación, taladro percutor y atornillador.
- **EPP:** Botas de seguridad dieléctrica, guantes, gafas de protección UV y overol manga larga.
- **Equipo del SFV:** Panel Solar TECLAM TE-PANELS-41.62V

Figura 2

Ficha técnica del Panel Solar Teclam TE- PANELS- 41.62 V

Ficha técnica TE-PANELS-41.62V	
	
TE-PANELS-41.62V	
Panel Solar Monocristalino de 550W para sistema fotovoltaicos	
ESPECIFICACIONES	
MARCA	TECLAM
ARTÍCULO	TE-PANELS-41.62V
TIPO DE PRODUCTO	PANEL SOLAR
POTENCIA	550 W
COMPOSICIÓN	144 CELDAS / SILICIO MONOCRISTALINO
TOLERANCIA DE EFICIENCIA	±3 %
VOLTAJE DE CIRCUITO ABIERTO (VOC)	49.52 VDC
CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO (ISC)	14.13 A
VOLTAJE EN POTENCIA MÁXIMA (VMP)	41.62 VDC
CORRIENTE EN POTENCIA MÁXIMA (IMP)	13.21 A
RANGO DE TEMPERATURA	-30° A 70° C
DIMENSIONES DE PANEL SOLAR	2279 X 1134 X 35 mm
PROTECCIÓN DE CAJA DE CONEXIÓN	IP68
MAXIMA VOLTAJE DE RESISTENCIA DE CONDUCTOR	1500 VDC
CALIBRE DEL CONDUCTOR	12 AWG / 4 mm ²
LONGITUD DEL CONDUCTOR	250 mm
TIPO DE CONECTOR DEL CONDUCTOR	MC4
PESO APROXIMADO	28.5 Kg

Nota. Manual de Usuario (Teclam, 2023).

HERRAMIENTAS Y MATERIALES PARA INSTALACION DE ELEMENTOS DE LA ETAPA DE CONVERSIÓN Y CONTROL

Figura 3

Ubicación de Inversor, Teclam y Caja de Redistribución Energética



Nota: Instalación de Inversor Teclam y Cajetín de redistribución en el taller automotriz.

- **Para montaje de Inversor y Cajetín de Redistribución (Protecciones AC/DC:** Taladro percursor, tornillos expansores, broca de concreto #8, flexómetro, nivel, llave 11.
- **Para instalación de Cableado y Protección:** Breakers termomagnéticos (AC), breakers de DC, protectores de sobretensiones (DPS), barras de tierra (Grounding), taípe, estilete, juego de destornilladores, crimpadora y pelacables, guía jalacables.
- **EPP:** Botas de seguridad dieléctrica, guantes, gafas de protección UV y overol manga larga.
- **Equipo del SFV:** Inversor TE- INVERSOR-3.8KVA

Figura 4

Ficha técnica del controlador de carga e inversor Teclam TE-INVERSOR- 3.8kVA

Ficha técnica
TE-INVERSOR-3.8KVA

teclam

TE-INVERSOR-3.8KVA

Inversor de 3.8 KVA / 3KW-24VDC con monitoreo wifi para sistemas fotovoltaicos

ESPECIFICACIONES	
MARCA	TECLAM
ARTICULO	TE-INVERSOR-3.8KVA
TIPO DE PRODUCTO	INVERSOR
MONITOREO	MODULO WIFI INCORPORADO /SMARTESS APP
CAPACIDAD POTENCIA VA	3800 VA
CAPACIDAD POTENCIA	3000 W
VOLTAJE ENTRADA	110 VAC - RED ELECTRICA
RANGO DE VOLTAJE DE TRABAJO	77 A 135 VAC RED ELECTRICA
VOLTAJE DE SALIDA	(L1-L2) 0 (N-L2) 110 VAC /60 Hz (N-L1) - 220 VAC / 60 Hz
TOLERANCIA DE VOLTAJE DE SALIDA	±10 %
FORMA DE ONDA	ONDA SINUSOIDAL PURA
TIEMPO DE CONMUTACIÓN DE AC A DC	< 8 ms
TIEMPO DE CONMUTACIÓN DE DC A AC	< 8 ms
MODDO BYPASS / MODO AHORRO	SOPORTA / SOPORTA
EFICIENCIA	>89 %
TIPO DE BATERIA	AGM-CICLO PROFUNDO/ GEL / LIFEPO4
CAPACIDAD MAX. DE BATERIA	500 Ah
CORRIENTE MAX. DE CARGA	63 A
VOLTAJE DE CORTE DE BATERIA BAJA	20V A 21 V (PROGRAMABLE)
TIPO DE CARGA SOLAR	MPPT - 24 VDC
CORRIENTE MAXIMA	60 A

Nota: Manual de Usuario (Teclam, 2023).

HERRAMIENTAS Y MATERIALES PARA INSTALACION DE ELEMENTOS DE LA ETAPA DE ALMACENAMIENTO

Figura 5.

Ubicación de la Estructura de Soporte de Baterías juntamente con Inversor y Caja de Redistribución Energética en el taller automotriz.



Nota. Se eligió un lugar seco, superficie plana y sin interferencia de otros equipos del taller.

Estructura de soporte y ventilación para Baterías: Ángulos estructurales metálicos 40mm (para marcos diagonales y horizontales), ángulos estructurales metálicos 60mm (para patas), flexómetro, electrodos 6011, soldadora 6000-6500W, amoladora angular con discos de corte

2.1.6. PROCEDIMIENTOS

LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

El taller llevó a cabo una jornada normal de actividades, en la que el uso del taller fue indispensable para realizar tareas habituales como diagnósticos, mantenimientos preventivos y trabajos correctivos.

Tomando en cuenta que la captación de información, es una fase importante para el correcto dimensionamiento del SVF.

CÁLCULO DE DIMENSIONAMIENTO ENERGÉTICO

Se determinó el consumo energético de el sistema de iluminación y bodega diario de un taller aplicando la fórmula (1) con base a la normativa norma IEC 60364-8-1:

$$E(\text{kWh})=(P(W)\times t(h))/1000(1)$$

En donde,

E = Representa a la energía total consumida, medida en kilovatios - hora (kWh)

P = Corresponde a la potencia de la herramienta eléctrica, medida en Vatios (W o Watts).

t = Es el tiempo de uso de uso de la herramienta eléctrica determinado en horas (h)

1000= Se divide entre 1000 para convertir la potencia de vatios (W) a kilovatios (kW), ya que 1 kW= 1000W

TABLAS DE CONSUMO POR ÁREA, TIPO DE CARGA Y ESCENARIO

Las siguientes mediciones se efectuaron entre el 02 y el 20 de marzo del 2026 en un taller automotriz, tomando en cuenta un escenario en el cual solo consiste evaluar las cargas eléctricas del sistema de iluminación y componentes básicos de la oficina del taller, se calculó mediante la fórmula (1).

Tabla 2.

Medición sobre el consumo energético del sistema de iluminación y equipos de oficina dentro del taller automotriz durante el Escenario 1.

Equipo	Cantidad	Potencia (W)	Consumo Hora (W)	Horas/Día	Consumo Diario (W)	Consumo (kWh)	Valor Planilla (\$)
Computadora	1	100	100	12	1200	1,2	0,11
Impresora	1	100	100	2	200	0,2	0,02
Lámpara de bodega	1	20	20	12	240	0,24	0,02
Lámpara de taller	20	20	400	5	2000	2	0,18
Total			620		3640	3,64	0,33

Nota: Consumo energético total de 3,64 kW diario. El equipo "lámpara de taller" tiene un consumo de 2kWh representando el 55% del gasto diario durante el Escenario 1.

2.1.6.1. PROCEDIMIENTOS DE INSTALACIÓN POR ETAPAS

INSTALACIÓN DE ETAPA DE CAPTACIÓN

Figura 6

Paneles Solares en cubierta.



Nota. El ángulo de inclinación beneficiará al aprovechamiento de los rayos solares.

a.- Preparación y Seguridad:

Nos equipamos con el EPP adecuado (Botas de seguridad dieléctrica, guantes, gafas de protección UV y overol manga larga)

b.- Montaje de la Estructura Soporte:

La estructura soporte de los paneles solares se la diseñó fija, resistente a vientos y peso, considerando las dimensiones de cada uno de los paneles. Se configuró para la latitud de Quito (0°), buscando una inclinación de entre 5° y 15° para maximizar la captación de los 5.0 kWh/m²/día y autolimpieza con la lluvia.

c.- Instalación de Paneles Solares:

Subimos los paneles solares con mucha precaución, evitando golpes o rayones en el vidrio templado, para ser colocados cuidadosamente sobre el marco de la estructura

d.- Conexiones Eléctricas:

Conectamos los paneles según la configuración eléctrica diseñada 2serie-2paralelo diseñando un parámetros de 26 A y 92 V utilizando los conectores MC4 integrados por lo cual se utilizó cable flexible #8 de paneles a controlador. Sujetamos los cables flexibles #8 a la estructura con unas amarras evitando así que toquen el piso de la cubierta o que queden colgados. Conducimos los cables #8, positivo y negativo, a través de una tubería corrugada.

Figura 7

Cableado del SFV



Nota. El aislamiento del cableado principal con tubo corrugado evita sobrecalentamientos.

INSTALACIÓN DE ETAPA DE CONVERSIÓN Y CONTROL

Figura 8.

Empotrado de Inversor Teclam



Nota: Pared de superficie regular, sin filtraciones de humedad ni cruce de cableado.

Instalamos el Inversor Teclam en un lugar seco y ventilado en el taller, a una distancia aproximada de 16 m de los paneles solares. El espacio entre el inversor y el banco de baterías está comprendido en 0,65 m permitiendo la aireación necesaria para el enfriamiento de las celdas de NiMH. Para su fijación utilizamos tornillos de expansión #8 otorgando un anclaje sólido para evitar vibraciones o caídas. La caja de redistribución se instaló a un costado del inversor facilitando el peinado del cableado.

Figura 9.

Tornillos Expansores



Nota: Los tornillos expansores para el montaje del Inversor vienen con el equipo.

Insertamos los cables en las borneras etiquetadas como “PV+” y “PV-” asegurándolas adecuadamente para evitar arcos eléctricos.

Observación: El proceso de conexión es primero baterías antes que los paneles para que el inversor reconozca el voltaje del sistema y establezca su procesador.

Instalamos la caja de redistribución y procedemos a realizar un puenteo con cable flexible #14 entre los breakeres de distribución; elegimos el sistema de iluminación y tomas de 110 para recibir la energía en el taller.

ETAPA DE ALMACENAMIENTO BATERÍAS

Antes del montaje es importante realizar un mantenimiento a las mismas, además se recomienda una limpieza de bornes utilizando un cepillo de cerdas metálicas y limpia contactos. Nuestras baterías se encuentran ya reacondicionadas gracias a un proceso anterior a este proyecto.

Figura 10

Módulos de baterías NiMH reacondionadas



Nota. Módulos de las baterías de NiMH listo para utilizarse como fuente de almacenamiento de energía para el SFV.

- Configuramos el banco a una tensión nominal de 24 V para que sea compatible con el inversor.
- Agregamos ramas en paralelo para aumentar la capacidad total de almacenamiento (A) y así cubrir la demanda crítica de 3,64 kWh/día.
- Cableado #04 irá conectado desde las baterías al inversor.

Figura 11.

Instalación de baterías NiMH reacondicionadas



Nota. La estructura soporte tiene espacio de ampliación para futuros alcances al proyecto.

VALIDACIÓN EXPERIMENTAL

La validación experimental del sistema se realizó mediante la implementación física del prototipo fotovoltaico autónomo en el taller automotriz del Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano y su evaluación bajo condiciones reales de operación. Una vez ensamblado el sistema, se efectuaron pruebas de carga y descarga utilizando equipos eléctricos representativos del consumo habitual del taller, con el propósito de verificar el comportamiento del banco de baterías y el desempeño general de la instalación.

Durante los ensayos se registraron variables como voltaje, corriente, potencia, energía suministrada y autonomía del sistema. Los resultados obtenidos se compararon con los valores estimados en la etapa de diseño, considerando la capacidad del banco de baterías, la producción energética del arreglo fotovoltaico y la demanda eléctrica prevista. Los puntos altos que podemos mencionar de esta validación experimental es que las conexiones eléctricas propuestas para el sistema fotovoltaico como tipo de cableado diámetro del cableado, conexiones en serie paralelos, distribución de inversor y controlador son óptimos para un sistema fotovoltaico domiciliario o industrial pero con cargas menores es decir solo para abastecer de energía al sistema de iluminación, otro aspecto importante a considerar es que las baterías o módulos deben estar en buen estado debido a que con estos módulos no se obtuvo una buena autonomía.

La concordancia entre los valores calculados y las mediciones experimentales confirmó que la configuración eléctrica propuesta cumple con los requerimientos de operación establecidos y

que el sistema es técnicamente viable para aplicaciones de almacenamiento energético con baterías NiMH recuperadas de vehículos híbridos.

Esta validación permitió demostrar, en condiciones reales, que la reutilización de baterías de segunda vida constituye una alternativa funcional para sistemas fotovoltaicos autónomos de pequeña escala, aportando evidencia experimental que respalda los resultados y conclusiones presentados en este estudio.

3. RESULTADOS

3.1. ANÁLISIS DE LA DEMANDA Y GENERACIÓN FOTOVOLTAICA

La capacidad de la generación del sistema fotovoltaico frente al consumo identificado del primer escenario

TABLA 3

Balance Energético y Eficiencia de Captación

Parámetro de Medición	Valor Obtenido	Validación / Norma
Aporte promedio de 10:00 13:00	1.02 kW	Abastece a las luces
Cobertura de demanda total taller	6%	Enfoque en Resiliencia Energética
Eficiencia del inversor TECLAM	89.4%	Especificación técnica > 89%
Irradiación promedio (Quito)	5.0 kWh/m ² /día	Base de Datos NREL / Atlas Solar
Potencia máxima generada (PMPP)	1.15 kW	50.7% de la potencia nominal

3.2. CARACTERIZACION Y RENDIMIENTO DEL ALMACENAMIENTO (NIMH)

La validación del banco de baterías reacondicionadas se centró en la estabilidad de tensión y gestión térmica bajo carga.

Tabla 4.

Comportamiento del Banco de Baterías NiMH (24V DC)

Variable de Control	Resultado	Observación Técnica
Profundidad de descarga (DoD)	70% - 60%	Configurada para extender vida útil
Resistencia interna promedio	< 15 mΩ	Indica estado de salud (SoH) óptimo
Temperatura máxima de operación	34.5 °C	Dentro del rango seguro (Ventilación OK)
Tiempo de autonomía (Cargas Críticas)	3.0 horas	No cubre la demanda de 3.64 kWh/día
Voltaje nominal del banco	24.2 V DC	Integración estable con Inversor

3.3. VALIDACIÓN DE COMPONENTES Y PROTECCIONES (CPE INEN-NEC 2018)

Se verificó la integridad del sistema ante eventos críticos y la caída de tensión en los conductores seleccionados.

TABLA 5

Fiabilidad del Sistema de Conexiones y Protección en el SFV

Componente Evaluado	Medición / Estado	Fiabilidad
Caída de tensión (Cable #8 AWG)	1.2%	Cumple norma (Máx. 3% en DC)
Integridad de puentes (Cable #14 AWG)	0 puntos calientes	Verificado con cámara termográfica
Pico de arranque soportado	3480 W	Inversor gestionó carga inductiva
Respuesta de Breaker DC (Sobrecarga)	< 0.1 s	Activación inmediata ante falla
Supresión de transitorios (DPS)	Activo	Protección confirmada contra ruidos AC

3.4. ANÁLISIS CUALITATIVO

Sustentabilidad: La reutilización de baterías evitó la disposición de residuos químicos pesados, validando el modelo de economía circular propuesto.

Tendencia de Carga: Se observó que el banco NiMH alcanza su estado de carga completa (SoC) aproximadamente a las 13:45 pm en días despejados, coincidiendo con la máxima radiación y son cargas eléctricas aplicadas al prototipo

4. DISCUSIÓN

El análisis de los resultados obtenidos en este estudio confirma que la viabilidad de conexiones eléctricas de un prototipo fotovoltaico con baterías recicladas depende menos del estado químico de las celdas y más de la precisión en su configuración eléctrica. A continuación, se contrastan los hallazgos con la literatura técnica y la práctica industrial.

4.1. Configuración de Conexiones y Estabilidad de Tensión

Los resultados mostraron que la disposición de conexiones serie-paralelo para alcanzar 24V DC permitió un funcionamiento estable del inversor ya es el rango de funcionamiento del controlador sobre todo no presento elevación de temperatura en los componentes del sistema fotovoltaico almacenando y distribuyendo energía de manera eficiente. Este hallazgo coincide con lo expuesto por Cevallos y Morales (2022), quienes sostienen que el equilibrio de voltajes en baterías NiMH de segunda vida es crítico para evitar el desbalance de carga. Sin embargo, a diferencia de sistemas con baterías de litio, el NiMH demostró una mayor resiliencia ante fluctuaciones de temperatura durante picos de carga de 6500W (Linden & Reddy, 2011).

4.2. Impacto de los Conductores en la Eficiencia Energética

Un punto disruptivo en esta investigación fue la obtención de una caída de tensión de apenas 1.2%. Mientras que la normativa CPE INEN-NEC 2018 permite hasta un 3% en sistemas DC, la decisión de utilizar conductores eléctricos calibre #8 AWG para los tramos de potencia es decir de paneles a controlador resultó en una optimización del 60% respecto al límite permitido.

4.3. Implicaciones Prácticas y Limitaciones

La importancia del estudio radica en que demuestra que es posible alimentar cargas críticas de un taller automotriz mediante ingeniería de reutilización. No obstante es importante que las baterías se encuentren en buen estado de salud con un voltaje mínimo de 7.2V y 5A por módulo ya que si usamos baterías que estén en condiciones inferiores a las comentadas la autonomía será muy poca.

5. CONCLUSIONES

La presente investigación permitió validar técnica y operativamente la integración de las conexiones eléctricas y de baterías de Níquel-Metal Hidruro (NiMH) reacondicionadas en sistemas de energía renovable, consolidando las siguientes conclusiones:

Validación de la Configuración Eléctrica: Se comprobó que la disposición de conexiones serie-paralelo formando un banco de 24 V y 60 A de módulos de NiMH pueden servir como fuente de almacenamiento de energía sin que se produzcan sobrecalentamientos

Eficiencia en el Diseño y Conductores: El cumplimiento de la normativa CPE INEN-NEC 2018 en la selección de conductores eléctricos (calibres #8 de los paneles solares al controlador de carga y #14 AWG de la caja de conexiones y #04 AWG de baterías a controlador de carga) fue determinante para el éxito de un prototipo que genera como mínimo 1.2Kva y permitiendo reconocer que este tipo de conexiones pueden soportar sistemas fotovoltaicos que generan hasta 10 KVA diarios.

Sostenibilidad y Aplicabilidad Real: Los resultados de las pruebas de autonomía demostraron que el sistema es plenamente funcional para cubrir una demanda de cargas mínimos (luces led de un taller automotriz). Esto valida que las baterías NiMH, a pesar de haber cumplido su ciclo de vida en vehículos, poseen una densidad energética remanente ideal para aplicaciones estacionarias, ofreciendo una solución técnica que reduce el impacto ambiental de los residuos peligrosos en Ecuador.

Contribución al Conocimiento: La importancia de la investigación reside en demostrar que la "segunda vida" de las baterías no depende únicamente del estado de la celda, sino de una ingeniería de conexiones y protecciones rigurosa que garantice la seguridad y la durabilidad del sistema fotovoltaico.

6. REFERENCIAS

- AEADE - Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador. (2026, March 24). AEADE - Asociación de Empresas Automotrices Del Ecuador. <https://www.aeade.net/>.
- Calle León, G. I., & Castro Hoyos, F. R. (2024). *Estudio de la degradación y protocolos de reutilización de baterías de Níquel-Metal Hidruro (NiMH) para sistemas de almacenamiento de energía renovable*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Cevallos, J., & Morales, D. (2022). Análisis y validación de la configuración eléctrica de un banco de baterías de níquel-metal hidruro (NiMH) para un sistema fotovoltaico autónomo aplicado en un taller automotriz [Proyecto de Grado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional UPS. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22499>.
- International Organization for Standardization & International Electrotechnical Commission. (2017). *Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración (ISO/IEC 17025:2017)*. <https://www.iso.org/standard/66912.html>
- Liu, Y., Wang, J., Zhang, H., & Chen, X. (2024). *Optimal design and energy management of autonomous photovoltaic microgrids with battery energy storage systems*. Journal of Energy Storage, 88, 111512. <https://doi.org/10.1016/j.est.2024.111512>.

- Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE). (2023). *Estrategia Nacional de Economía Circular en Ecuador: Lineamientos para la gestión integral de residuos industriales y tecnológicos*. Gobierno del Ecuador.
- Ma, R., Xu, C., Dai, Q., et al. (2024). *Pathway decisions for reuse and recycling of retired lithium-ion batteries*. Nature Communications, 15, 7638.
<https://doi.org/10.1038/s41467-024-52030-0>.
- Martínez-Sánchez, R., Molina-García, A., Mateo-Aroca, A., & Ramallo-González, A. P. (2024). *Evaluating a nickel–metal hydride (NiMH) battery regeneration patent based on a non-intrusive and unsupervised prototype*. Batteries, 10(11), 402.
<https://doi.org/10.3390/batteries10110402>.
- TECLAM Energy. (2023). *Hoja de especificaciones técnicas: Módulo fotovoltaico monocristalino de alta eficiencia 550Wp - Serie Pro-Solar*. Quito, Ecuador: Departamento de Ingeniería Fotovoltaica.
- TECLAM Energy. (2023). *Manual de usuario e instalación: Inversor Híbrido Smart-Solar serie 3.8 kVA / 24V DC*. Quito, Ecuador: Departamento Técnico de Ingeniería.
- Velásquez-Cajas, Á., & Villacís Torres, S. (2024). *Metodología de investigación*. Instituto Superior Universitario Cotopaxi y CLIEE Editorial.
- Zhu, J., Mathews, I., Ren, D., Li, W., Cogswell, D. A., Bazant, M. Z., & Cox, B. (2021). *End-of-life prediction of lithium-ion batteries in the second-life application*. Cell Reports Physical Science, 2(12), 100660. <https://doi.org/10.1016/j.xcrp.2021.100660>

Evaluation of the accounting treatment under IAS 16 and its impact on photovoltaic generation projects for industrial energy optimization.

Evaluación del tratamiento contable bajo la NIC 16 y su impacto en proyectos de generación fotovoltaica para la optimización energética industrial.

Quiroz Peña Jaime Iván^{1[0000-0001-8268-1169]}

¹ Instituto Superior Tecnológico Japón con condición de Universitario, Quito, Ecuador

E-mail: jquiroz@itsjapon.edu.ec

Recibido: 13/05/2026

Aceptado: 15/06/2026

Publicado: 30/06/2026

RESUMEN

La presente investigación analizó el tratamiento contable bajo la Norma Internacional de Contabilidad 16 (NIC 16) y su incidencia en proyectos de generación fotovoltaica orientados a la optimización energética industrial en empresas ecuatorianas. El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, correlacional-explicativo y de diseño no experimental, considerando una muestra de 27 empresas localizadas en Quito, Latacunga e Ibarra pertenecientes a los sectores manufacturero, textil, alimenticio y metalmecánico. La investigación integró variables relacionadas con reconocimiento contable, depreciación, vida útil y deterioro de activos fotovoltaicos, así como indicadores de eficiencia energética, ahorro económico y rentabilidad financiera. Los resultados evidenciaron que el 81,5 % de las empresas reconocían adecuadamente los sistemas fotovoltaicos bajo los lineamientos de la NIC 16, aunque persistieron limitaciones relacionadas con políticas contables específicas y evaluaciones periódicas de deterioro. Asimismo, se identificó una reducción promedio del 31,4 % en costos energéticos y ahorros anuales cercanos a USD 48.600 por empresa. El 74,1 % de los proyectos presentó valores actuales netos positivos y tasas internas de retorno favorables, confirmando la viabilidad económica de la generación fotovoltaica industrial. El análisis estadístico mostró una correlación positiva significativa entre la aplicación de la NIC 16 y la optimización energética industrial ($r = 0,784$; $p < 0,05$). Se concluye que una adecuada gestión contable de activos fotovoltaicos fortalece la sostenibilidad financiera, la eficiencia operativa y la competitividad empresarial dentro de procesos de transición energética industrial.

Palabras clave: NIC 16; generación fotovoltaica; optimización energética; sostenibilidad industrial; eficiencia energética.

ABSTRACT

This research analyzed the accounting treatment under International Accounting Standard 16 (IAS 16) and its impact on photovoltaic power generation projects aimed at industrial energy optimization in Ecuadorian companies. The study was conducted using a quantitative, correlational-explanatory, and non-experimental research design, considering a sample of 27 companies located in Quito, Latacunga, and Ibarra from the manufacturing, textile, food, and metalworking sectors. The research integrated variables related to accounting recognition, depreciation, useful life, and impairment of photovoltaic assets, as well as indicators of energy efficiency, economic savings, and financial profitability. The results showed that 81.5% of the companies adequately recognized photovoltaic systems under the guidelines established by IAS 16, although limitations related to specific accounting policies and periodic impairment assessments were still identified. Likewise, an average reduction of 31.4% in energy costs and annual savings close to USD 48,600 per company were identified. In addition, 74.1% of the projects reported positive net present values and favorable internal rates of return, confirming the economic feasibility of industrial photovoltaic generation projects. Statistical analysis revealed a significant positive correlation between the application of IAS 16 and industrial energy optimization ($r = 0.784$; $p < 0.05$). It is concluded that appropriate accounting management of photovoltaic assets strengthens financial sustainability, operational efficiency, and business competitiveness within industrial energy transition processes.

Index terms: IAS 16; photovoltaic generation; energy optimization; industrial sustainability; energy efficiency.

1. INTRODUCCIÓN.

La transición energética mundial ha impulsado una transformación progresiva de los modelos industriales tradicionales hacia esquemas de producción más sostenibles, eficientes y tecnológicamente integrados. En este contexto, los sistemas de generación fotovoltaica han adquirido una relevancia estratégica debido a su capacidad para reducir la dependencia de combustibles fósiles, disminuir costos operativos y contribuir al cumplimiento de objetivos ambientales vinculados con la descarbonización industrial. La implementación de tecnologías fotovoltaicas en entornos industriales no solo mejora el desempeño energético, sino que también fortalece la competitividad empresarial mediante la reducción de cargos por demanda eléctrica y la optimización del consumo energético (Fajri et al., 2023).

En América Latina, y particularmente en Ecuador, el interés por las energías renovables ha crecido significativamente durante los últimos años como respuesta al incremento de los costos energéticos, las limitaciones de la infraestructura eléctrica convencional y las políticas orientadas al desarrollo sostenible. Ecuador posee condiciones geográficas favorables para el aprovechamiento solar, especialmente en regiones con altos niveles de irradiación, lo que ha permitido que la energía fotovoltaica se convierta en una alternativa técnicamente viable para procesos industriales y comerciales. El contexto ecuatoriano los sistemas fotovoltaicos conectados a red presentan resultados positivos tanto desde el punto de vista energético como

económico, generando reducciones importantes en el consumo convencional de electricidad y periodos de recuperación financieramente aceptables (Carrión et al., 2024).

Sin embargo, aunque el análisis técnico de los sistemas fotovoltaicos ha sido ampliamente abordado en la literatura científica, existe todavía una limitada integración entre la evaluación energética de estos proyectos y su tratamiento contable bajo estándares internacionales de información financiera (Plá et al., 2025). En muchas organizaciones industriales, la incorporación de infraestructura fotovoltaica continúa siendo analizada exclusivamente desde una perspectiva de ingeniería o rentabilidad económica, dejando en segundo plano aspectos fundamentales relacionados con el reconocimiento, medición, depreciación y revelación contable de los activos energéticos (Baiani, 2024). Esta situación genera inconsistencias en la valoración financiera de las inversiones sostenibles y limita la capacidad de las empresas para reflejar adecuadamente el impacto económico derivado de la transición energética.

Dentro de este escenario, la Norma Internacional de Contabilidad 16 (NIC 16) adquiere una importancia significativa, ya que establece los criterios técnicos y financieros aplicables al reconocimiento de propiedades, planta y equipo, incluyendo activos asociados con infraestructura energética y sistemas de generación fotovoltaica. La adecuada aplicación de esta normativa permite determinar elementos esenciales como el costo inicial del activo, la vida útil, el valor residual, los métodos de depreciación y las posibles pérdidas por deterioro (Bailón y Mena, 2022). Desde una perspectiva financiera, estos elementos influyen directamente sobre indicadores de rentabilidad, flujos de efectivo, retorno de inversión y evaluación de proyectos energéticos de largo plazo.

En el ámbito industrial, la implementación de proyectos fotovoltaicos requiere actualmente enfoques integrales que combinen variables técnicas, económicas y contables. Las investigaciones más recientes señalan que la optimización energética industrial ya no depende únicamente de la capacidad de generación eléctrica instalada, sino también de la correcta administración de los costos de inversión, mantenimiento, depreciación tecnológica y eficiencia operativa de los sistemas energéticos (Caivano, 2022). Incluso, el avance de herramientas digitales, sistemas SCADA, modelos de simulación energética y tecnologías basadas en IoT ha permitido mejorar significativamente el monitoreo y desempeño de los sistemas fotovoltaicos industriales, fortaleciendo así la toma de decisiones estratégicas relacionadas con sostenibilidad y eficiencia energética (Ríos et al., 2024).

A pesar de estos avances, persiste una brecha investigativa relacionada con el análisis conjunto entre normativa contable internacional y evaluación de proyectos de generación fotovoltaica en contextos industriales. Gran parte de la literatura se concentra en aspectos técnicos de diseño, simulación o rendimiento energético, mientras que los estudios orientados al tratamiento contable de activos fotovoltaicos bajo la NIC 16 continúan siendo escasos, especialmente en economías emergentes. Esta limitación reduce la comprensión integral del verdadero impacto financiero y operativo que poseen las inversiones en infraestructura energética sostenible dentro de las organizaciones industriales.

Bajo esta perspectiva, la presente investigación tiene como finalidad analizar el tratamiento

contable bajo la NIC 16 y su impacto en proyectos de generación fotovoltaica orientados a la optimización energética industrial. El estudio busca integrar el análisis financiero-contable con la evaluación energética de sistemas fotovoltaicos, considerando la incidencia que posee el reconocimiento adecuado de estos activos sobre la sostenibilidad operativa, la eficiencia energética y la rentabilidad empresarial. Asimismo, la investigación pretende aportar evidencia científica que contribuya al fortalecimiento de modelos de gestión energética industrial sustentados tanto en criterios técnicos como en estándares internacionales de información financiera.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo de alcance correlacional-explicativo, orientado a analizar la incidencia del tratamiento contable establecido en la Norma Internacional de Contabilidad 16 (NIC 16) sobre la evaluación financiera y operativa de proyectos de generación fotovoltaica aplicados al sector industrial. El estudio consideró variables relacionadas con reconocimiento contable de activos, depreciación, vida útil, eficiencia energética y rentabilidad derivada de la implementación de sistemas solares fotovoltaicos en empresas manufactureras ecuatorianas.

El diseño metodológico fue no experimental y de corte transversal, debido a que las variables fueron analizadas en su contexto natural sin manipulación directa por parte del investigador. Asimismo, la investigación adoptó un enfoque descriptivo y analítico, permitiendo identificar tanto las características contables de los activos fotovoltaicos como su relación con indicadores de optimización energética industrial.

La población objeto de estudio estuvo conformada por empresas manufactureras ecuatorianas que han incorporado sistemas de generación fotovoltaica dentro de sus procesos productivos o administrativos durante el periodo 2021–2025. Para efectos de delimitación metodológica, se consideraron organizaciones pertenecientes a sectores industriales con alto consumo energético, tales como alimentos, textiles, metalmecánica y manufactura ligera, debido a que estas actividades presentan mayores necesidades de optimización energética y control de costos operativos.

La muestra estuvo integrada por 27 empresas localizadas en las ciudades de Quito, Latacunga e Ibarra, seleccionadas mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, considerando criterios de accesibilidad, disponibilidad de información financiera y existencia de infraestructura fotovoltaica operativa. Se incluyeron empresas que contaran con registros contables relacionados con activos energéticos reconocidos bajo propiedad, planta y equipo, así como información técnica asociada al consumo energético, capacidad instalada y desempeño operativo de los sistemas fotovoltaicos.

Para la recopilación de información se utilizaron técnicas documentales y de campo. En primera instancia, se efectuó una revisión técnica y financiera de estados financieros, políticas contables, reportes energéticos y documentación relacionada con la adquisición e implementación de sistemas fotovoltaicos. Posteriormente, se aplicó un cuestionario estructurado dirigido a responsables financieros, contables y técnicos de las empresas analizadas, con la finalidad de

identificar criterios de aplicación de la NIC 16, métodos de depreciación utilizados, estimaciones de vida útil, reconocimiento de costos atribuibles y percepción empresarial respecto al impacto económico de la infraestructura fotovoltaica.

El instrumento de investigación fue diseñado con base en escalas tipo Likert de cinco niveles, permitiendo medir el grado de aplicación de prácticas contables relacionadas con la NIC 16 y su influencia sobre variables de desempeño energético y financiero. La validación del instrumento se realizó mediante juicio de expertos conformado por profesionales especializados en Normas Internacionales de Información Financiera, auditoría y sistemas energéticos fotovoltaicos. La confiabilidad interna fue determinada a través del coeficiente Alfa de Cronbach, obteniéndose niveles aceptables de consistencia estadística.

Las variables analizadas fueron estructuradas en dos componentes principales. La variable independiente correspondió al tratamiento contable bajo la NIC 16, integrada por dimensiones como reconocimiento inicial, medición posterior, depreciación, vida útil, valor residual y revelación contable de activos fotovoltaicos. Por su parte, la variable dependiente estuvo relacionada con la optimización energética industrial, considerando indicadores como reducción del consumo eléctrico convencional, disminución de costos energéticos, eficiencia operativa y retorno financiero derivado de la generación fotovoltaica.

El procesamiento y análisis de datos se efectuó mediante herramientas estadísticas aplicadas a estudios cuantitativos. Inicialmente se desarrolló un análisis descriptivo utilizando medidas de frecuencia, tendencia central y dispersión, con el propósito de caracterizar las prácticas contables y energéticas de las empresas evaluadas. Posteriormente, se aplicaron pruebas de correlación y modelos de regresión lineal para determinar la relación existente entre el tratamiento contable de activos fotovoltaicos y los indicadores de optimización energética industrial.

Adicionalmente, se incorporó un análisis técnico-financiero de los proyectos fotovoltaicos considerando variables como inversión inicial, costos de mantenimiento, ahorro energético anual, periodo de recuperación, valor actual neto (VAN) y tasa interna de retorno (TIR). Este procedimiento permitió complementar la evaluación contable con criterios de viabilidad económica y sostenibilidad operativa, proporcionando una visión integral del impacto de la infraestructura fotovoltaica dentro del entorno industrial.

Finalmente, el desarrollo de la investigación respetó principios éticos relacionados con confidencialidad, manejo responsable de información empresarial y utilización académica de los datos recopilados. La información obtenida fue empleada exclusivamente con fines científicos, garantizando la protección de la identidad y documentación financiera de las organizaciones participantes.

3. DESARROLLO

Energía fotovoltaica y sostenibilidad industrial

La transformación energética global ha generado un cambio estructural en la manera en que las organizaciones industriales gestionan sus procesos productivos, particularmente en lo relacionado con consumo energético, sostenibilidad operativa y eficiencia económica (Górowski

et al., 2022). En los últimos años, el incremento de los costos eléctricos, las políticas internacionales de descarbonización y la necesidad de reducir emisiones contaminantes han impulsado una mayor adopción de tecnologías basadas en energías renovables, destacándose entre ellas los sistemas de generación fotovoltaica. Actualmente, la energía solar representa uno de los mecanismos más viables para fortalecer la sostenibilidad industrial debido a sus beneficios ambientales, reducción de costos operativos y capacidad de integración con procesos productivos de alta demanda energética (Arias et al., 2016).

Diversos estudios recientes evidencian que los sistemas fotovoltaicos industriales permiten optimizar el consumo eléctrico y mejorar el desempeño económico de las organizaciones mediante modelos de autogeneración y eficiencia energética (Ise y Carrizo, 2026). Asimismo, investigaciones orientadas al sector manufacturero sostienen que la transición hacia energías renovables contribuye directamente al fortalecimiento de indicadores de competitividad y sostenibilidad empresarial (IEA, 2023).

Desde una perspectiva técnica, los sistemas fotovoltaicos transforman la radiación solar en energía eléctrica mediante módulos semiconductores capaces de generar corriente continua que posteriormente es convertida en corriente alterna para su utilización industrial. La eficiencia de estos sistemas depende de variables como irradiación solar, orientación, temperatura, pérdidas por sombreado, degradación de módulos y capacidad de almacenamiento energético. Estudios recientes señalan que la incorporación de tecnologías inteligentes, almacenamiento energético y herramientas digitales de monitoreo ha incrementado significativamente el rendimiento operativo de los proyectos fotovoltaicos industriales, permitiendo optimizar la gestión energética y reducir los tiempos de recuperación de inversión (Ise, 2025).

Generación fotovoltaica y optimización energética industrial

En el contexto industrial, la generación fotovoltaica se ha convertido en una alternativa estratégica para disminuir la dependencia de redes eléctricas convencionales y estabilizar costos energéticos a largo plazo. Investigaciones desarrolladas en edificios industriales y comerciales demuestran que los proyectos fotovoltaicos correctamente dimensionados pueden cubrir porcentajes significativos de demanda eléctrica anual, alcanzando indicadores financieros favorables relacionados con valor actual neto, retorno sobre inversión y periodos de recuperación competitivos (Enríquez et al., 2024).

Adicionalmente, estudios recientes desarrollados en entornos industriales evidencian que la integración de sistemas fotovoltaicos y almacenamiento energético mejora la estabilidad de carga, reduce penalizaciones por demanda máxima y fortalece la sostenibilidad operativa empresarial (Ise, 2025). En consecuencia, la optimización energética industrial ya no depende únicamente del consumo eficiente de electricidad, sino también de la incorporación de tecnologías capaces de generar energía limpia y reducir costos operativos de manera sostenible.

En Ecuador, el aprovechamiento de la energía solar presenta condiciones particularmente favorables debido a la ubicación geográfica del país y sus elevados niveles de irradiación en distintas regiones de la Sierra y Costa. Durante los últimos años, diversas industrias ecuatorianas han comenzado a incorporar sistemas fotovoltaicos orientados al autoconsumo y gestión

eficiente de la energía. Investigaciones realizadas en el contexto ecuatoriano indican que la implementación de infraestructura fotovoltaica industrial genera impactos positivos tanto en reducción de costos eléctricos como en sostenibilidad ambiental, especialmente cuando los proyectos son diseñados bajo criterios técnico-financieros adecuados (Challa et al., 2025).

Tratamiento contable de activos fotovoltaicos bajo la NIC 16

Aunque el análisis técnico de proyectos fotovoltaicos ha tenido un crecimiento importante dentro de la literatura científica, el tratamiento contable asociado a estos activos energéticos continúa siendo un tema insuficientemente desarrollado. En muchas organizaciones, la incorporación de sistemas solares es evaluada únicamente desde indicadores técnicos y financieros tradicionales, dejando de lado aspectos relacionados con reconocimiento contable, depreciación, vida útil, medición posterior y deterioro de activos (Saavedra, 2023). Esta situación genera limitaciones en la valoración real de las inversiones energéticas y afecta la calidad de la información financiera utilizada para la toma de decisiones estratégicas.

En este escenario, la Norma Internacional de Contabilidad 16 (NIC 16) constituye el principal marco normativo aplicable al tratamiento contable de activos asociados con infraestructura fotovoltaica. La NIC 16 regula el reconocimiento, medición y depreciación de propiedades, planta y equipo, estableciendo que un activo debe reconocerse cuando sea probable la obtención de beneficios económicos futuros y su costo pueda medirse de forma fiable (IFRS Foundation, 2024).

Bajo esta normativa, los sistemas de generación fotovoltaica utilizados dentro de procesos industriales cumplen las características necesarias para ser reconocidos como activos productivos de largo plazo debido a su capacidad de generar beneficios económicos mediante ahorro energético y eficiencia operativa. La aplicación de la NIC 16 implica la determinación técnica y financiera de elementos esenciales como costo inicial, gastos atribuibles, estimación de vida útil, valor residual y métodos de depreciación. Estos componentes tienen incidencia directa sobre indicadores financieros empresariales debido a que modifican costos operativos, flujos de efectivo, resultados del ejercicio y evaluación de rentabilidad de proyectos energéticos (Suárez y Olives, 2023).

Desde una perspectiva financiera, una incorrecta aplicación de criterios contables puede distorsionar el análisis económico de inversiones sostenibles, afectando la percepción real sobre viabilidad y desempeño energético-industrial. Por esta razón, diversos autores sostienen que la contabilidad financiera desempeña actualmente un papel fundamental dentro de los procesos de transición energética y sostenibilidad corporativa (Santistevan et al., 2024).

Integración entre contabilidad financiera y eficiencia energética

La literatura reciente destaca la necesidad de integrar evaluaciones técnicas y contables dentro de proyectos energéticos sostenibles. Los nuevos enfoques de gestión energética industrial consideran que la sostenibilidad empresarial no depende únicamente del rendimiento técnico de los sistemas fotovoltaicos, sino también de la adecuada administración financiera y contable de los activos energéticos (Bailón y Mena, 2025).

El análisis integral de proyectos solares requiere incorporar variables relacionadas con depreciación tecnológica, deterioro de activos, costos de mantenimiento y evaluación financiera de largo plazo. Bajo esta perspectiva, los modelos de optimización energética industrial deben considerar simultáneamente indicadores técnicos y financieros para garantizar decisiones empresariales sostenibles y económicamente viables (Sanabria et al., 2022).

Por otra parte, el crecimiento acelerado de la industria fotovoltaica a nivel mundial ha fortalecido la necesidad de desarrollar modelos empresariales basados en eficiencia energética y optimización financiera. Organismos internacionales coinciden en que la expansión de la capacidad fotovoltaica continuará incrementándose durante la próxima década debido a la reducción progresiva de costos tecnológicos y al fortalecimiento de políticas orientadas hacia la transición energética (International Energy Agency [IEA], 2023).

En este contexto, las organizaciones industriales enfrentan el desafío de replantear sus estrategias de inversión incorporando mecanismos de evaluación que integren aspectos técnicos, ambientales y contables. Por ello, la presente investigación se fundamenta en la necesidad de analizar de manera conjunta el tratamiento contable establecido en la NIC 16 y la evaluación de proyectos de generación fotovoltaica aplicados al sector industrial, considerando que la integración entre contabilidad financiera y eficiencia energética constituye actualmente un campo de estudio relevante para la sostenibilidad empresarial y la optimización energética industrial.

4. RESULTADOS

Caracterización de las empresas analizadas

La investigación se desarrolló en 27 empresas industriales localizadas en las ciudades de Quito, Latacunga e Ibarra, pertenecientes principalmente a los sectores manufacturero, textil, alimenticio y metalmecánico. Los resultados evidenciaron que el 51,9 % de las organizaciones evaluadas correspondían al sector manufacturero, mientras que el 22,2 % pertenecían al sector textil, el 14,8 % al sector alimenticio y el 11,1 % a actividades metalmecánicas.

En relación con el nivel de implementación fotovoltaica, el 63 % de las empresas contaban con sistemas conectados a red orientados al autoconsumo industrial, mientras que el 37 % restante mantenía sistemas híbridos con respaldo energético complementario. La capacidad instalada promedio identificada fue de 82,4 kWp, observándose una mayor concentración de proyectos en empresas con altos niveles de consumo eléctrico operativo.

Los resultados también evidenciaron que el principal motivo de adopción de infraestructura fotovoltaica estuvo asociado con la reducción de costos energéticos, representando el 74,1 % de las respuestas obtenidas. Adicionalmente, el 18,5 % de las empresas señalaron que la implementación respondió a políticas de sostenibilidad corporativa y reducción de emisiones, mientras que el 7,4 % indicó razones relacionadas con innovación tecnológica y competitividad empresarial.

Tabla 1.

Caracterización general de las empresas y proyectos fotovoltaicos analizados.

Variable	Categoría	Frecuencia	Porcentaje
Sector industrial	Manufactura	14,00	51,90%
	Textil	6,00	22,20%
	Alimenticio	4,00	14,80%
	Metalmecánico	3,00	11,10%
	Total	27,00	100,00%
Tipo de sistema fotovoltaico	Conectado a red	17,00	63,00%
	Sistema híbrido	10,00	37,00%
	Total	27,00	100,00%
Motivo principal de implementación	Reducción de costos energéticos	20,00	74,10%
	Sostenibilidad corporativa	5,00	18,50%
	Innovación tecnológica	2,00	7,40%
	Total	27,00	100,00%

Aplicación de la NIC 16 en activos fotovoltaicos

El análisis del tratamiento contable permitió identificar que el 81,5 % de las empresas reconocían los sistemas fotovoltaicos dentro de la categoría de propiedades, planta y equipo conforme a los lineamientos establecidos por la NIC 16. Sin embargo, únicamente el 44,4 % mantenía políticas contables específicas relacionadas con activos energéticos y sistemas de generación renovable.

Respecto al reconocimiento inicial del activo, el 77,8 % de las organizaciones incorporaban adecuadamente costos atribuibles relacionados con instalación, transporte, pruebas operativas y adecuaciones técnicas necesarias para el funcionamiento del sistema fotovoltaico. No obstante, se evidenciaron inconsistencias en el tratamiento de costos indirectos y gastos asociados al mantenimiento inicial de los equipos.

Tabla 2.

Aplicación de la NIC 16 y políticas contables relacionadas con activos fotovoltaicos

Variable evaluada	Categoría	Frecuencia	Porcentaje
Reconocimiento contable de activos fotovoltaicos bajo NIC 16	Reconocimiento adecuado	22,00	81,50%
	Reconocimiento parcial	5,00	18,50%
	Total	27,00	100,00%
Existencia de políticas contables para activos energéticos	Sí dispone	12,00	44,40%
	No dispone	15,00	55,60%
	Total	27,00	100,00%

En cuanto a los métodos de depreciación utilizados, el 66,7 % de las empresas aplicaban el método lineal considerando vidas útiles entre 20 y 25 años, en concordancia con las características técnicas de los paneles solares y recomendaciones de fabricantes especializados. Por otra parte, el 22,2 % empleaba estimaciones de vida útil inferiores a 15 años, situación que generaba una mayor carga de depreciación anual y afectaciones sobre los resultados financieros del periodo.

Asimismo, el estudio evidenció que únicamente el 29,6 % de las organizaciones realizaban evaluaciones periódicas relacionadas con deterioro o pérdida de valor de los activos fotovoltaicos. Esta situación reflejó limitaciones en los procesos de actualización contable y monitoreo financiero de infraestructura energética de largo plazo.

Tabla 3.

Depreciación y evaluación de deterioro de activos fotovoltaicos

Variable evaluada	Categoría	Frecuencia	Porcentaje
Método de depreciación aplicado a sistemas fotovoltaicos	Método lineal	18,00	66,70%
	Método acelerado	6,00	22,20%
	Otros métodos	3,00	11,10%
	Total	27,00	100,00%
Evaluación periódica de deterioro de activos fotovoltaicos	Sí realiza	8,00	29,60%
	No realiza	19,00	70,40%
	Total	27,00	100,00%

Impacto financiero de los proyectos de generación fotovoltaica

Los resultados financieros demostraron que la implementación de sistemas fotovoltaicos generó efectos positivos sobre la estructura de costos operativos de las empresas analizadas. En promedio, las organizaciones reportaron una reducción del 31,4 % en gastos asociados al consumo eléctrico convencional durante los primeros tres años de funcionamiento del sistema.

Las empresas con mayor capacidad instalada presentaron disminuciones más significativas en costos energéticos, particularmente en procesos industriales de operación continua. De manera general, el ahorro económico anual promedio alcanzó valores cercanos a USD 48.600 por organización, dependiendo de la capacidad fotovoltaica instalada y del nivel de consumo energético industrial.

Tabla 4.

Impacto financiero y energético de los proyectos fotovoltaicos

Dimensión evaluada	Indicador	Resultado
Desempeño energético	Reducción promedio de costos eléctricos	31,40%
	Ahorro económico anual promedio	USD 48.600
	Capacidad instalada promedio	82,4 kWp
Evaluación financiera	Proyectos con VAN positivo	74,10%
	Periodo promedio de recuperación	4 – 6 años
	TIR promedio	18,70%

En términos de evaluación financiera, el análisis técnico-económico evidenció que el 74,1 % de los proyectos presentaron valores actuales netos positivos, mientras que el periodo promedio de recuperación de inversión se ubicó entre 4 y 6 años. Adicionalmente, las tasas internas de retorno calculadas superaron el costo promedio de financiamiento empresarial en la mayoría de las organizaciones evaluadas.

Los resultados también mostraron que las empresas que aplicaban de manera más adecuada los lineamientos de la NIC 16 lograban una mejor estructuración financiera de sus inversiones energéticas, reflejando mayor estabilidad en indicadores de rentabilidad y una presentación más razonable de los activos energéticos dentro de sus estados financieros.

Tabla 5.

Relación entre el nivel de aplicación de la NIC 16 y el desempeño financiero de proyectos fotovoltaicos

Nivel de aplicación de la NIC 16	Número de empresas	Comportamiento financiero observado	Características identificadas
Alta aplicación	16	Mayor estabilidad financiera	Mejor control de depreciación, adecuada valoración de activos y proyecciones financieras más consistentes
Aplicación moderada	7	Estabilidad financiera parcial	Reconocimiento contable aceptable, pero con limitaciones en políticas de medición y deterioro
Baja aplicación	4	Mayor variabilidad financiera	Inconsistencias en depreciación, reconocimiento parcial de costos y menor precisión en evaluación financiera

Incidencia en la optimización energética industrial

En relación con la variable de optimización energética industrial, las empresas evaluadas reportaron mejoras significativas en eficiencia operativa y estabilidad de consumo energético. El

70,4 % de las organizaciones indicó reducciones importantes en la dependencia de energía proveniente de la red eléctrica convencional durante horarios de mayor demanda.

De igual manera, se identificó una disminución promedio del 28,7 % en indicadores de consumo energético por unidad de producción, especialmente en empresas manufactureras con procesos automatizados y alta demanda eléctrica. Los resultados también evidenciaron mejoras en continuidad operativa y reducción de interrupciones relacionadas con variaciones de suministro energético.

Las organizaciones que incorporaron sistemas de monitoreo digital y control energético presentaron niveles superiores de eficiencia en comparación con aquellas que mantenían únicamente sistemas básicos de generación fotovoltaica. Esto permitió observar que la optimización energética industrial depende no solo de la capacidad instalada, sino también de mecanismos de gestión y seguimiento técnico-operativo.

Tabla 6.

Optimización energética industrial e implementación de tecnologías de monitoreo energético

Dimensión evaluada	Indicador	Resultado
Optimización energética industrial	Reducción de dependencia de la red eléctrica convencional	70,40%
	Reducción del consumo energético por unidad producida	28,70%
	Empresas con mejora operativa significativa	68,50%
	Empresas con sistemas de monitoreo digital	15,00
Implementación tecnológica y monitoreo energético	Empresas sin monitoreo digital	12,00
	Nivel de eficiencia en empresas con monitoreo digital	Alto
	Nivel de eficiencia en empresas sin monitoreo digital	Moderado

Análisis correlacional entre NIC 16 y optimización energética

El análisis estadístico realizado mediante pruebas de correlación evidenció una relación positiva y significativa entre el tratamiento contable bajo la NIC 16 y los indicadores de optimización energética industrial. Los resultados obtenidos mostraron un coeficiente de correlación de Pearson de $r = 0,784$, indicando una asociación considerable entre ambas variables.

Asimismo, el modelo de regresión lineal aplicado permitió identificar que las prácticas contables relacionadas con reconocimiento adecuado de activos, estimación de vida útil y depreciación explicaban aproximadamente el 61 % de la variabilidad observada en indicadores financieros y energéticos de los proyectos fotovoltaicos analizados.

Estos resultados sugieren que una aplicación técnica y financiera adecuada de la NIC 16 contribuye positivamente a la evaluación integral de proyectos de generación fotovoltaica, fortaleciendo la sostenibilidad operativa, la eficiencia energética y la rentabilidad empresarial en entornos industriales.

Tabla 7

Análisis estadístico de la relación entre la aplicación de la NIC 16 y la optimización energética industrial

Análisis estadístico	Variables evaluadas	Resultado obtenido	Interpretación
Correlación de Pearson	Aplicación de la NIC 16 y optimización energética industrial	$r = 0,784$	Correlación positiva alta
Nivel de significancia	NIC 16 y optimización energética	$p < 0,05$	Relación estadísticamente significativa
Regresión lineal (R^2)	Tratamiento contable bajo NIC 16	0,61	El modelo explica el 61 % de la variabilidad de los indicadores energéticos y financieros

Finalmente, los hallazgos obtenidos evidencian que la integración entre contabilidad financiera y gestión energética constituye actualmente un componente estratégico dentro de los procesos de transición energética industrial, especialmente en organizaciones que buscan optimizar costos operativos y fortalecer modelos de sostenibilidad empresarial de largo plazo.

5. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la presente investigación evidencian que la adecuada aplicación de la NIC 16 posee una incidencia significativa sobre la evaluación financiera y el desempeño energético de los proyectos de generación fotovoltaica implementados en entornos industriales. La correlación positiva identificada entre el tratamiento contable de los activos fotovoltaicos y los indicadores de optimización energética confirma que la gestión financiera de infraestructura energética sostenible constituye actualmente un elemento estratégico dentro de los procesos de transición energética empresarial.

Uno de los principales hallazgos del estudio estuvo relacionado con el elevado porcentaje de empresas que reconocen los sistemas fotovoltaicos como propiedades, planta y equipo conforme a los lineamientos establecidos en la NIC 16. Este resultado coincide con lo señalado por Suárez y Olives (2023), quienes sostienen que la correcta aplicación de la NIC 16 en el sector eléctrico fortalece el control financiero de activos tangibles y mejora la razonabilidad de la información

contable asociada a infraestructura energética. En este sentido, los resultados obtenidos reflejan que las organizaciones industriales ecuatorianas han comenzado a incorporar criterios contables más estructurados para la gestión de activos vinculados con generación renovable, especialmente debido al crecimiento de inversiones orientadas a sostenibilidad energética.

No obstante, a pesar del alto nivel de reconocimiento contable observado, la investigación también evidenció limitaciones importantes relacionadas con la existencia de políticas contables específicas para activos energéticos. Más de la mitad de las empresas analizadas no disponían de procedimientos formalizados relacionados con depreciación, deterioro o medición posterior de infraestructura fotovoltaica. Este comportamiento resulta consistente con investigaciones recientes desarrolladas en empresas del sector energético, donde se identifican debilidades en procesos de revelación y actualización contable de activos de largo plazo asociados con proyectos energéticos sostenibles (Plá et al., 2025).

En relación con los métodos de depreciación aplicados, el predominio del método lineal evidencia una tendencia empresarial orientada a distribuir de manera uniforme el costo depreciable de los sistemas fotovoltaicos durante su vida útil estimada. Esta práctica resulta coherente considerando que los paneles solares industriales presentan estabilidad operativa prolongada y degradación técnica progresiva. Sin embargo, la limitada realización de pruebas periódicas de deterioro observada en la muestra estudiada refleja una debilidad relevante en la administración financiera de activos energéticos, particularmente debido a que factores como obsolescencia tecnológica, degradación de módulos y variaciones en eficiencia energética pueden afectar directamente el valor recuperable de los sistemas instalados.

Desde la perspectiva financiera, los resultados demostraron que la implementación de infraestructura fotovoltaica generó reducciones importantes en costos energéticos y mejoras significativas en indicadores de rentabilidad empresarial. El ahorro promedio reportado por las empresas analizadas confirma que los proyectos de generación fotovoltaica constituyen actualmente inversiones económicamente viables para organizaciones industriales con altos niveles de consumo energético. Estos hallazgos guardan relación con estudios recientes desarrollados sobre evaluación económica de proyectos solares, donde se establece que la integración de tecnologías fotovoltaicas permite optimizar costos operativos y mejorar el retorno financiero empresarial a mediano plazo (Ise, 2025).

Asimismo, el elevado porcentaje de proyectos con valores actuales netos positivos y tasas internas de retorno superiores al costo promedio de financiamiento empresarial evidencia que las inversiones fotovoltaicas no solamente poseen beneficios ambientales, sino también ventajas económicas sostenibles. En este contexto, la literatura reciente sostiene que la expansión de proyectos energéticos renovables depende cada vez más de modelos integrales de evaluación capaces de combinar variables técnicas, financieras y contables dentro del proceso de toma de decisiones empresariales (Deloitte, 2022).

Otro aspecto relevante identificado en la investigación corresponde al impacto generado por los sistemas de monitoreo digital y control energético sobre la eficiencia operativa industrial. Las empresas que incorporaron tecnologías de supervisión energética presentaron mayores niveles

de optimización en comparación con aquellas que únicamente disponían de sistemas básicos de generación fotovoltaica. Este comportamiento confirma que la eficiencia energética industrial depende no solo de la capacidad instalada de generación renovable, sino también de mecanismos tecnológicos orientados al monitoreo, análisis y administración inteligente del consumo energético.

Desde el análisis estadístico, el coeficiente de correlación obtenido entre aplicación de la NIC 16 y optimización energética industrial evidenció una relación positiva considerable. Este resultado permite inferir que las organizaciones que desarrollan prácticas contables más estructuradas relacionadas con reconocimiento, depreciación y valoración de activos fotovoltaicos presentan simultáneamente mejores niveles de sostenibilidad operativa y estabilidad financiera. En consecuencia, la NIC 16 no debe interpretarse únicamente como un marco normativo de registro contable, sino como una herramienta estratégica capaz de fortalecer la gestión financiera de inversiones energéticas sostenibles (Saavedra, 2023).

Los hallazgos obtenidos también permiten reflexionar sobre la creciente necesidad de integrar contabilidad financiera y gestión energética dentro del entorno industrial. Tradicionalmente, los proyectos fotovoltaicos han sido evaluados principalmente desde perspectivas técnicas relacionadas con capacidad instalada, irradiación solar y eficiencia de generación (Challa et al., 2025). Sin embargo, los resultados del presente estudio evidencian que la sostenibilidad financiera y operativa de estos proyectos depende igualmente de una adecuada gestión contable de los activos energéticos involucrados.

Adicionalmente, la investigación demuestra que las organizaciones industriales ecuatorianas se encuentran atravesando un proceso progresivo de modernización energética impulsado tanto por factores económicos como por criterios de sostenibilidad empresarial. La reducción de costos eléctricos, la estabilidad operativa y la necesidad de optimizar recursos energéticos han convertido a la generación fotovoltaica en una alternativa estratégica para el sector industrial (Rios et al., 2024). Bajo esta perspectiva, la correcta aplicación de estándares internacionales como la NIC 16 adquiere relevancia no solo desde el ámbito contable, sino también como elemento fundamental para fortalecer procesos de inversión, evaluación financiera y sostenibilidad energética de largo plazo.

Finalmente, los resultados obtenidos permiten establecer que la integración entre tratamiento contable y evaluación técnico-financiera de proyectos fotovoltaicos constituye un campo de investigación todavía insuficientemente explorado dentro de economías emergentes. Por ello, futuras investigaciones podrían profundizar en variables relacionadas con deterioro de activos energéticos, revaluación de infraestructura sostenible, incorporación de tecnologías inteligentes y aplicación de normas internacionales vinculadas con sostenibilidad corporativa y transición energética industrial.

6. CONCLUSIONES

La presente investigación permitió determinar que el tratamiento contable establecido en la NIC 16 posee una incidencia significativa sobre la evaluación financiera y el desempeño operativo de los proyectos de generación fotovoltaica implementados en empresas industriales ecuatorianas.

Los resultados evidenciaron que las organizaciones que aplican de manera adecuada criterios relacionados con reconocimiento, depreciación, medición y valoración de activos fotovoltaicos presentan mayores niveles de estabilidad financiera, sostenibilidad operativa y eficiencia energética. En consecuencia, la NIC 16 no constituye únicamente un mecanismo normativo de registro contable, sino una herramienta estratégica que contribuye a fortalecer la administración financiera de inversiones energéticas de largo plazo.

Asimismo, el estudio demostró que la incorporación de sistemas fotovoltaicos genera efectos positivos sobre la optimización energética industrial, reflejados en la reducción de costos eléctricos, disminución de dependencia de la red convencional y mejoras en eficiencia operativa. Los ahorros energéticos identificados en las empresas analizadas confirmaron la viabilidad económica de los proyectos fotovoltaicos dentro del entorno industrial ecuatoriano, especialmente en organizaciones con elevados niveles de consumo energético. Estos resultados guardan relación con investigaciones recientes que destacan el papel de la energía solar como mecanismo eficiente para mejorar competitividad y sostenibilidad empresarial (International Energy Agency [IEA], 2023).

Desde la perspectiva financiera, los indicadores obtenidos evidenciaron que la mayoría de los proyectos analizados presentaron valores actuales netos positivos y tasas internas de retorno superiores al costo promedio de financiamiento empresarial. Este comportamiento confirma que las inversiones fotovoltaicas pueden constituirse en activos estratégicos generadores de beneficios económicos sostenibles, siempre que exista una adecuada planificación técnica y contable durante su implementación y administración. En este sentido, la correcta aplicación de la NIC 16 favorece una representación financiera más razonable de los activos energéticos y fortalece la calidad de la información utilizada en procesos de toma de decisiones empresariales.

No obstante, la investigación también permitió identificar limitaciones relevantes relacionadas con la gestión contable de infraestructura energética sostenible. Aunque una parte importante de las empresas reconocía adecuadamente los sistemas fotovoltaicos como propiedades, planta y equipo, persistieron debilidades asociadas con políticas contables específicas, pruebas periódicas de deterioro y procesos de actualización financiera de los activos energéticos. Esta situación evidencia la necesidad de fortalecer mecanismos técnicos y normativos orientados al control, monitoreo y valoración de proyectos fotovoltaicos dentro del entorno industrial.

De igual manera, los resultados demostraron que las empresas que incorporaron herramientas de monitoreo digital y sistemas de control energético alcanzaron mayores niveles de eficiencia operativa respecto a aquellas que únicamente disponían de infraestructura básica de generación solar. Este hallazgo confirma que la optimización energética industrial depende no solo de la capacidad instalada de generación renovable, sino también de la integración de tecnologías inteligentes orientadas a la supervisión y administración eficiente del consumo energético.

El análisis estadístico realizado permitió corroborar la existencia de una relación positiva y significativa entre la aplicación de la NIC 16 y los indicadores de optimización energética industrial. La correlación obtenida evidenció que las organizaciones con prácticas contables más estructuradas relacionadas con activos fotovoltaicos presentan simultáneamente mejores

resultados financieros y energéticos. Bajo esta perspectiva, la integración entre contabilidad financiera y gestión energética adquiere actualmente un papel fundamental dentro de los procesos de transición energética industrial y sostenibilidad corporativa.

Finalmente, la investigación aporta evidencia científica sobre la importancia de desarrollar modelos integrales de evaluación capaces de combinar variables técnicas, financieras y contables dentro de proyectos de generación fotovoltaica. En economías emergentes como Ecuador, donde la transición hacia energías renovables continúa en proceso de expansión, resulta indispensable fortalecer la aplicación de estándares internacionales de información financiera en proyectos energéticos sostenibles. Por ello, futuras investigaciones deberían profundizar en aspectos relacionados con deterioro de activos energéticos, revaluación de infraestructura sostenible, aplicación de tecnologías inteligentes y adopción de marcos internacionales vinculados con sostenibilidad y reporte corporativo ambiental.

7. REFERENCIAS

- Arias, H. D. A., Arroyo, L. D., & Cardona, A. J. A. (2016). Evaluación del potencial de generación fotovoltaica en la ciudad de Quibdó, Chocó. *Elementos*, 6(6), 109-123. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5676775>
- Baiani, S., Altamura, P., Turchetti, G., & Romano, G. (2024). Transizione energetica e circolare del patrimonio industriale. Il caso dell'ex SNIA a Roma/Energy and Circular Transition of the Industrial Heritage. The Ex SNIA case in Rome. *Agathón*, 15, 190-203. <https://iris.uniroma1.it/handle/11573/1714688>
- Bailón, J. M. G., & Mena, K. E. S. (2022). Implicaciones contables y tributarias de la NIC 16 en la conciliación tributaria de Ecuafed SA, Santa Elena 2021. *Visionario Digital*, 6(2), 107-126. <https://cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/VisionarioDigital/article/view/2160>
- Caivano, G. (2022). NIIF 16: revisión doctrinaria e investigación empírica de su impacto en Argentina. *Capic Review*, 20(1), 7. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8963197>
- Carrión, Á. G., Salazar, D. S. A., Aimacaña, N. L., & Guanotuña, M. A. (2024). La sostenibilidad ambiental en la industria manufacturera del Ecuador. Un estudio desde las fuentes energéticas. *Revista Ciencia UNEMI*, 17(44), 148-161. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9752390>
- Challa, K., Sarat, K., & Franco, F. (2025). A comprehensive review of smart energy management systems for photovoltaic power generation utilizing the internet of things. *Unconventional Resources*, 100197. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2666519025000639>
- Deloitte. (2022). *Renewable energy reporting considerations*. Deloitte Insights. <https://dart.deloitte.com/USDART/home/publications/deloitte/industry/power-utilities-renewables/renewable-energy-reporting-considerations>

- Enríquez, R. F. C., Domínguez, D. P. G., & Correa, D. O. (2024). Evolución tecnológica de la generación solar fotovoltaica: una revisión de la literatura en la última década. *Revista Tecnológica-ESPOL*, 36(2), 13-31. <https://rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/es/article/view/1158>
- Fajri, H., Rieß, S., Mallada, R. C., Ruoff, I., & Wensing, M. (2023). Optical measurements of two cylindrical and conical heavy-duty diesel injector nozzels—A comparison of reference diesel, HVO, and RME fuels. *Energy Conversion and Management*, 285, 117018. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.117018>
- Górowski, I., Bąk, I., & Cheba, K. (2022). The Impact of a New Accounting Standard on Assets, Liabilities and Leverage of Companies: Evidence from Energy Industry. *Energies*, 15(4), 1293. <https://doi.org/10.3390/en15041293>
- IFRS Foundation. (2024). *International Accounting Standard 16: Property, Plant and Equipment*. IFRS Accounting Standards. <https://www.ifrs.org/issued-standards/list-of-standards/ias-16-property-plant-and-equipment/>
- International Energy Agency (IEA). (2023). *Renewables 2023: Analysis and forecast to 2028*. IEA Publications. <https://www.iea.org/reports/renewables-2023>
- Ise, M. A. (2025). Territorios entre déficits y oportunidades: modalidades de generación fotovoltaica en la transición energética pampeana. *Huellas*, 29(2), 131-149. <https://doi.org/10.19137/huellas-2025-2918>
- Ise, M. A., & Carrizo, S. C. (2026). Generación distribuida e iniciativas colectivas en la trayectoria fotovoltaica pampeana. *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, 30(1), 1-23. <https://revistes.ub.edu/index.php/ScriptaNova/article/view/49672>
- Plá, J., Videla, M., Eyra, I., Bolzi, C. G., Pérez, J. I., Muñoz, S., ... & Bogado, M. M. (2025). Avances y desafíos en la implementación de generación fotovoltaica distribuida en la CNEA. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente-AVERMA*, 29, 324-335. <https://portalderevistas.unsa.edu.ar/index.php/averma/article/view/5269>
- Ríos-González, K. F., Carvajal-Romero, H., Prado-Carpio, E., & Espinoza-Aguilar, M. (2024). Activos biológicos de una camaronera: NIC 41 y su aplicación en el ámbito contable tributario: Biological assets of a shrimp farm: NIC 41 and its application in tax accounting. *Multidisciplinary Latin American Journal (MLAJ)*, 2(2), 107-123. <https://mlaj-revista.org/index.php/journal/article/view/26>
- Saavedra, M. O. R. (2023). Revaluation of Property, Plant and Equipment under the criteria of IAS 16: Property, Plant and Equipment. *Management:(Montevideo)*, 1, 3. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9870209.pdf>
- Sanabria, J. A. G., Ruiz, E. C., & García, L. F. R. (2022). Cumplimiento de las revelaciones de propiedad, planta y equipo: Mercado Integrado Latinoamericano (2018-2019). *En-Contexto: Revista de Investigación en Administración, Contabilidad, Economía y Sociedad*, 10(16), 79-98. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8753165>

- Santistevan, V. P. V., Leon, Y. S. V., & Ceballos, D. A. S. (2024). Aplicación de la NIC 16 en el Contexto Empresarial Ecuatoriano: Análisis de las Empresas de Actividades de Atención de la Salud Humana. *X-Pedientes Económicos*, 8(19), 75-91. [https://ojs.supercias.gob.ec/index.php/X-pedientes Economicos/article/view/167](https://ojs.supercias.gob.ec/index.php/X-pedientes_Economicos/article/view/167)
- Suárez, M., & Olives, P. (2023). Aplicación de la NIC 16 en activos energéticos y su impacto en la razonabilidad financiera del sector eléctrico. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(5), 1124–1142. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i5.6566

Monitoring the Technification of PET Recycling in Educational Institutions.

Seguimiento de la Tecnificación del Reciclaje de PET en Instituciones Educativas

Jonathan Daniel Valencia Lucero¹[0009-0008-7067-0663], Nestor Emilio Cedeño Mendoza²[0009-0001-2327-8895], Carla Estefanía Araujo Molina³[0009-0008-9344-5530]

¹ Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador
E-mail: jdvalencialucero@istct.edu.ec

² Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador
E-mail: ncedeno@istct.edu.ec

³ Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador
E-mail: cearaujomolina@istct.edu.ec

Recibido: 11/05/2026

Aceptado: 12/06/2026

Publicado: 30/06/2026

RESUMEN

La contaminación por plásticos es uno de los problemas ambientales más críticos de nuestro tiempo. A nivel global, se generan aproximadamente 359 millones de toneladas de plástico anualmente, de las cuales una fracción significativa termina en vertederos o en el medio ambiente, causando daños irreparables a los ecosistemas. En Ecuador, la situación es crítica, con una producción diaria de 15,000 toneladas de residuos, de las cuales solo el 4% se recicla. Las botellas de Polietileno Tereftalato (PET) representan una parte considerable de estos residuos debido a su uso masivo como envases de bebidas y su lenta degradación. Frente a este escenario, las instituciones educativas pueden desempeñar un papel crucial en la promoción del reciclaje y la sostenibilidad mediante la implementación de máquinas compactadoras de botellas plásticas. Estas máquinas no solo reducen el volumen de residuos, facilitando su transporte y reciclaje, sino que también sirven como herramientas educativas para fomentar una cultura de sostenibilidad entre estudiantes y personal docente. Este artículo analiza la tecnificación del reciclaje de PET en el Instituto Superior Tecnológico Central Técnico (ISTCT) y la importancia del seguimiento en la implementación de estas tecnologías. A partir de los registros semestrales del Club "Juntos por el Ambiente" (2023-I a 2025-II), se realiza un análisis descriptivo y de tendencia de la recolección de PET, que muestra un crecimiento sostenido pese a que el proceso continúa realizándose de forma manual y la máquina compactadora desarrollada en la institución aún no se encuentra en operación. El estudio destaca que, sin mecanismos de monitoreo y seguimiento, los beneficios técnicos, ambientales y educativos de estas iniciativas corren el riesgo de diluirse, y explora las implicaciones de su adopción en un marco más amplio de políticas públicas y estrategias de sostenibilidad.

Palabras clave: seguimiento; reciclaje; compactadora; PET; sostenibilidad; educación ambiental.

ABSTRACT

Plastic pollution is one of the most pressing environmental problems of our time. Globally, approximately 359 million tons of plastic are generated annually, a significant fraction of which ends up in landfills or the environment, causing irreversible damage to ecosystems. In Ecuador, the situation is critical, with 15,000 tons of solid waste produced daily, of which only 4% is recycled. Polyethylene Terephthalate (PET) bottles represent a substantial portion of this waste due to their widespread use as beverage containers and their slow degradation. Educational institutions can play a crucial role in promoting recycling and sustainability by implementing plastic bottle compacting machines. These machines not only reduce waste volume, facilitating transportation and recycling, but also serve as educational tools to foster a culture of sustainability among students and faculty. This paper analyzes the technification of PET recycling at the Instituto Superior Tecnológico Central Técnico (ISTCT) and the importance of monitoring in the implementation of these technologies. Drawing on the semester records of the "Juntos por el Ambiente" Club (2023-I to 2025-II), a descriptive and trend analysis of PET collection is performed, showing sustained growth even though the process is still carried out manually and the compacting machine developed at the institution is not yet operational. The study emphasizes that, without monitoring and follow-up mechanisms, the technical, environmental, and educational benefits of these initiatives risk being lost, and it explores the implications of their adoption within a broader framework of public policies and sustainability strategies.

Index terms: monitoring; recycling; compactor; PET; sustainability; environmental education.

1. INTRODUCCIÓN.

La contaminación por plásticos es uno de los desafíos ambientales más significativos del siglo XXI. Según datos de Lezama Bacilio (2024), a nivel global se producen alrededor de 359 millones de toneladas de plástico cada año. Aunque este material ha revolucionado la industria y facilitado la vida moderna, su uso masivo y desecho inadecuado han generado una crisis ambiental sin precedentes. Los plásticos, particularmente el Polietileno Tereftalato (PET), son altamente resistentes a la degradación, lo que contribuye a su acumulación en los ecosistemas terrestres y marinos.

En Ecuador, la situación es alarmante. Según Gaona-Castillo y Contreras-Jaramillo (2024), el país genera 15,000 toneladas de residuos sólidos al día, de las cuales solo una pequeña fracción, el 4%, se recicla. Con respecto a la generación de residuos plásticos, el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF, 2024) menciona que se generaron 627 000 toneladas, de las cuales el 7,7% se reciclaron.

A pesar que el Ecuador, fue el primer país de América Latina en formar parte de la organización Global Plastic Action Partnership (GPAP), con el objetivo de definir acciones que eliminen la contaminación por residuos plásticos en el país, se observa un bajo índice de reciclaje, mismo que refleja la falta de infraestructura adecuada, políticas públicas insuficientes y una limitada conciencia ciudadana sobre la importancia de la gestión sostenible de residuos.

Motivo por el cual se intenta verificar si las medidas ambientales y la tecnificación por parte de

las instituciones de educación superior trascienden el tiempo, o por otra parte se diluyen por varios factores como son el seguimiento. Para el presente estudio se enfocará principalmente en los plásticos PET buscando responder ¿En qué medida la tecnificación del reciclaje de PET contribuye a fortalecer la cultura ambiental en instituciones de educación superior?

Las botellas plásticas de Polietileno Tereftalato (PET) representan una parte significativa de estos residuos. Según Meza de Luna et al. (2022), el PET es un polímero ampliamente utilizado en envases de bebidas, pero su desecho masivo y lenta degradación lo convierten en una amenaza ambiental significativa. Sin embargo, se debe reconocer que el PET, es uno de los plásticos, que es potencialmente reciclable, debido a su estructura química, misma que presenta una cadena corta de CH₂ y ácido tereftálico.

Frente a este escenario, las instituciones educativas pueden desempeñar un papel crucial en la promoción del reciclaje y la sostenibilidad mediante la implementación de máquinas compactadoras de botellas plásticas. Estas máquinas no solo reducen el volumen de residuos, facilitando su transporte y reciclaje, sino que también sirven como herramientas educativas para fomentar una cultura de sostenibilidad entre estudiantes y personal docente.

El reciclaje en las instituciones educativas no solo representa una solución a la creciente problemática de los residuos sólidos, sino que también se convierte en un espacio de aprendizaje práctico para los estudiantes. Según Pérez Segovia y Nuñez Solano (2025), las instituciones de educación superior pueden percibirse como “mini-ciudades”, tienen un impacto ambiental significativo debido a la gran cantidad de residuos generados por sus comunidades. Motivo por el cual es necesario implementar programas de reciclaje dentro de los campus para generar en los futuros profesionales conciencia ecológica que los prepare para enfrentar los desafíos globales relacionados con el cambio climático y la contaminación.

En este sentido, los programas de reciclaje se deben enmarcar con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), como un compromiso continuo para contribuir de forma activa con la sostenibilidad del planeta.

La tecnificación del reciclaje en instituciones educativas, a través de proyectos ambientales como la construcción de máquinas compactadoras y recicladoras, permite a los estudiantes de carreras tecnológicas abarcar problemas reales. Ejemplos como los presentados por Pérez et al. (2026), en el que estudiantes de mecatrónica realizaron una compactadora de Botellas en la Universidad Tecnológica de Santander.

Por consiguiente, en el ISTCT se planteó el proyecto “Juntos por el reciclaje”, mismo que es liderado por el Club “Juntos por el Ambiente”. Este proyecto busca fomentar el reciclaje de materiales inorgánicos, entre los cuales se encuentran las botellas PET, mediante la implementación de un sistema de recolección, clasificación y almacenamiento con la finalidad de concientizar y sensibilizar a la comunidad educativa.

En este marco, el proyecto se alinea con los ODS; en particular con el ODS 4 (educación de calidad), debido a que permite que los estudiantes adquieran conocimientos para promover el desarrollo sostenible y, por tanto, formar profesionales con conciencia ambiental y competencias aplicadas en sostenibilidad.

Por otra parte, contribuye al ODS 11 (ciudades y comunidades sostenibles), mediante la

instalación de puntos de recolección y campañas de sensibilización que generan hábitos responsables con el cuidado del ambiente, y que luego se trasladan a la vida cotidiana de la comunidad educativa. Asimismo, la gestión de residuos reciclables fomenta prácticas responsables, acción que se alinea con el ODS 12 (producción y consumo responsable). Finalmente, la clasificación y gestión de materiales inorgánicos reciclables permite reducir emisiones y apoya a la mitigación del cambio climático, aportando centralmente en el ODS 13 (acción por el clima).

Además de mejorar las actividades medioambientales estas iniciativas fortalecen los conocimientos prácticos propios de las carreras tecnológicas e ingenierías, estas iniciativas tienen un impacto positivo en la cultura de sostenibilidad. Para Moreira Ortega et al. (2023), los programas de reciclaje en instituciones de Educación Superior generan una cultura de reciclaje a largo plazo. Al involucrar a los alumnos en pensar nuevas formas de optimizar los procesos de reciclaje como construcción de compactadoras o extrusoras, brindándoles un acercamiento a problemas reales lo cual les motiva a desarrollar soluciones innovadoras para problemas ambientales.

De este modo, las instituciones de educación superior no solo contribuyen al cuidado del medio ambiente, sino que también forman profesionales comprometidos con la sostenibilidad y la economía circular. Por lo cual las experiencias aprendidas en estos procesos sirven para su aplicación en la vida práctica la misma que puede ser replicada, pero con mejoras en el campo industrial.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio utiliza una metodología de revisión documental para analizar la implementación de máquinas compactadoras de botellas plásticas en instituciones educativas, así como las estadísticas del Club “Juntos por el Ambiente” del ISTCT. Se revisaron artículos científicos, informes técnicos, tesis de estudiantes y estudios de caso que abordan la gestión de residuos plásticos, el diseño de máquinas compactadoras y las estrategias educativas para la promoción del reciclaje.

Para caracterizar la evolución del reciclaje de PET se realizó un análisis estadístico descriptivo y de tendencia sobre los registros semestrales del Club “Juntos por el Ambiente” correspondientes al período 2023-I a 2025-II (seis observaciones). Se calcularon la media, la desviación estándar, el coeficiente de variación y los valores mínimo y máximo, así como la variación porcentual intersemestral. La tendencia temporal se estimó mediante un modelo de regresión lineal simple del peso recolectado en función del semestre, reportando la pendiente y el coeficiente de determinación (R^2). Dado el reducido tamaño muestral, los resultados se interpretan con carácter exploratorio y descriptivo, sin pretensiones de inferencia causal.

El diseño y construcción de máquinas compactadoras ha sido un tema ampliamente abordado en la literatura reciente, destacándose trabajos como el de Meza de Luna et al. (2022), quienes desarrollaron una máquina extrusora de PET reciclado. Mismo se centró en transformar botellas plásticas en filamentos mediante un proceso de calentamiento y compactación, contribuyendo a la reutilización de materiales plásticos en nuevos productos. En esta misma línea, el estudio de Pezo Heredia y Villacres Carcelén (2019) describe el diseño y construcción de una máquina

compactadora en el Instituto Superior Tecnológico Central Técnico (ISTCT), enfocada en la reducción volumétrica de botellas PET para optimizar su transporte y almacenamiento. Ambos enfoques tecnológicos ofrecen soluciones prácticas para abordar la problemática de los residuos plásticos y son ejemplos claros de cómo la innovación puede impulsar la sostenibilidad.

La gestión de residuos sólidos se presenta como un desafío clave. Pérez Segovia y Nuñez Solano (2025) alinean su investigación a modelos (I+D+i) investigación, desarrollo e innovación, que buscan generar procesos sostenibles en el manejo de residuos sólidos producidos en el propio campus. Los centros de estudio deben ser pioneros para liderar iniciativas que promuevan prácticas responsables y fomenten una cultura de reciclaje. Este enfoque no solo mejora la gestión de residuos, sino que también convierte a las instituciones en laboratorios vivos para el desarrollo de soluciones innovadoras. Investigaciones como las de Gaona-Castillo y Contreras-Jaramillo (2024) analizan el papel de las políticas públicas en Ecuador, en el cual aún existen necesidad de articular nuevas tecnologías que permitan cumplir con normativas. Es aquí donde las Instituciones de educación superior pueden tener su nicho para integrar la tecnología, la educación y las políticas públicas en un enfoque integral para la gestión de residuos.

El presente artículo analizando las lecciones aprendidas desarrolla un análisis de la máquina elaborada por Pezo-Heredia y Villacres-Carcelén (2019), quienes diseñaron y construyeron una máquina compactadora de botellas plásticas en el ISTCT en Quito, Ecuador. Este proyecto se centró en la implementación de un sistema mecánico de tipo biela-manivela para la compresión eficiente de botellas PET, logrando reducir su volumen en un 75%. Además de resolver un problema práctico relacionado con la acumulación de residuos en el campus, la máquina sirvió como herramienta educativa para que los estudiantes aplicaran conocimientos técnicos en diseño mecánico, cálculo estructural y sistemas de transmisión. Este ejemplo demuestra cómo las instituciones educativas pueden convertirse en espacios de aprendizaje práctico, promoviendo la sostenibilidad y formando profesionales capacitados para abordar retos ambientales mediante soluciones tecnológicas innovadoras.

Al contrastar los datos proporcionados por el Club "Juntos por el Ambiente" del mismo ISTCT, se observa que, si bien existe un registro del reciclaje de PET y otros residuos desde el año 2022, el proceso de compactación de botellas sigue realizándose de manera manual. Esto evidencia una brecha entre el diseño de la máquina compactadora desarrollada en 2019 y su implementación efectiva en la actualidad. Una posible explicación para esta desconexión podría estar relacionada con los efectos de la pandemia, la cual pudo haber limitado los recursos, la logística o las capacidades operativas necesarias para poner en funcionamiento dicha tecnología, retrasando así su integración en las actividades de reciclaje del instituto. Este caso resalta la importancia de garantizar no solo el diseño de soluciones tecnológicas, sino también su implementación y sostenibilidad en el tiempo.

3. RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados obtenidos a lo largo del período comprendido entre 2023 y 2025 analizado, destacando las tendencias en la recolección y reciclaje de botellas plásticas de PET en la institución. Los datos recopilados reflejan el impacto de las iniciativas implementadas para optimizar la gestión de residuos, así como los avances de la articulación de propuestas de mejora en el proceso de reciclaje entre la comunidad educativa. Este análisis

permite evaluar la efectividad de las estrategias aplicadas y las lecciones aprendidas para futuros semestres.

Tabla 1.

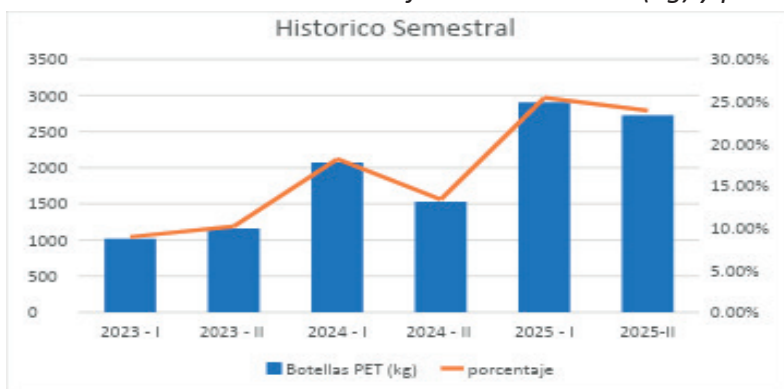
Recolección semestral de botellas PET (kg) y porcentaje respecto al total, 2023-I a 2025-II

Período	Botellas PET (kg)	Porcentaje
2023 - I	1019,3	8,93%
2023 - II	1158,8	10,16%
2024 - I	2072,5	18,17%
2024 - II	1527,36	13,39%
2025 - I	2901,98	25,44%
2025-II	2728,37	23,92%
TOTAL	11408,31	

El análisis de los datos de la Tabla 1 muestra una tendencia general de crecimiento en la recolección de botellas PET a lo largo del período 2023–2025. En el año 2023 se registran los valores más bajos, con 1019,3 kg (8,93%) en el primer semestre y 1158,8 kg (10,16%) en el segundo, lo que evidencia una etapa inicial del programa de reciclaje. Para 2024 se observa un incremento importante en el primer semestre con 2072,5 kg (18,17%), aunque en el segundo semestre se presenta una leve disminución a 1527,36 kg (13,39%). El crecimiento más significativo se alcanza en 2025, donde se registran los mayores volúmenes de recolección: 2901,98 kg (25,44%) en el primer semestre y 2728,37 kg (23,92%) en el segundo. En conjunto, el período analizado alcanza un total de 11.408,31 kg de PET recolectado, lo que evidencia un fortalecimiento progresivo de las prácticas de reciclaje y una mayor participación de la comunidad educativa en las actividades de gestión ambiental.

Figura 1.

Evolución semestral del reciclaje de botellas PET (kg) y porcentaje acumulado, 2023-2025.



La figura 1 muestra la evolución semestral del reciclaje de botellas PET (en kilogramos) y su porcentaje acumulado respecto al total reciclado entre 2023 y 2025. Se observa un aumento significativo en el peso de las botellas recicladas, especialmente en el primer semestre de 2024 y el primer semestre de 2025. Esto sugiere una mejora en las prácticas de reciclaje y un proceso de maduración institucional con respecto al proceso de reciclaje, que inicia con campañas iniciales con volúmenes modestos a un sistema consolidado con impacto ambiental, educativo y

social. Estos resultados fueron impulsados por iniciativas de concienciación ambiental, la estructuración de un sistema de recolección, clasificación, almacenamiento y gestión de material PET. Así como también, la implementación de tecnologías de reciclaje en la institución.

El análisis estadístico de los seis semestres registrados confirma esta tendencia. Durante el período 2023-I a 2025-II se recolectaron 11.408,31 kg de PET, con una media de 1.901,39 kg por semestre y una desviación estándar de 797,97 kg, lo que equivale a un coeficiente de variación del 42,0% que refleja una marcada variabilidad entre períodos. La recolección osciló entre un mínimo de 1.019,30 kg (2023-I) y un máximo de 2.901,98 kg (2025-I), con un crecimiento acumulado del 167,7% entre el primer y el último semestre.

El modelo de regresión lineal aplicado a la serie temporal evidencia una tendencia creciente, con una pendiente de 378,0 kg por semestre y un coeficiente de determinación $R^2 = 0,785$, lo que indica que el tiempo explica aproximadamente el 79% de la variación observada en el peso recolectado. No obstante, la variación intersemestral no fue monótona (+13,7%, +78,8%, -26,3%, +90,0% y -6,0%), apreciándose que los primeros semestres de cada año concentran mayores volúmenes de recolección que los segundos. Dado el tamaño muestral reducido, estos resultados deben interpretarse como una tendencia exploratoria; el incremento sostenido se asocia al fortalecimiento de las campañas de concienciación y a la recolección manual, ya que la máquina compactadora aún no se encuentra en operación.

Tabla 2.

Estadísticos descriptivos y de tendencia del PET recolectado (2023-I a 2025-II)

Estadístico	Valor
Total recolectado (kg)	11.408,31
Media semestral (kg)	1.901,39
Desviación estándar (kg)	797,97
Coeficiente de variación	42,0%
Mínimo (kg)	1.019,30 (2023-I)
Máximo (kg)	2.901,98 (2025-I)
Crecimiento acumulado	167,7%
Pendiente (regresión)	378,0 kg/semestre
Coef. de determinación (R^2)	0,785

El ISTCT dispone de una máquina compactadora de botellas PET desarrollada internamente por Pezo Heredia y Villacres Carcelén (2019), junto con sus diagramas y esquemas técnicos. La institución cuenta, por tanto, con el activo tecnológico necesario para tecnificar el proceso; no obstante, según se constató, a la fecha de este estudio la recolección y el manejo del PET siguen realizándose de forma manual.

Figura 2.

Recolección y clasificación manual de botellas PET por estudiantes del ISTCT.



La figura 2 muestra un claro ejemplo del compromiso de los estudiantes del ISTCT en las actividades de reciclaje, específicamente en la recolección y clasificación manual de botellas plásticas de PET. Este esfuerzo refleja la importancia del papel de las instituciones educativas como agentes de cambio en la formación de una cultura de sostenibilidad. Según Moreira Ortega et al. (2023), las instituciones educativas son entornos ideales para transformar los hábitos de las comunidades hacia prácticas más responsables, especialmente mediante la implementación de programas de reciclaje y sostenibilidad. Sin embargo, como se aprecia en la imagen, el proceso actual de recolección y clasificación del PET es manual, lo que limita la eficiencia y sostenibilidad de las actividades.

La participación estudiantil en los programas de reciclaje es fundamental para promover una cultura ambiental responsable dentro de las instituciones educativas. El reciclaje, especialmente de materiales como el PET, contribuye a reducir la contaminación, disminuir el volumen de residuos y aprovechar recursos que pueden reincorporarse a nuevos procesos productivos. Cuando los estudiantes se involucran activamente en estas iniciativas, no solo apoyan la gestión adecuada de los residuos, sino que también desarrollan conciencia ambiental, hábitos sostenibles y un sentido de responsabilidad social.

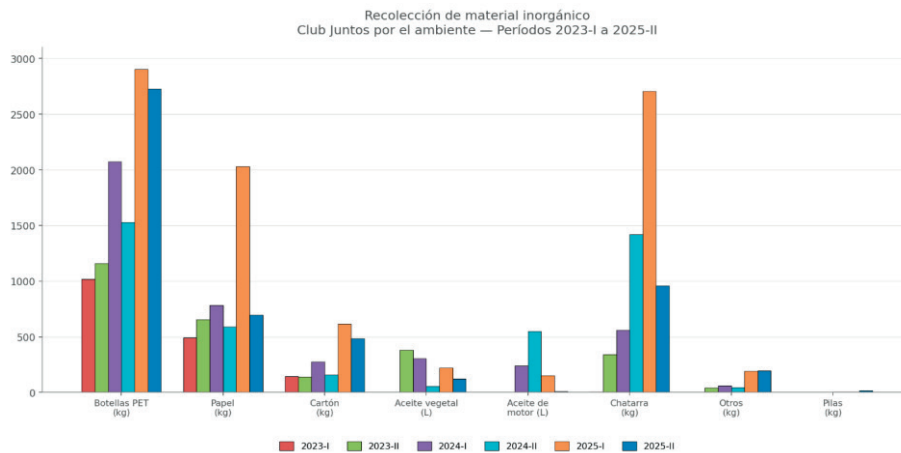
Tabla 3.

Recolección de material inorgánico por tipo de residuo (kg - l), 2023-I a 2025-II

Período semestral de clases	Botellas PET (kg)	Papel (kg)	Cartón (kg)	Aceite vegetal (l)	Aceite de motor (l)	Chatarra (kg)	Otros	Pilas (kg)
2023 - I	1019,3	490,7	145,1	0	0	5,2	2,6	0
2023 - II	1158,8	654	140,5	380	0	343,3	41,3	0
2024 - I	2072,5	783,5	276	306	240	560,8	60,7	0
2024 - II	1527,36	591	160	57,27	550	1418	45,5	6,2
2025 - I	2901,98	2031	614	220	150	2704,5	192,5	6,66
2025-II	2728,37	696,72	484,7	124,184783	8,43	959	196,5	17,5
TOTAL	11408,31	5246,92	1820,3	1087,45478	948,434783	5990,8	539,1	30,36

Figura 3.

Recolección de material inorgánico por tipo de residuo, 2023-I a 2025-II.



En la figura 3 Se muestra la recolección de material inorgánico realizada por el "Club Juntos por el Ambiente" del ISTCT durante los períodos comprendidos entre 2023-I y 2025-II. Se observa que las botellas PET constituyen el principal residuo recolectado, alcanzando valores cercanos a los 2,000 kg en algunos períodos, lo que representa una contribución significativa al reciclaje de plásticos en la institución. Sin embargo, a pesar de estos logros, la recolección y manejo de este material se realiza de manera manual, lo que limita la eficiencia del proceso y representa un desafío operativo para la comunidad educativa. Este enfoque no solo implica un mayor esfuerzo físico, sino que también podría generar ineficiencias en la compactación y almacenamiento del material, dificultando su transporte y su posterior procesamiento en plantas de reciclaje.

Los datos de la Tabla 3 muestran que, además del PET, el Club recolecta volúmenes relevantes de chatarra (5.990,8 kg), papel (5.246,92 kg), cartón (1.820,3 kg) y aceites, lo que evidencia un programa de gestión de residuos multimaterial; el PET se mantiene como el flujo predominante a lo largo de los seis semestres.

4. DISCUSIÓN

La implementación de máquinas compactadoras de botellas plásticas en instituciones educativas representa una estrategia efectiva para abordar el problema de los residuos plásticos. Estas máquinas no solo contribuyen a la reducción del volumen de residuos, sino que también facilitan el transporte y reciclaje del PET, promoviendo la economía circular y reduciendo la huella ambiental de las universidades. Además, sirven como herramientas educativas que pueden transformar la cultura de reciclaje en las instituciones, fomentando la participación activa de estudiantes y personal docente en iniciativas de sostenibilidad.

La contaminación por plásticos, particularmente por Polietileno Tereftalato (PET), sigue siendo un desafío ambiental crítico en el contexto global y local. A pesar de los esfuerzos del "Club Juntos por el Ambiente" del ISTCT, que ha logrado recolectar más de 11 toneladas de PET entre 2023 y 2025, el proceso se sigue realizando manualmente, lo que limita la eficiencia y sostenibilidad de estas actividades. Este enfoque manual no solo incrementa el esfuerzo físico necesario, sino que también dificulta el almacenamiento y transporte de los residuos recolectados, generando

cuellos de botella en el proceso de reciclaje. Esta situación pone de manifiesto la necesidad urgente de tecnificar los procesos de manejo de residuos dentro de las instituciones educativas, especialmente mediante la implementación de tecnologías como máquinas compactadoras diseñadas por los propios estudiantes.

La implementación de estas máquinas no solo reduciría significativamente el volumen de residuos plásticos, optimizando su transporte y almacenamiento, sino que también fomentaría el aprendizaje práctico y la innovación tecnológica en los estudiantes. Proyectos como el desarrollado por Pezo-Heredia y Villacres-Carcelén (2019) en el ISTCT demuestran el impacto positivo de estas iniciativas. Sin embargo, para garantizar su éxito a largo plazo, es esencial establecer mecanismos de monitoreo y seguimiento que aseguren la continuidad de las buenas prácticas. Esto no solo permitirá maximizar los beneficios ambientales y operativos, sino que también consolidará a las instituciones educativas como actores clave en la transición hacia una economía circular y en la formación de profesionales comprometidos con la sostenibilidad.

En el plano técnico, la máquina del ISTCT (Pezo-Heredia y Villacres-Carcelén, 2019) se diseñó con herramientas de diseño asistido por computadora (*SolidWorks*) y emplea un mecanismo biela-manivela accionado por un motor eléctrico de 0,2 kW, con capacidad de compactar hasta 38.400 botellas por turno de 8 horas y una reducción de volumen del 75%, lo que optimiza el almacenamiento y el transporte hacia los centros de reciclaje. Comparada con la recicladora por corte de Hidalgo Aguilera et al. (2017) —orientada a transformar las botellas en hilos y cintas para nuevos procesos productivos—, ambas tecnologías abordan el problema desde perspectivas complementarias: reducción de volumen frente a transformación del material, evidenciando que distintas soluciones pueden integrarse para maximizar el aprovechamiento del PET. Disponer de los diagramas y esquemas técnicos del diseño facilita su replicación, pero garantizar la sostenibilidad de la iniciativa exige mecanismos de seguimiento y monitoreo que eviten que los esfuerzos se diluyan con el tiempo.

En cuanto al impacto ambiental, la compactación permite que las botellas ocupen menos espacio en los rellenos sanitarios, reduciendo la demanda de áreas de disposición final y la contaminación del suelo y las aguas subterráneas (Meza de Luna et al., 2022), y facilita el transporte del PET a centros donde puede transformarse en nuevos productos, como filamentos para impresoras 3D o materiales compuestos (Lezama Bacilio, 2024; Berdeja Zambrana y Colque Ayaviri, 2025). Estas iniciativas tecnológicas se potencian con políticas públicas: incentivos gubernamentales y normativas claras podrían acelerar la adopción de compactadoras y recicladoras en el marco de la economía circular (Gaona-Castillo y Contreras-Jaramillo, 2024), contribuyendo al ODS 12 sobre producción y consumo responsables. Más allá de su función técnica, estas tecnologías operan como herramienta educativa: la inclusión de programas de sostenibilidad, campañas de concientización y talleres prácticos puede transformar los hábitos de la comunidad hacia prácticas más responsables (Moreira Ortega et al., 2023), consolidando a las instituciones educativas como agentes de cambio en la cultura de reciclaje.

El estudio destaca la necesidad de integrar estas máquinas en un marco más amplio de políticas públicas y estrategias educativas que promuevan el reciclaje y la sostenibilidad. La colaboración entre universidades, gobiernos locales y empresas privadas es crucial para financiar y apoyar la implementación de estas tecnologías, asegurando su éxito a largo plazo.

Este estudio presenta varias limitaciones que conviene considerar al interpretar sus resultados. En primer lugar, el análisis estadístico se basa en una serie de únicamente seis observaciones semestrales (2023-I a 2025-II), por lo que las estimaciones de tendencia tienen carácter exploratorio y no permiten realizar inferencias estadísticas robustas ni generalizar los hallazgos a otras instituciones. En segundo lugar, al tratarse de un diseño observacional sin grupo de comparación, no es posible atribuir causalidad: el incremento en la recolección de PET se asocia al fortalecimiento de las campañas de concienciación y a la recolección manual, pero no puede vincularse al funcionamiento de la máquina compactadora, que a la fecha de este estudio aún no se encuentra en operación. Finalmente, los datos provienen de registros de una sola institución y de un único flujo de residuos predominante (PET), lo que limita su representatividad. Futuras investigaciones podrían ampliar el período de observación, incorporar instituciones adicionales y evaluar el impacto directo de la compactadora una vez puesta en marcha.

5. CONCLUSIONES

1. Los registros del Club "Juntos por el Ambiente" del ISTCT, que superan las 11 toneladas de PET recicladas entre 2023 y 2025, confirman el impacto positivo que las iniciativas de reciclaje pueden tener en las instituciones educativas.
2. El análisis de tendencia evidenció un crecimiento sostenido de la recolección (167,7% entre el primer y el último semestre), lo que demuestra el valor de estos programas como motor de cultura ambiental en el campus.
3. Estos hallazgos evidencian que la incorporación efectiva de tecnología, acompañada de mecanismos de seguimiento y evaluación, podría potenciar los logros actuales y consolidar prácticas de reciclaje más eficientes, fortaleciendo de forma sostenible la cultura ambiental en las instituciones de Educación Superior.
4. El hallazgo central de este estudio es la brecha entre la capacidad técnica instalada y su aprovechamiento real pese a que la institución dispone desde 2019 de una máquina compactadora diseñada por sus propios estudiantes capaz de reducir el volumen del PET hasta en un 75%, la recolección y el manejo del material siguen realizándose de forma manual.
5. El incremento observado responde, por tanto, al esfuerzo de concienciación y no a la tecnificación del proceso, lo que limita la eficiencia y sostenibilidad de la iniciativa.
6. Finalmente, disponer de la tecnología no basta: su impacto depende de mecanismos de seguimiento y evaluación que aseguren su puesta en operación y continuidad. Sin un monitoreo sistemático, los beneficios ambientales, educativos y de economía circular alineados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible corren el riesgo de diluirse con el tiempo.

6. REFERENCIAS

Berdeja Zambrana, R. C., & Colque Ayaviri, J. C. (2025).

Desarrollo y aplicación de equipos caseros para la recuperación mecánica de plásticos. *Journal Boliviano de Ciencias*, 21(57). <https://doi.org/10.52428/20758944.v21i57.1323>

Fondo Mundial para la Naturaleza. (2024, junio 10).

Ecuador lidera una histórica hoja de ruta para reducir la contaminación por plásticos. <https://www.wwf.org.ec/?389213/Ecuador-lidera-una-historica-hoja-de-ruta-para-reducir-la-contaminacion--por-plasticos>

Gaona-Castillo, L., & Contreras-Jaramillo, M. (2024).

Políticas públicas y reciclaje: Contribución para la sostenibilidad ambiental en Ecuador. *Revista Económica*, 12(2). <https://doi.org/10.54753/rve.v12i2.2182>

Hidalgo Aguilera, L., Imbaquingo, J., & Mideros, D. (2017).

Diseño e implementación de una máquina recicladora de botellas plásticas por corte, controlada automáticamente. *Enfoque UTE*, 8(5), 89–102. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v8n5.183>

Lezama Bacilio, V. J. (2024).

Modelo de transferencia tecnológica entre la universidad y la empresa para la fabricación de muebles ergonómicos a partir de plástico reciclado y madera recuperada [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú].

Meza de Luna, A., García Reyes, E., González Herrada, R., Sierra Ortiz, R. B., Chávez Valdivia, F., & Reyes Cortes, R. (2022).

Diseño y construcción de extrusora de PET reciclado. *Conciencia Tecnológica*, (63).

Moreira Ortega, R. A., Velastegui Peñafiel, M., & Carchipulla Alvarado, E. (2023).

Análisis de campaña de conciencia del reciclaje ambiental en una institución de educación superior. *Revista de Investigación, Formativa, Innovación y Aplicaciones*, 5(2).

Ormaza Andrade, J. E., Neira Neira, M. L., Giler Escandón, L. V., & Quevedo Vázquez, J. O. (2020).

Máquina bio-recicladora de plástico PET: Un emprendimiento viable. Caso Azogues–Ecuador. *TELOS: Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales*, 22(2), 395–409. <https://doi.org/10.36390/telos222.11>

Pérez Segovia, R. J., & Núñez Solano, S. J. (2025).

Estrategias de implementación de sistemas I+D+i en la gestión de residuos sólidos de la Universidad Central del Ecuador. 5(2). <https://doi.org/10.70208/3007.8245.v5.n2.121>

Pérez, J. A., & Gómez, M. L. (2026).

Diseño de una máquina compactadora de botellas plásticas de material PET para el aumento de material reciclado en la UTS [Trabajo de grado, Universidad Tecnológica de Santander].

Pezo Heredia, C. D., & Villacres Carcelén, J. H. (2019).

Construcción de una máquina compactadora de botellas de plástico (ISTCT 2018–2019) [Tesis de grado, Instituto Superior Tecnológico Central Técnico].

COMPARATIVE ANALYSIS BASED ON THE STUDY OF DATA USING THERMOGRAPHIC CAMERAS TO DETECT EXISTING FAULTS IN A MACHINE TO BE MEASURED.

ANÁLISIS COMPARATIVO BASADO EN EL ESTUDIO DE DATOS MEDIANTE CÁMARAS TERMOGRÁFICAS PARA DETECTAR FALLAS EXISTENTES EN UNA MÁQUINA A MEDIR.

Emili Milena Molina Ponce¹, Gabriel Collaguazo Soria², German Mauricio Almeida Montenegro³[0000-0003-2558-7154]

¹ Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador
E-mail: emolinap@istct.edu.ec

² Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador
E-mail: gcollaguazo@istct.edu.ec

³ Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador
E-mail: galmeyda@istct.edu.ec

Recibido: 11/05/2026

Aceptado: 12/06/2026

Publicado: 30/06/2026

RESUMEN

La termografía infrarroja constituye una técnica de inspección no destructiva de creciente aplicación en el ámbito industrial, debido a su capacidad para identificar variaciones térmicas en equipos en operación sin necesidad de contacto directo. En entornos donde los procesos dependen del control preciso de la temperatura, como ocurre con los hornos de fundición y tratamiento térmico, esta tecnología permite evaluar condiciones de funcionamiento, detectar anomalías y apoyar estrategias de mantenimiento preventivo. El objetivo de esta investigación fue realizar un análisis comparativo del comportamiento térmico de un horno antiguo y un horno eléctrico actual pertenecientes al taller de tratamientos térmicos de la carrera de Mecánica Industrial, mediante el uso de una cámara termográfica FLIR ONE PRO. La metodología correspondió a un estudio descriptivo-comparativo, de campo y no experimental, sustentado en observación directa, calentamiento simultáneo de ambos hornos bajo un mismo intervalo temporal, captura de imágenes termográficas y análisis posterior mediante el software FLIR Thermal Studio. Los resultados evidenciaron que, tras 90 minutos de operación, el horno actual alcanzó 850 °C, mientras que el horno antiguo llegó a 552 °C, revelando diferencias importantes en eficiencia térmica, distribución del calor y capacidad de calentamiento. El análisis cromático

permitió identificar zonas frías y calientes con claridad, facilitando la interpretación del rendimiento de cada equipo. Se concluye que la termografía infrarroja es una herramienta eficaz, segura y funcional para la evaluación de maquinaria industrial, al optimizar tiempos de inspección, reducir riesgos operativos y mejorar la toma de decisiones en procesos de mantenimiento y control térmico.

Palabras clave: termografía infrarroja; cámara termográfica; hornos industriales; mantenimiento preventivo; análisis comparativo; diagnóstico térmico

ABSTRACT

Infrared thermography is a non-destructive inspection technique increasingly used in industry because of its ability to identify thermal variations in operating equipment without direct contact. In environments where processes depend on precise temperature control, such as melting and heat-treatment furnaces, this technology makes it possible to assess operating conditions, detect anomalies, and support preventive maintenance strategies. The objective of this research was to perform a comparative analysis of the thermal behavior of an old furnace and a current electric furnace located in the heat treatment workshop of the Industrial Mechanics program by using a FLIR ONE PRO thermal imaging camera. The methodology consisted of a descriptive-comparative, field-based, and non-experimental study supported by direct observation, simultaneous heating of both furnaces under the same time interval, thermographic image capture, and subsequent analysis using FLIR Thermal Studio software. The results showed that after 90 minutes of operation, the current furnace reached 850 °C, whereas the old furnace only reached 552 °C, revealing significant differences in thermal efficiency, heat distribution, and heating capacity. Chromatic analysis clearly identified cold and hot zones, facilitating the interpretation of the performance of each piece of equipment. It is concluded that infrared thermography is an effective, safe, and functional tool for the evaluation of industrial machinery, since it optimizes inspection time, reduces operational risks, and improves decision-making in maintenance and thermal control processes.

Index terms: infrared thermography; thermal imaging camera; industrial furnaces; preventive maintenance; comparative analysis; thermal diagnosis

1. INTRODUCCIÓN

La incorporación de nuevas tecnologías en los procesos de inspección industrial ha transformado la manera en que se diagnostica el estado operativo de máquinas y sistemas térmicos. En este escenario, la termografía infrarroja se ha posicionado como una herramienta de alta utilidad, ya que permite observar la distribución térmica superficial de un equipo en funcionamiento y detectar anomalías asociadas a pérdidas de calor, sobrecalentamientos, fallas en componentes o ineficiencias energéticas (García Arranz & Santolaria Mazo, 2023). Su aplicación resulta particularmente relevante en sectores donde el control de temperatura es un factor crítico para la calidad del proceso y la seguridad operativa.

La termografía es una técnica de adquisición de imágenes que registra la radiación infrarroja emitida por los cuerpos y la traduce en representaciones visuales mediante escalas cromáticas. De esta forma, el operador puede interpretar patrones térmicos a partir de colores asociados a distintos niveles de temperatura (Aldas & Pilco, 2025). Según (Javier, 2021), esta técnica es especialmente útil en procesos de diagnóstico industrial, porque permite analizar el comportamiento térmico sin intervenir directamente sobre el equipo. (Calle Jara, 2023) sostiene que su valor técnico se relaciona con la posibilidad de inspeccionar máquinas activas, reduciendo interrupciones del proceso y mejorando la seguridad del personal.

El fundamento físico de la termografía se encuentra en los mecanismos de transferencia de calor: conducción, convección y radiación (Javier, 2021) La conducción es el proceso mediante el cual el calor se transfiere a través del contacto directo entre partículas, siendo predominante en sólidos. La convección, por su parte, ocurre principalmente en fluidos como líquidos y gases, donde el calor se desplaza por efecto del movimiento del medio. Finalmente, según (Betancourt Acosta, 2023) la radiación corresponde a la emisión de energía térmica en forma de ondas electromagnéticas, fenómeno que no requiere un medio material para propagarse y que constituye la base del funcionamiento de las cámaras termográficas. Comprender estos principios es indispensable para interpretar adecuadamente las imágenes obtenidas durante una inspección térmica.

A nivel histórico, el desarrollo de la termografía ha transitado desde aplicaciones militares y científicas hasta su uso extendido en el campo industrial, eléctrico, mecánico, médico y de la construcción. (Hormaechea, 2024) señala que los avances tecnológicos en sensores térmicos, resolución de imagen y portabilidad han permitido que estos equipos sean cada vez más accesibles y funcionales. En la actualidad, dispositivos como la FLIR ONE PRO integran prestaciones de medición térmica con dispositivos móviles, lo que favorece su utilización en actividades académicas y profesionales de diagnóstico rápido.

En la industria metalúrgica y mecánica, los hornos son equipos esenciales para procesos de fundición, calentamiento, temple, revenido y otros tratamientos térmicos. Su operación depende de alcanzar y mantener rangos de temperatura definidos para modificar propiedades físicas o mecánicas de los materiales. De acuerdo con (Espinoza Aguilar & Parrales Toledo, 2024) el control de la temperatura en estos sistemas es un factor crítico para asegurar la eficiencia del proceso industrial. Por su parte, (Calle Cadme, 2022; Zavala, 2023) sostiene que la evolución de los hornos industriales ha respondido a la necesidad de mejorar la estabilidad térmica, la seguridad y el consumo energético.

Dentro del taller de tratamientos térmicos de la carrera de Mecánica Industrial del Instituto Superior Universitario Central Técnico, se dispone de distintos hornos con características estructurales y tecnológicas diferentes. Esta diversidad constituye una oportunidad de análisis, ya que permite comparar el desempeño de un horno antiguo, construido para trabajos de laboratorio o taller, y un horno eléctrico actual tipo NABERTHERM, diseñado con mejores sistemas de ventilación, control y distribución de calor. A partir de esta comparación, es posible valorar en qué medida la termografía contribuye a identificar diferencias de eficiencia térmica y posibles oportunidades de mejora en el mantenimiento del equipamiento.

El problema que da origen a este estudio radica en la necesidad de contar con herramientas seguras y confiables que permitan evaluar el estado térmico de los hornos sin detener su funcionamiento y sin exponer al operador a riesgos innecesarios. En muchos entornos de formación técnica e industrial, la inspección de hornos se realiza a partir de observaciones convencionales o lectura de parámetros generales, lo que puede resultar insuficiente para detectar diferencias internas o superficiales en la distribución del calor. Por ello, la termografía aparece como una alternativa de alto valor técnico y pedagógico.

En este contexto, el objetivo general de la investigación fue realizar un análisis comparativo basado en el estudio de datos obtenidos mediante cámaras termográficas para detectar variaciones térmicas entre un horno antiguo y un horno actual del taller de tratamientos térmicos. La importancia del estudio reside en demostrar que la termografía no solo permite observar temperaturas, sino que también constituye un recurso aplicable al mantenimiento preventivo, al diagnóstico de fallas y a la optimización de procesos industriales.

Además de su relevancia técnica, esta investigación posee valor formativo, pues fortalece la integración entre teoría y práctica dentro de la carrera de Mecánica Industrial. El uso de herramientas como la cámara termográfica y el software de análisis térmico favorece la adquisición de competencias relacionadas con la medición, interpretación de datos, evaluación de equipos y cultura de seguridad industrial. En pocas palabras: no es solo “tomar una foto de calor”; es leer el comportamiento de una máquina antes de que la máquina empiece a quejarse en serio.

2. MATERIALES Y MÉTODOS / DESARROLLO

La presente investigación se desarrolló con un enfoque orientado a la observación y comparación objetiva del comportamiento térmico de dos hornos utilizados en el taller de tratamientos térmicos. Para ello, se emplearon instrumentos de medición no invasivos y un procedimiento controlado que permitió registrar temperaturas en igualdad de condiciones temporales.

2.1 Enfoque y tipo de investigación

El estudio se enmarcó en un enfoque descriptivo-comparativo, dado que se buscó identificar, registrar e interpretar las diferencias térmicas existentes entre dos equipos sometidos a condiciones similares de operación. Fue además una investigación de campo, ya que se llevó a cabo directamente en el lugar donde se encuentran instalados los hornos, y no experimental, porque no se manipularon variables independientes distintas a las condiciones habituales de encendido y observación. (Mora Reyna et al., 2022)

El componente comparativo fue fundamental, puesto que permitió analizar el desempeño relativo de cada horno en función del tiempo y la temperatura alcanzada. Esta modalidad facilitó establecer una relación entre el tipo de equipo y su eficiencia térmica observable mediante termografía.

2.2 Contexto del estudio

La investigación se realizó en el taller de tratamientos térmicos de la carrera de Mecánica Industrial del Instituto Superior Universitario Central Técnico, en Quito, Ecuador. Este espacio

cuenta con hornos destinados a prácticas de calentamiento y tratamientos térmicos, lo que lo convierte en un entorno adecuado para estudios de evaluación térmica aplicada.

Los equipos analizados fueron:

- Horno antiguo, diseñado para trabajos de laboratorio y tratamientos térmicos, con capacidad aproximada de hasta 850 °C.
- Horno eléctrico actual NABERTHERM, equipado con sistema de calentamiento por varios lados, controlador programable y mejores condiciones de ventilación y estabilidad estructural.

2.3 Materiales e instrumentos

Para la ejecución del estudio se emplearon los siguientes materiales e instrumentos:

- Cámara termográfica FLIR ONE PRO-SERIES
- Teléfono inteligente con sistema operativo Android
- Aplicación móvil FLIR ONE
- Software FLIR Thermal Studio
- Horno antiguo del taller
- Horno actual NABERTHERM
- Registro fotográfico de apoyo
- Observación directa en campo

La elección de la cámara FLIR ONE PRO respondió a sus características de portabilidad, facilidad de uso e integración con dispositivos móviles. Además, ofrece una resolución suficiente para la detección de diferencias térmicas en superficies metálicas y estructuras industriales. Entre sus ventajas se destacan la rapidez de medición, la posibilidad de operar sin interrumpir la función del equipo y la generación de imágenes térmicas útiles para interpretación visual y análisis posterior.

2.4 Fundamentos técnicos para el uso de la cámara

Antes de proceder a la toma de imágenes, fue necesario considerar algunos factores técnicos que influyen en la calidad del análisis termográfico:

- Resolución óptica: a mayor número de píxeles, mayor nivel de detalle.
- Sensibilidad térmica: determina la capacidad de la cámara para detectar pequeñas diferencias de temperatura.
- Campo de visión: influye en la cobertura del área observada.
- Batería y autonomía: esenciales para evitar interrupciones durante la toma de datos.
- Enfoque y distancia de medición: determinantes para obtener imágenes claras y representativas.

Asimismo, se consideró la interpretación básica de la paleta de colores utilizada por la cámara. Generalmente, los colores fríos como azul y verde representan temperaturas más bajas, mientras que los colores amarillo, naranja y rojo indican zonas con mayor energía térmica (*Cámaras termográficas (IR térmico)*, 2020). Esta lectura cromática fue clave para diferenciar visualmente el desempeño de los hornos.

2.5 Procedimiento de investigación

El procedimiento se estructuró en varias etapas sucesivas:

Revisión conceptual y preparación

En primer lugar, se realizó una revisión de conceptos relacionados con termografía, transferencia de calor, tipos de hornos y seguridad en medición térmica. Esta fase permitió establecer criterios claros para la observación y asegurar el uso adecuado del instrumento.

Identificación de los equipos

Posteriormente, se reconocieron las características generales de ambos hornos. En el caso del horno antiguo, se observaron elementos como su sistema de puerta guillotina, resistencia en alambre, paredes de carburo de silicio y orientación a procesos de tratamiento térmico. En el horno actual NABERTHERM se identificaron componentes como puerta giratoria, sistema de ventilación, controlador táctil programable y calefacción distribuida.

Preparación del instrumento

La cámara termográfica fue conectada al dispositivo Android y se verificó su correcto funcionamiento mediante la aplicación correspondiente. También se revisó la visibilidad del entorno, la batería del dispositivo y la seguridad del área de trabajo.

Encendido simultáneo de hornos

Ambos hornos fueron puestos en funcionamiento al mismo tiempo, con el propósito de someterlos a un mismo intervalo de calentamiento y garantizar condiciones comparables.

Registro térmico

Luego de 90 minutos de operación, se procedió a captar imágenes termográficas de ambos equipos. La observación se efectuó manteniendo una distancia aproximada de 150 mm, de acuerdo con las condiciones descritas en el documento fuente.

Procesamiento y análisis

Las imágenes fueron posteriormente evaluadas con el software FLIR Thermal Studio, lo cual permitió observar histogramas de distribución térmica, parámetros de temperatura y contraste cromático en cada caso.

Cierre del procedimiento

Finalmente, los hornos fueron apagados y desconectados para permitir su enfriamiento en condiciones seguras. Se organizaron los datos recolectados y se elaboró la comparación final.

2.6 Población y muestra

Dado que se trata de un estudio aplicado sobre equipos específicos, la población estuvo constituida por los hornos disponibles en el taller de tratamientos térmicos, mientras que la muestra estuvo conformada por dos hornos seleccionados intencionalmente: uno antiguo y uno actual. La selección respondió a su disponibilidad, estado operativo y pertinencia para fines comparativos.

2.7 Técnicas de recolección de datos

Las técnicas utilizadas fueron:

- Observación directa
- Registro termográfico
- Análisis visual comparativo
- Procesamiento digital de imágenes térmicas

Estas técnicas permitieron obtener información tanto cuantitativa básica, como las temperaturas alcanzadas, como cualitativa, relacionada con la distribución y visualización del calor.

2.8 Consideraciones de seguridad y ética técnica

Aunque el estudio no involucró personas como sujetos de investigación, sí requirió un manejo responsable de equipos que operan a altas temperaturas. Por ello, se respetaron criterios de seguridad como la supervisión del proceso, la distancia prudente al momento de realizar la captura termográfica y la manipulación adecuada de los hornos y del dispositivo de medición. También se consideró la importancia de que el operador cuente con capacitación básica en interpretación de imágenes térmicas, ya que una lectura incorrecta puede conducir a conclusiones imprecisas.

3. RESULTADOS

Los resultados obtenidos permitieron identificar diferencias claras entre el comportamiento térmico del horno antiguo y el horno actual. La información recolectada mediante observación directa, imágenes termográficas y análisis en software especializado facilitó una evaluación comparativa del desempeño de ambos equipos.

3.1 Resultados de temperatura alcanzada

Tras el calentamiento simultáneo de los dos hornos durante 90 minutos, se registraron las siguientes temperaturas que se indica en la siguiente tabla.

Tabla 1.

Resultado del calentamiento de los hornos analizados

Tipo de máquina	Tiempo de calentamiento	Temperatura alcanzada
Horno antiguo	90 minutos	552 °C
Horno actual	90 minutos	850 °C

La diferencia térmica observada fue de 298 °C, lo cual representa una brecha importante en capacidad de calentamiento para el mismo periodo de tiempo.

3.2 Interpretación cuantitativa del desempeño

La comparación directa evidencia que el horno actual posee una respuesta térmica superior. Esto permite afirmar que:

- Alcanza temperaturas mayores en menor tiempo relativo,
- Presenta una mayor eficiencia en transferencia y acumulación de calor,
- Ofrece condiciones más adecuadas para procesos que demandan temperaturas elevadas,
- Reduce el tiempo de espera para operaciones térmicas específicas.

Desde una perspectiva operativa, esta diferencia tiene implicaciones sobre productividad, consumo de tiempo y control del proceso. Un equipo que alcanza la temperatura requerida con mayor rapidez puede optimizar el desarrollo de prácticas y procesos industriales.

3.3 Resultados del análisis cromático

Las imágenes termográficas obtenidas del estudio realizado de los dos hornos que son caso de estudio mostraron patrones cromáticos diferenciados entre ambos hornos.

Horno antiguo

En el horno antiguo se observó principalmente:

- Color morado en la zona externa,
- Color amarillo brillante en la parte interna o zonas de mayor emisión térmica.

Esta combinación sugiere que la energía térmica no se distribuye de forma tan amplia o uniforme sobre la superficie observable, concentrándose con mayor intensidad en áreas puntuales.

Horno actual

En el horno actual se registró una imagen térmica con mayor intensidad general y una distribución de calor más consistente con el valor térmico alcanzado. La presencia de colores cálidos más extendidos indicó un mayor nivel de acumulación y transferencia de calor.

3.4 Análisis mediante FLIR Thermal Studio

El uso del software FLIR Thermal Studio permitió complementar la observación visual con una lectura más precisa de parámetros térmicos. Entre los elementos analizados estuvieron:

- Temperatura mínima y máxima visible,
- Perfil térmico superficial,
- Histograma de distribución de datos,
- Frecuencia de aparición de rangos térmicos.

El histograma permitió visualizar la distribución de temperaturas en relación con el número de píxeles o puntos registrados. Esta herramienta facilitó confirmar que el horno actual presentaba una mayor concentración de valores térmicos altos, mientras que el horno antiguo mostraba una distribución más limitada.

3.5 Comparación funcional entre equipos

A partir de la información obtenida, se identificaron varias diferencias funcionales relevantes que

se demuestra en la tabla 2.

Tabla 2.

Diferencias funcionales entre los hornos caso de estudio

Criterio de comparación	Horno antiguo	Horno actual
Temperatura en 90 min	552 °C	850 °C
Intensidad térmica observable	Media	Alta
Distribución de calor	Más localizada	Más uniforme
Respuesta de calentamiento	Menor	Mayor
Aplicación eficiente en procesos exigentes	Limitada	Más adecuada

La tabla anterior resume el comportamiento de ambos hornos y permite interpretar de manera sintética las ventajas del equipo más actual.

3.6 Hallazgos cualitativos

Además de los valores de temperatura, se identificaron hallazgos cualitativos importantes:

- La cámara termográfica facilitó la inspección sin necesidad de detener el funcionamiento del equipo.
- Se logró una interpretación visual rápida del estado térmico.
- El análisis fue realizado de manera segura desde una distancia razonable.
- La tecnología empleada permitió documentar y almacenar evidencia térmica para análisis posterior.
- El procedimiento mostró potencial para ser aplicado en otros equipos industriales del taller.

3.7 Validación práctica del instrumento

La investigación permitió comprobar que la cámara termográfica FLIR ONE PRO es funcional para actividades académicas y técnicas de diagnóstico térmico. Aunque se trata de un equipo portátil, ofreció resultados suficientemente claros para establecer diferencias entre los hornos. La combinación entre captura de imagen y análisis con software fortaleció la confiabilidad del procedimiento.

En términos prácticos, el instrumento cumplió adecuadamente con tres funciones esenciales:

1. Detección de variaciones de temperatura
2. Representación visual de zonas térmicas
3. Apoyo a la comparación objetiva entre equipos

4. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos permiten afirmar que la termografía infrarroja constituye una herramienta eficaz para el análisis del comportamiento térmico de hornos industriales en condiciones reales de trabajo. La diferencia observada entre el horno antiguo y el horno actual no solo refleja una variación en temperatura alcanzada, sino también una distinción en eficiencia operativa, distribución del calor y potencial de aplicación en procesos de tratamiento térmico más exigentes.

Desde el punto de vista técnico, el hecho de que el horno actual alcance 850 °C en 90 minutos, mientras el horno antiguo llega a 552 °C en el mismo lapso, sugiere que el diseño estructural, el sistema de calefacción y los mecanismos de ventilación influyen directamente en el rendimiento térmico. Este resultado es coherente con las características descritas para el horno NABERTHERM, el cual incorpora un sistema de calentamiento más robusto, control programable y una arquitectura orientada a mejorar la estabilidad de la cámara térmica interna.

La literatura revisada respalda este comportamiento. (Chamba Espinoza & Pineda Bravo, 2023) plantea que la eficiencia de los sistemas térmicos industriales depende en gran medida del control de variables como temperatura, aislamiento, resistencia de materiales y distribución energética. De forma complementaria, (García Arranz & Santolaria Mazo, 2023) señala que la evolución de los hornos industriales ha estado orientada a incrementar la homogeneidad térmica y la confiabilidad del proceso, aspectos que parecen reflejarse en el equipo actual evaluado en este estudio.

El análisis termográfico confirmó también la utilidad de la escala cromática como herramienta interpretativa. En el horno antiguo, la presencia marcada de zonas moradas en el contorno y amarillas al interior permitió observar una diferenciación térmica más evidente entre regiones frías y calientes. En contraste, el horno actual mostró una imagen térmica más intensa y estable, compatible con un mejor aprovechamiento del calor generado. Esta observación coincide con (Viscaino et al., 2025), quien destaca que la termografía no solo informa temperaturas, sino patrones energéticos de funcionamiento.

Un aspecto relevante de esta investigación es que la toma de datos se realizó sin interrumpir la operación de los hornos. Este punto tiene una gran importancia práctica, ya que reduce el tiempo improductivo y minimiza la exposición del operador. En entornos industriales, la posibilidad de inspeccionar equipos activos constituye una ventaja estratégica para el mantenimiento preventivo. (Camacho et al., 2025) resalta precisamente que la termografía se convierte en un método de alto valor cuando permite detectar irregularidades sin necesidad de desmontajes o paradas prolongadas.

Por otro lado, la investigación tiene también una dimensión pedagógica. El empleo de la cámara

termográfica dentro del taller no solo aportó datos técnicos, sino que permitió desarrollar competencias de observación, análisis de imágenes, interpretación de variables térmicas y uso de software especializado. En carreras técnicas, este tipo de prácticas fortalece la formación aplicada y aproxima al estudiante a metodologías reales de diagnóstico industrial.

No obstante, es importante reconocer ciertas limitaciones del estudio. La muestra fue reducida, ya que se compararon únicamente dos hornos. Además, los datos se centraron principalmente en un intervalo temporal de 90 minutos, lo cual impide construir curvas de calentamiento más detalladas en distintos momentos. También sería deseable contar con mediciones repetidas en diferentes días o condiciones ambientales, a fin de aumentar la robustez estadística del análisis. En otras palabras: la investigación funciona muy bien como estudio aplicado comparativo, pero todavía hay espacio para volverla más “musculosa” desde el punto de vista experimental.

Aun con estas limitaciones, el estudio demuestra de manera convincente que la termografía es una herramienta apropiada para inspección térmica en talleres de Mecánica Industrial. Su potencial de aplicación no se restringe a hornos, sino que puede extenderse a motores, tableros eléctricos, rodamientos, sistemas de transmisión, tornos, fresadoras y otras máquinas donde la temperatura constituye un indicador clave de funcionamiento.

En síntesis, la discusión permite sostener que la diferencia entre ambos hornos no es un dato aislado, sino una evidencia del valor que tiene la medición térmica en la evaluación de maquinaria. El uso de cámaras termográficas puede convertirse en un componente esencial de los programas de mantenimiento predictivo y preventivo, especialmente en instituciones de formación técnica donde la evaluación del estado de los equipos impacta directamente en la seguridad, la calidad de la práctica y la conservación de los recursos institucionales.

5. CONCLUSIONES

La investigación permitió demostrar que la termografía infrarroja es una técnica eficaz para evaluar el comportamiento térmico de equipos industriales sin necesidad de contacto directo y sin interrumpir su funcionamiento. Esta característica la convierte en una herramienta de gran utilidad para procesos de inspección, monitoreo y mantenimiento preventivo.

El análisis comparativo realizado entre un horno antiguo y un horno actual del taller de tratamientos térmicos evidenció diferencias claras de desempeño. Después de 90 minutos de operación, el horno actual alcanzó 850 °C, mientras que el horno antiguo llegó a 552 °C, lo que revela una ventaja significativa del equipo moderno en términos de eficiencia térmica y capacidad de calentamiento.

Las imágenes obtenidas con la cámara FLIR ONE PRO, así como su procesamiento mediante FLIR Thermal Studio, permitieron identificar zonas de distinta intensidad térmica y representarlas visualmente a través de escalas cromáticas. Esto facilitó una lectura rápida, comprensible y técnicamente útil de la distribución del calor en cada equipo.

Se concluye que la cámara termográfica constituye un recurso valioso no solo para fines de observación académica, sino también para su integración en planes de mantenimiento industrial.

Su aplicación puede contribuir a detectar anomalías, prevenir fallas, optimizar tiempos de diagnóstico y mejorar la seguridad de los operadores.

Asimismo, se determinó que el uso adecuado de esta tecnología requiere capacitación previa, especialmente en la interpretación de imágenes térmicas y en la comprensión de variables que pueden afectar la medición, como la distancia, la resolución y las condiciones del entorno. Por ello, se recomienda fortalecer la formación técnica de los estudiantes en el manejo responsable de estos instrumentos.

Finalmente, la investigación aporta evidencia de que la implementación de cámaras termográficas en talleres e instalaciones de Mecánica Industrial puede mejorar significativamente la capacidad de análisis y control de equipos, favoreciendo una cultura de mantenimiento más moderna, preventiva y orientada a la toma de decisiones basada en datos.

6. RECOMENDACIONES

A partir de los resultados y conclusiones alcanzadas, se plantean las siguientes recomendaciones:

- Implementar el uso de cámaras termográficas en las diferentes áreas del taller de Mecánica Industrial como parte de estrategias de mantenimiento preventivo y predictivo.
- Capacitar a estudiantes y docentes en el uso correcto de la cámara termográfica, interpretación de imágenes y análisis de datos térmicos.
- Establecer protocolos de inspección periódica para hornos y otras máquinas del taller, con el fin de generar historiales térmicos comparables.
- Complementar futuros estudios con mediciones en distintos intervalos de tiempo, por ejemplo cada 10, 20, 30, 60 y 90 minutos.
- Ampliar la investigación hacia otros equipos, como tornos, fresadoras, motores eléctricos o sistemas de transmisión mecánica.
- Fortalecer el registro de variables ambientales y técnicas para mejorar la precisión del análisis.
- Incorporar el uso del software de análisis térmico en prácticas formativas, de modo que el estudiante no solo capture imágenes, sino que aprenda a interpretar patrones y tomar decisiones técnicas fundamentadas.

7. REFERENCIAS

- Aldas, R. T. A., & Pilco, D. D. R. (2025). Ingeniera/o en mantenimiento industrial.
- Betancourt Acosta, C. A. (2023). Diagnóstico de puntos calientes a través de tomas termográficas en los sistemas eléctricos de potencia basado en el procesamiento de imágenes [bachelorThesis]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/26439>
- Calle Cadme, A. C. (2022). Detección de fallas en bajantes de transformadores de distribución, mediante el análisis Deep learning, en imágenes termográficas [bachelorThesis]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21911>

- Calle Jara, F. E. (2023). Procesamiento de imágenes termográficas en Matlab para detección predictiva de fallas en el generador eléctrico de la Hidroeléctrica Sopladora. [masterThesis, Quito, Ecuador: Universidad Tecnológica Israel]. <https://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/3501>
- Camacho, Á. A. C., Rolando, U. B. E., & Arévalo, C. I. A. (2025). Análisis Termográfico de los Tableros Eléctricos de la Empresa Alimentos CADE: Thermographic Analysis of the Electrical Panels of the Company Alimentos CADE. *Revista Científica Multidisciplinar G-nerando*, 6(1), ág. 1756-1768. <https://doi.org/10.60100/rcmg.v6i1.497>
- Cámaras termográficas (IR térmico). (s.f.). Recuperado 9 de junio de 2026, de <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/21422>
- Chamba Espinoza, R. J., & Pineda Bravo, A. I. (2023). Desarrollo de un método de inspección utilizando termografía como herramienta para mantenimiento predictivo de la batería de alto voltaje de NI-MH de vehículo híbrido tipo sedán [bachelorThesis]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25898>
- Espinoza Aguilar, A. E., & Parrales Toledo, R. A. (2024). Detección de fallas en motores eléctricos utilizando termografías y redes neuronales [bachelorThesis]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/29169>
- García Arranz, D., & Santolaria Mazo, J. (with Universidad de Zaragoza). (2023). Configuración y análisis de cámaras termográficas para medición en proceso de estampación en caliente. Proceso de inspección y ensayos experimentales. Universidad de Zaragoza.
- Hormaechea, A. (2024). Plan de Mantenimiento y Mejoras basado en Termografía y Vibraciones. Caso de Estudio: Carpintería Industrial [Thesis, Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ingeniería. Argentina]. <https://rinfi.fi.mdp.edu.ar/xmlui/handle/123456789/870>
- Javier, S. (2021). Estudio, desarrollo y comparación de tecnologías para la detección temprana de falla en Equipos Rotantes.
- Mora Reyna, E. M., Navarrete García, Í., & Llosas Albuérne, Y. (2022). Análisis de termografía aplicada en las líneas eléctricas del alimentador de la Subestación 'Crucita'. *Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional*, 7(9 (SEPTIEMBRE 2022)), 204-221.
- Viscaino, A. A. C., Castro, B. S. T., & Arévalo, C. I. A. (2025). Análisis Termográficos de los Tableros Eléctricos del Cuarto de Máquinas de Mantenimiento del Hospital IESS Santo Domingo.: Thermographic Analysis of the Electrical Panels in the Maintenance Machine Room of the IESS Santo Domingo Hospital. *Revista Científica Multidisciplinar G-nerando*, 6(2), ág. 566-589. <https://doi.org/10.60100/rcmg.v6i2.587>
- Zavala, A. S. V. (2023). Ingeniero en mantenimiento industrial.

Design and construction of a plasma cutting machine with an automatic system for "fish mouth" cuts in round tubes

Diseño y construcción de una máquina cortadora por plasma con sistema automático para destajes "boca de pez" en tubos redondos

Willian Feo Guachalá¹, Sandino Torres Gallegos²[0000-0002-9687-3564], Abrahan Jorjue Rea³[0000-0003-4235-9604], Daniel Jorjue Rea⁴

¹ Investigador independiente, Quito, Ecuador
E-mail: willian.feo@gmail.com

² Investigador independiente, Quito, Ecuador
E-mail: ssandinotorresq@gmail.com

³ Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador
E-mail: ajorque@istct.edu.ec

⁴ Investigador independiente, Quito, Ecuador
E-mail: danieljorjue@gmail.com

Recibido: 05/05/2026

Aceptado: 15/06/2026

Publicado: 30/06/2026

RESUMEN

En el sector metalmecánico, el proceso de destaje denominado boca de pez en tubos redondos representa una operación de alta demanda en la fabricación de estructuras metálicas. Sin embargo, su ejecución manual mediante arranque de viruta con sacabocado y taladro genera pérdidas de material, imprecisión dimensional y riesgos para el operario. El presente trabajo describe el diseño, construcción y validación de una máquina cortadora por plasma con sistema automático de giro, orientada a ejecutar destajes tipo "boca de pez" en tubos redondos de acero con espesores de 2 mm a 6 mm y diámetros de 2" a 5". El sistema integra un motorreductor de 1/8 hp operando a 10 RPM, un mecanismo de transmisión por poleas de aluminio con relación de transmisión 2:1, rodamientos SKF de doble hilera, y una cortadora de plasma marca Porten PS-EC40. El control eléctrico se implementó mediante un contactor electromagnético con enclavamiento, pulsadores de marcha y paro, y señalización por luces piloto. Los cálculos estructurales confirmaron que el tubo cuadrado ASTM A-36 de 30×30×3 mm resiste las cargas aplicadas, con un esfuerzo calculado de 16 165,80 Pa frente a un esfuerzo permisible de 165,47 MPa. La validación experimental demostró que el sistema ejecuta cortes a 360° de manera continua, uniforme y reproducible, reduciendo el tiempo de operación y las pérdidas de material respecto al método manual. El prototipo fue implementado en el taller de soldadura del Instituto

Tecnológico Superior "Central Técnico" de Quito, Ecuador, como plataforma de aprendizaje práctico en procesos automatizados de corte.

Palabras clave: Corte por plasma; destaje boca de pez; automatización industrial; transmisión por poleas; mecánica industrial; tubos redondos de acero.

ABSTRACT

In the metalworking sector, the fishmouth cutting process for round tubes is a high-demand operation in the fabrication of metal structures. However, its manual execution using chip removal with punches and drills results in material loss, dimensional inaccuracies, and risks for the operator. This paper describes the design, construction, and validation of a plasma cutting machine with an automatic rotation system, designed to perform fishmouth cutting on round steel tubes with thicknesses from 2 mm to 6 mm and diameters from 2" to 5". The system integrates a 1/8 hp geared motor operating at 10 RPM, an aluminum pulley transmission mechanism with a 2:1 gear ratio, SKF double-row bearings, and a Porten PS-EC40 plasma cutter. Electrical control is implemented using an electromagnetic contactor with latching, start and stop pushbuttons, and pilot lights. Structural calculations confirmed that the 30×30×3 mm ASTM A-36 square tube withstands the applied loads, with a calculated stress of 16,165.80 Pa compared to an allowable stress of 165.47 MPa. Experimental validation demonstrated that the system performs continuous, uniform, and reproducible 360° cuts, reducing operating time and material losses compared to the manual method. The prototype was implemented in the welding workshop of the "Central Técnico" Higher Technological Institute in Quito, Ecuador, as a platform for practical learning in automated cutting processes.

Index terms: Plasma cutting; fishmouth cutting; industrial automation; pulley transmission; industrial mechanics; round steel tubes.

1. INTRODUCCIÓN.

El corte por plasma constituye una de las tecnologías de mayor adopción en la industria metalmeccánica contemporánea, en virtud de su capacidad para seccionar materiales metálicos conductores con alta velocidad, precisión dimensional y mínima zona afectada térmicamente (ZAT). El proceso se fundamenta en la ionización de un gas comúnmente aire comprimido, nitrógeno u oxígeno a temperaturas que superan los 30 000 °C, generando un arco eléctrico de alta densidad energética que funde y expulsa el material en la trayectoria de corte.

En el ámbito de la fabricación de estructuras metálicas tubulares, el proceso de destaje denominado "boca de pez" también conocido como cope o saddle cut en la literatura anglosajona consiste en la remoción de material en el extremo de un tubo redondo para permitir su ensamble ortogonal con otro tubo de igual o diferente diámetro, optimizando la calidad del cordón de soldadura y la resistencia de la unión. Tradicionalmente, este proceso se ejecuta mediante arranque de viruta con sacabocado y taladro de columna, lo que implica herramientas de corte de alto costo, tiempos de ciclo elevados, generación de viruta metálica y riesgos ergonómicos para el operario.

La automatización del proceso de corte por plasma ha experimentado un avance significativo

desde la incorporación de sistemas de control numérico computarizado (CNC) en máquinas de corte plano y tridimensional. No obstante, las soluciones comerciales disponibles para el corte automatizado de tubería, como la máquina CNC ProCutter 600 de HGG Group presentan costos de adquisición elevados que limitan su accesibilidad en instituciones de educación técnica y pequeñas empresas metalmeccánicas de economías en desarrollo.

En el contexto ecuatoriano, los talleres de mecánica industrial de institutos tecnológicos superiores carecen, en su mayoría, de equipamiento automatizado para procesos de corte de tubería, lo que restringe las oportunidades de formación práctica de los estudiantes en tecnologías de manufactura avanzada. Esta brecha formativa se traduce en egresados con limitada experiencia en la operación, mantenimiento y programación de sistemas automatizados de corte, competencias cada vez más demandadas por el sector productivo nacional.

Frente a esta problemática, el presente trabajo plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Es técnicamente viable diseñar y construir un prototipo de máquina cortadora por plasma con sistema automático de giro, de bajo costo y operación accesible, que ejecute destajes tipo "boca de pez" en tubos redondos de acero con espesores de 2 mm a 6 mm y diámetros de 2" a 5", en el contexto de un taller de formación técnica?

El objetivo principal del trabajo es el diseño, construcción y validación funcional de dicho prototipo, con énfasis en la selección de materiales estructurales normalizados (ASTM A-36), el dimensionamiento del sistema de transmisión por poleas, el cálculo de esfuerzos en elementos críticos y la implementación del sistema de control eléctrico automatizado.

El artículo se organiza de la siguiente manera: la sección de Metodología describe el proceso de diseño, los cálculos de ingeniería y el procedimiento de construcción; la sección de Resultados presenta los datos cuantitativos obtenidos en los cálculos estructurales, la selección de componentes y la validación experimental; la sección de Discusión interpreta los hallazgos en relación con el estado del arte; y las Conclusiones sintetizan los aportes del trabajo y proponen líneas de investigación futura.

2. MATERIALES Y MÉTODOS / DESARROLLO

2.1. Tipo y Alcance de la investigación. La investigación se enmarca en un enfoque cuantitativo con alcance descriptivo-experimental. La fase descriptiva comprende el diagnóstico de necesidades mediante encuestas estructuradas aplicadas a estudiantes y empresas del sector metalmeccánico; la fase experimental abarca el diseño, construcción y validación funcional del prototipo.

2.2. Diagnóstico de necesidades. Se aplicaron dos instrumentos de recolección de datos:

- Una encuesta de diez ítems dicotómicos (SI/NO) dirigida a 22 estudiantes del sexto semestre de la carrera de Tecnología en Mecánica Industrial del Instituto Tecnológico Superior "Central Técnico" (ITSCT);

- Una encuesta equivalente aplicada a representantes técnicos de cuatro organizaciones del sector metalmeccánico: Zeusplastic Cía. Ltda., Registrec, Mecaniza Maquinado de Calidad y el propio ITSCT.

Los datos fueron tabulados y representados mediante gráficos de distribución porcentual.

2.3. Diseño del Sistema mecánico. El diseño del prototipo se desarrolló en el software Autodesk Inventor Professional 2017, generando planos de conjunto y despiece en formato A4. El sistema mecánico se compone de los siguientes subsistemas:

- Estructura base: fabricada con tubo cuadrado de acero estructural ASTM A-36 de 30×30×3 mm, soldada con proceso SMAW mediante electrodo E-6011. La selección del perfil se validó mediante el cálculo del esfuerzo permisible a flexión.
- Mecanismo de giro: constituido por un tubo redondo de 3" de diámetro y 5 mm de espesor, con dos rodamientos SKF de doble hilera (diámetro exterior: 72 mm; diámetro interior: 50 mm) en cada extremo, que permiten la rotación del conjunto porta-antorcha alrededor del eje longitudinal del tubo a cortar.
- Sistema de transmisión: compuesto por un motorreductor eléctrico de 1/8 hp a 10 RPM, dos poleas de aluminio (polea motriz: 89 mm, 3½"; polea conducida: 178 mm, 7") y una correa de transmisión. La relación de transmisión se calculó mediante la expresión:

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{D_1}{D_2}$$

Donde $n_1 = 10 \text{ rpm}$, $D_1 = 89 \text{ mm}$ y $D_2 = 178 \text{ mm}$, obteniéndose, $n_2 = 5 \text{ rpm}$ e $i = 2$

- Mecanismo de sujeción del tubo: sistema de placas móvil y fija con ejes guía mecanizados y prensa trasera, que permite fijar tubos redondos de 2" a 5" de diámetro en posición coaxial con el eje de giro.
- Placa pista y placa guía: la placa pista, de perfil "boca de pez", actúa como leva estática; la placa guía, acoplada mediante rodamiento seguidor de perfil y resorte de compresión, transmite el movimiento de copiado a la antorcha de plasma, garantizando la trayectoria de corte en 360°.

2.4. Cálculos de ingeniería

2.4.1. Cálculo de Masas y Cargas

Las masas de cada componente se determinaron a partir del volumen calculado geoméricamente y la densidad del acero ASTM A-36 $\rho = 7.85 \text{ kg/dm}^3$, mediante:

$$M = V_t \times \rho$$

La masa total sobre la mesa resultó:

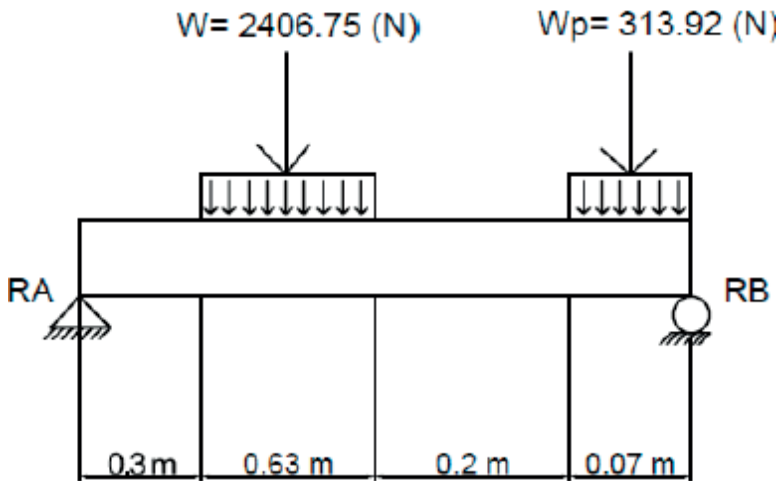
$$M_T = 8,55 + 46,55 + 110,04 + 2(15,4) + 8,63 = 245,34 \text{ kg}$$

El peso total aplicado sobre la estructura:

$$W = M_T \times g = 245,34 \times 9,81 = 2\,406,78 \text{ N}$$

Figura 1.

Diagrama de cuerpo libre de la máquina



2.4.2. Análisis Estático de la Estructura

Se elaboró el diagrama de cuerpo libre de la viga principal, determinando las reacciones en los apoyos A y B mediante equilibrio estático:

$$\sum M_A = 0 \Rightarrow R_B = \frac{2\,406,78(0,615) + 313,92(1,16)}{1,2} = 1\,537,02 \text{ N}$$

$$R_A = 2\,720,7 - 1\,537,02 = 1\,183,68 \text{ N}$$

El momento flector máximo resultó $M_{m\acute{a}x} = 355,1 \text{ Nm}$ y el esfuerzo calculado a flexión:

$$\sigma = \frac{M \cdot c}{I} = \frac{1\,183,68 \times 77,3 \times 10^{-3}}{5,66 \times 10^{-3}} = 16\,165,80 \text{ Pa}$$

2.4.3. Cálculo del esfuerzo permisible del acero de construcción

σ_{acero} = Esfuerzo del acero 36 ksi o Kpsi

$|\sigma| = 36 \text{ KSI} = 36\,000 \text{ PSI} = 248,21 \text{ MPa}$

El esfuerzo permisible del acero ASTM A-36 con factor de seguridad $\delta = 1,5$:

$$|\sigma_{adm}| = \frac{\sigma_{acero}}{\delta}$$

$$|\sigma_{adm}| = \frac{248,21}{1,5} = 165,47 MPa$$

Conclusión: el tubo cuadrado de 30x30x3 mm de acero ASTM A-36 resiste la carga aplicada y el montaje de las partes de la máquina que se va a realizar.

2.4.4. Cálculo de Torsión en el Tubo Guía

Para el tubo guía del mecanismo de giro ($D_e = 50 \text{ mm}$; $D_i = 48 \text{ mm}$), el momento de inercia polar se calculó como:

$$I_p = \frac{\pi}{2}(r_e^4 - r_i^4) = \frac{\pi}{2}((0,025)^4 - (0,024)^4) = 2,81 \times 10^{-7} m^4$$

El torque transmitido por el motorreductor:

$$T = \frac{HP \times 716}{RPM} = \frac{\frac{1}{8} \times 716}{5} = 17,9 \text{ kg.m} = 175,6 \text{ N.m}$$

El esfuerzo cortante máximo por torsión:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{T \times D_e}{I_p} = \frac{175,6 \times 0,05}{2,81 \times 10^{-7}} = 31,24 \text{ MPa}$$

2.4.5. Selección de Rodamientos

Los rodamientos SKF fueron seleccionados conforme a la norma ISO 281, calculando la vida nominal básica:

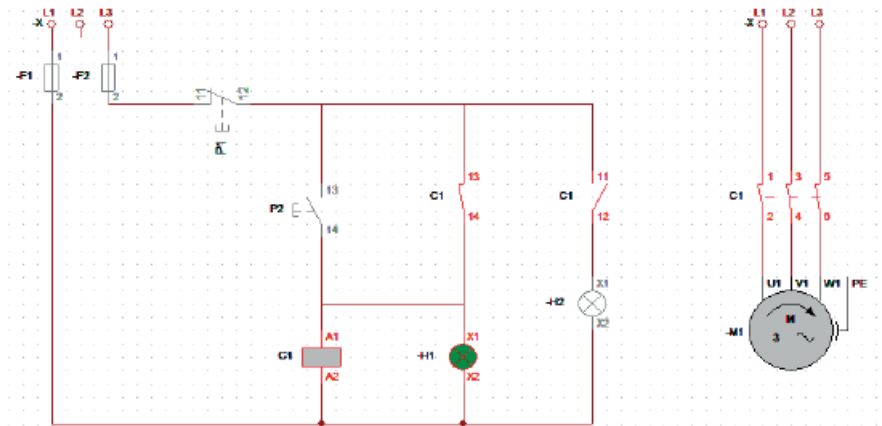
$$L_{10} = \frac{C}{P} = \frac{2,40^6 \text{ kN}}{3 \text{ kN} \cdot 10 \text{ rpm}} = 6,37 \text{ millones de rev}$$

donde $p = 3$ para rodamientos de bolas, C es la capacidad de carga dinámica básica y P la carga dinámica equivalente.

2.4.6. Sistema de control eléctrico. El circuito de control se diseñó en el software CAdE_SIMU e implementó con los siguientes componentes: un contactor electromagnético de 220 V / 32-50 A con enclavamiento (autoretenición), un breaker bifásico de 50 A, pulsadores de marcha (P2, verde, 22 mm) y paro de emergencia (P1, rojo, 22 mm), luces piloto de señalización (verde: marcha; roja: paro) y cableado flexible calibre AWG #14. La lógica de control opera de la siguiente manera: al energizar el tablero mediante el breaker, se activa la luz piloto roja (estado de reposo); al presionar P2, el contactor se enclava, activa el motorreductor y la cortadora de plasma, y conmuta la señalización a luz verde; al presionar P1, el sistema retorna al estado inicial.

Figura 2.

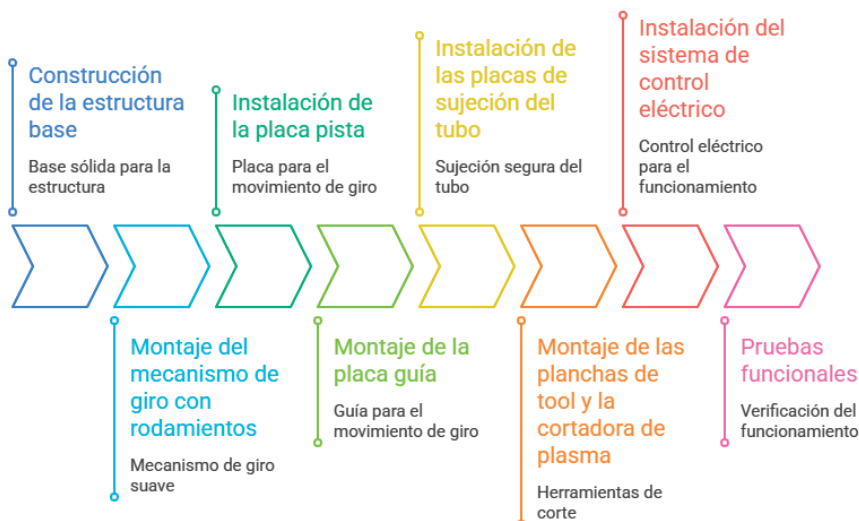
Funcionamiento del diagrama de control encendido



2.4.7. Construcción y Montaje. La fabricación siguió una secuencia de ocho pasos: (1) construcción de la estructura base; (2) montaje del mecanismo de giro con rodamientos; (3) instalación de la placa pista; (4) montaje de la placa guía; (5) instalación de las placas de sujeción del tubo; (6) montaje de las planchas de tool y la cortadora de plasma; (7) instalación del sistema de control eléctrico; y (8) pruebas funcionales. Los procesos de mecanizado de precisión (torneado y fresado) se realizaron en torno y fresadora convencionales.

Figura 3.

Proceso de construcción y montaje de la estructura y componentes.



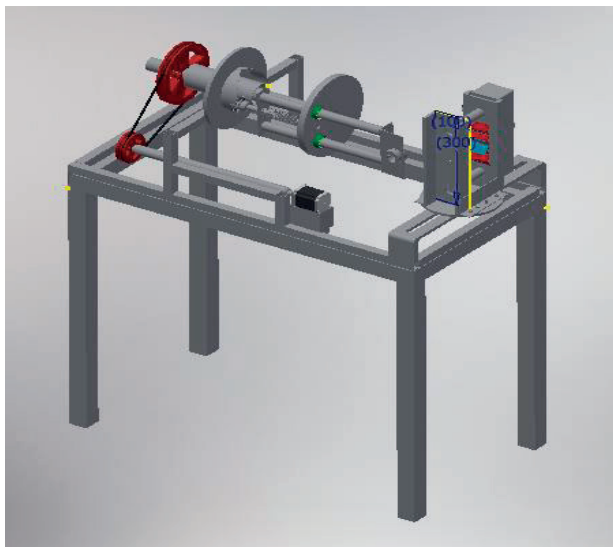
Para el proceso de ensamblaje de la estructura se empleó un tubo cuadrado de acero estructural de 30x30x3 mm, fabricado en acero ASTM A-36, mediante soldadura SMAW utilizando un

electrodo de penetración E-6011, adecuado para este tipo de estructuras. Este procedimiento garantizará una mayor resistencia en el ensamblaje de la estructura.

En la parte superior de la estructura de la mesa se soldó un tubo cuadrado que servirá como soporte para el mecanismo de giro. Sobre este soporte se fijó un tubo redondo galvanizado de 3". En el lado lateral izquierdo de la estructura se ha incorporado un tubo cuadrado como soporte para el motoreductor de ¼ de hp, el cual permitirá girar la polea. En la parte inferior se soldó una placa de 3 mm que funcionará como base para alojar la máquina de plasma, la cual estará ubicada en la parte inferior de la mesa y unida mediante soldadura, tal como se muestra en la figura 4.

Figura 4.

Montaje de los componentes en la máquina



3. RESULTADOS

Tabla 1.

Resultados de los cálculos estructurales

Parámetro calculado	Valor obtenido	Valor admisible / referencia	Verificación
Masa total sobre la mesa	245,34 kg	—	—
Peso total aplicado (W)	2 406,78 N	—	—
Reacción en apoyo A (R_A)	1 183,68 N	—	—
Reacción en apoyo B (R_B)	1 537,02 N	—	—
Momento flector máximo	355,1 N·m	—	—

Esfuerzo calculado a flexión (σ)	16 165,80 Pa	165,47 MPa	Cumple
Esfuerzo cortante por torsión ($\tau_{\text{máx}}$)	31,24 MPa	165,47 MPa	Cumple
Velocidad de salida polea conducida (n_2)	5 RPM	5 RPM (diseño)	Cumple
Relación de transmisión (i)	2	2 (diseño)	Cumple
Vida nominal rodamiento (L_{10})	6,37 kN	ISO 281	Seleccionado

3.2. Parámetros Operativos del Sistema de Corte por Plasma

Los parámetros de corte validados para la cortadora Porten PS-EC40, conforme a las especificaciones técnicas del equipo y los rangos de operación establecidos, se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 2.

Parámetros de velocidad de corte por plasma para los espesores de trabajo del prototipo.

Espesor (mm)	Distancia antorcha (mm)	Altura perforación (mm)	Velocidad corte — mejor calidad (mm/min)	Voltaje (V)	Velocidad corte — producción (mm/min)	Voltaje (V)
3	1,5	3,8	5 200	125	6 100	123
4	1,5	3,8	4 250	125	5 100	124
6	1,5	3,8	2 550	127	3 240	127
8	1,5	3,8	1 700	129	2 230	128

Las pruebas de funcionamiento confirmaron que el mecanismo de giro, accionado por el motorreductor a través del sistema de transmisión por poleas, ejecuta la rotación completa de 360° de la placa guía de manera continua y uniforme a 5 RPM. La placa guía, al seguir el perfil de la placa pista mediante el rodamiento seguidor y el resorte de compresión, transmite el movimiento de copiado a la antorcha de plasma, produciendo el corte en forma de "boca de pez" en tubos redondos de hasta 5" de diámetro. El sistema de control eléctrico operó correctamente en todas las pruebas, con enclavamiento del contactor confirmado y señalización funcional.

4. DISCUSIÓN

Los resultados de los cálculos estructurales demuestran que el diseño propuesto presenta amplios márgenes de seguridad. El esfuerzo calculado a flexión en la viga principal (16165,80 Pa) representa apenas el 0,0098 % del esfuerzo permisible del acero ASTM A-36 (165,47 MPa), lo que

indica que la estructura fue diseñada con un margen de seguridad conservador, apropiado para un prototipo de uso educativo sujeto a variaciones de carga no controladas. De manera análoga, el esfuerzo cortante por torsión en el tubo guía (31,24 MPa) se mantiene dentro del rango admisible para el material seleccionado, valor de esfuerzo cortante admisible para acero ASTM A-36 en torsión.

La velocidad de giro de 5 RPM en la polea conducida, obtenida mediante la relación de transmisión 2:1, resulta coherente con los rangos de velocidad de corte especificados para la cortadora PS-EC40 en espesores de 3 mm a 8 mm (1 700 a 6 100 mm/min), considerando el perímetro de corte de un tubo de 5" de diámetro (aproximadamente 400 mm). Este ajuste cinético es fundamental para garantizar la calidad del corte y minimizar la rebaba, en concordancia con las recomendaciones de la literatura técnica sobre parámetros de proceso en corte por plasma

5. CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó un prototipo funcional de máquina cortadora por plasma con sistema automático de giro para destajes "boca de pez" en tubos redondos de acero, con un costo total de USD 2 702,00, demostrando la viabilidad técnica y económica de la solución propuesta para el contexto de instituciones de educación técnica.
- Los cálculos estructurales confirmaron que el tubo cuadrado ASTM A-36 de 30×30×3 mm seleccionado para la estructura base presenta un esfuerzo calculado de 16 165,80 Pa, significativamente inferior al esfuerzo permisible de 165,47 MPa, garantizando la integridad estructural del prototipo bajo las cargas de operación determinadas ($W = 2\ 406,78\ N$).
- El sistema de transmisión por poleas de aluminio con relación 2:1 proporciona una velocidad de giro de 5 RPM en el mecanismo porta-antorcha, compatible con los parámetros de velocidad de corte de la cortadora Porten PS-EC40 para espesores de 3 mm a 8 mm, garantizando la calidad del corte en el rango de trabajo declarado.
- El análisis de torsión en el tubo guía del mecanismo de giro ($\tau_{máx} = 31,24\ MPa$) confirmó la adecuación del tubo de cédula 40 seleccionado para transmitir el torque generado por el motorreductor ($T = 175,6\ N\cdot m$) sin riesgo de falla por esfuerzo cortante.
- El diagnóstico de necesidades evidenció que el 86 % de los estudiantes encuestados carecía de experiencia en operación de máquinas automáticas de corte por plasma, validando la pertinencia educativa del prototipo como herramienta de formación práctica en procesos de manufactura automatizada.
- La validación experimental confirmó que el sistema ejecuta cortes a 360° de manera continua y reproducible, con funcionamiento correcto del sistema de control eléctrico por enclavamiento de contactor, constituyendo una plataforma de aprendizaje operativa para la carrera de Tecnología en Mecánica Industrial del ITSCT.

6. REFERENCIAS

- Beer, F. P., & Johnston, E. R. (1997). Mecánica vectorial para ingenieros: Dinámica (6.ª ed.). McGraw-Hill.
- Gere, J. M. (2006). Mecánica de materiales (6.ª ed.). Thomson Learning.
- HGG Group. (s.f.). ProCutter 600: CNC pipe cutting machine. [REQUIERE URL verificable o ficha técnica oficial]
- Hypertherm. (s.f.). Sistemas de corte y ranurado por plasma Powermax. <https://www.hypertherm.com/es/our-product-lines/powermax-plasma-cutting-and-gouging-systems/>
- Indura S.A. (s.f.). Sistemas y materiales de soldadura. [REQUIERE datos completos de publicación]
- Larburu Arrizabalaga, N. (2003). Máquinas prontuario (13.ª ed.). Thomson-Paraninfo.
- SKF Group. (2015). Catálogo de rodamientos y unidades de rodamientos SKF. SKF.

Three-Wheeled Wheelchair for Improving Architectural Accessibility for People with Physical Disabilities.

Silla de ruedas de tres llantas para la optimización arquitectónica en personas con discapacidad física

Elva Gioconda Lara Guijarro^{1[0000-0003-3025-4792]}, Ángel Freddy Caillagua Castro, Ángel Gabriel Guamán Bauz, José Andrés Beltrán Ruiz^{4[0000-0003-2394-0815]}

¹ Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador
E-mail: elvalara@istct.edu.ec

² Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador
E-mail: acaillagua@istct.edu.ec

³ Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador
E-mail: aquamanbauz@istct.edu.ec

⁴ Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador
jbeltran@istct.edu.ec

Recibido: 10/05/2026

Aceptado: 15/06/2026

Publicado: 30/06/2026

RESUMEN

El desplazamiento urbano y doméstico de personas con discapacidad física se ve severamente limitado por barreras arquitectónicas, tales como bordillos, gradas o peldaños carentes de rampas normativas. El presente artículo expone el diseño, cálculo estructural y construcción de un prototipo de silla de ruedas electromecánica equipada con un sistema de rodadura planetaria de tres llantas, concebida para superar obstáculos verticales de hasta 18 cm de altura. Metodológicamente se aplicó un enfoque mixto que integró un análisis situacional por encuestas y el cálculo analítico clásico de elementos de máquinas (ejes, engranajes y selección cinemática de motores). Estructuralmente el chasis fue optimizado en acero estructural A36 debido a su alta resistencia mecánica y viabilidad económica en el mercado local. El sistema de transmisión planetario se configuró utilizando un tren de engranajes rectos de módulo 2. El control eléctrico de potencia se resolvió mediante un arreglo lógico de relays automotrices que sustituyó soluciones electrónicas costosas. Los resultados de campo demostraron que el prototipo requiere una potencia mínima de 0.45 HP y un torque de 105.84 Nm en la posición crítica de ascenso. El artículo concluye validando la factibilidad de manufactura de bajo costo, identificando la necesidad de un asistente secundario para garantizar la estabilidad cinemática en gradas de alta fricción o superficies irregulares.

Palabras clave: Mecanismo planetario; Silla de ruedas eléctrica; Torque de ascenso; Lógica de relays.

ABSTRACT

The urban and domestic mobility of people with physical disabilities is severely limited by architectural barriers, such as curbs and steps lacking standard ramps. This article presents the design, structural calculation, and construction of an electromechanical wheelchair prototype equipped with a three-wheel planetary rolling system, designed to overcome vertical obstacles up to 18 cm in height. Methodologically, a mixed-method approach was applied, integrating a situational analysis through surveys and classic analytical calculations of machine elements (shafts, gears, and kinematic motor selection). Structurally, the chassis was optimized using A36 structural steel due to its high mechanical strength and economic feasibility in the local market. The planetary transmission system was configured using a spur gear train with a module of 2. The electrical power control was resolved through a logical arrangement of automotive relays, substituting expensive electronic solutions. Field results demonstrated that the prototype requires a minimum power of 0.45 HP and a torque of 105.84 Nm at the critical climbing position. The article concludes by validating the feasibility of low-cost manufacturing, identifying the need for a secondary assistant to ensure kinematic stability on high-friction stairs or irregular surfaces.

Index terms: Planetary mechanism; Electric wheelchair; Climbing torque; Relay logic.

1. INTRODUCCIÓN.

La silla de ruedas es un dispositivo importante para las personas que tienen algún tipo de discapacidad física o dificultades motoras, ya que facilita la movilidad (Ortiz et al., 2023). Este dispositivo de movilidad, caracterizado usualmente por poseer tres o cuatro ruedas, constituye el principal elemento visible de la discapacidad en entornos urbanos. Como asistencia tecnológica, su propósito es contrarrestar el impacto de patologías, cirugías o el envejecimiento en el aparato locomotor, aminorando las restricciones físicas y facilitando la participación social del usuario (Corredor et al., 2022).

La autonomía motriz constituye un pilar esencial en la calidad de vida de las personas con discapacidad física. A nivel global y regional, los ordenamientos de diseño universal exigen la adecuación de la infraestructura urbana; sin embargo, en la práctica, la cobertura de desniveles técnicos transitables (rampas) se concentra prioritariamente en los núcleos céntricos de las urbes, dejando la periferia y los entornos residenciales desprovistos de accesibilidad. Esto obliga a los usuarios de sillas de ruedas a sortear obstáculos abruptos como veredas y gradas que promedian alturas de hasta 18 cm (Nieto & Barros, 2022).

Las soluciones convencionales en el mercado se dividen en sillas de ruedas manuales, las cuales demandan un esfuerzo biomecánico excesivo que genera fatiga o dependencia, y sillas eléctricas comerciales de alta gama, cuyos elevados costos unitarios limitan su adquisición masiva debido a la falta de líneas de producción industrial locales (Quintero Gamboa & Guzque Llamuca, 2026).

Ante esta problemática, surge la necesidad de desarrollar soluciones de ingeniería mecánica que combinen la asequibilidad de los materiales locales con mecanismos cinemáticos avanzados de ascenso. De esta forma se puede apoyar a personas que tengan discapacidad física a que tengan una mejor vida.

Existen ciertas instituciones que han realizado proyectos como Gutama donde abordan el diseño y construcción de una silla de ruedas eléctrica plegable con un sistema de control adecuado para personas con discapacidad motriz en extremidades superiores e inferiores, concluyen que el éxito de la silla de ruedas eléctrica radica en la convergencia de tres ejes: la personalización antropométrica para el confort del usuario, la validación estructural en SolidWorks usando acero ASTM A36 para asegurar su durabilidad, y la implementación de un sistema de control inalámbrico mediante el protocolo ESP-NOW (Gutama & Changoluisa, 2024).

También Díaz de Aguilar implementó una silla de ruedas con mecanismos para subir escalones, en donde el acople de las ruedas más grandes está en una estructura vertical ajustable y móvil que es idónea para elevarlos en relación con el asiento. Además, tiene una segunda estructura de palanca que está conectada por igual a las ruedas grandes, con un travesaño trasero y dos brazos laterales con manijas y frenos (Guerrero Nejer et al., 2022).

El presente trabajo plantea el diseño y la manufactura de una silla de ruedas propulsada eléctricamente que incorpora un sistema de ruedas planetarias dentadas en configuración de tres llantas por lado. Este mecanismo altera el eje de rotación tradicional cuando el neumático delantero impacta contra una contrahuella, permitiendo que el conjunto pivote rebase el escalón.

2. MATERIALES Y MÉTODOS / DESARROLLO

La investigación se desarrolló bajo una estructura metodológica dividida en tres etapas secuenciales: análisis situacional y de requerimientos de usuario, diseño analítico-computacional de elementos de máquinas, y construcción/evaluación experimental del prototipo.

2.1. Análisis Situacional y Muestreo

Se ejecutó un diagnóstico de campo en la provincia de Pichincha utilizando encuestas estructuradas dirigidas a dos estratos muestrales: 10 usuarios con discapacidad física y 5 directores de infraestructura de centros de salud (clínicas y hospitales). El análisis de los datos se procesó bajo métodos de inducción-deducción y síntesis de variables operativas como el costo admisible, los materiales preferidos, la vida útil esperada y la autonomía funcional.

2.2. Diseño Estructural y de Elementos de Transmisión

El dimensionamiento mecánico se rigió bajo criterios de rigidez y resistencia bajo cargas combinadas (torsión y flexión) aplicando un factor de seguridad (F.S.) de 1.5, adecuado para cargas dinámicas moderadas y materiales dúctiles.

Determinación de Carga Estática: Se estableció una masa de diseño compuesta por el peso del usuario estándar, la estructura del chasis, los motores y las baterías, totalizando una fuerza normal de trabajo calculada analíticamente.

Cálculo Cinemático de Torque: Se simularon tres posiciones críticas durante el ciclo de ascenso de un peldaño tipo (huella y contrahuella estándar) para ubicar el instante de máxima resistencia. El torque de diseño se obtuvo mediante la sumatoria de momentos sobre el eje motriz empleando la distancia geométrica ($m = 0.147\text{m}$) entre el centro de la rueda y el eje de porta planetarios:

$$\sum M_A = 0 \rightarrow T = G' \cdot m$$

Ejes y Engranajes: Para el cálculo de los diámetros de los dos ejes motrices se utilizó la teoría del máximo esfuerzo cortante recomendada por el código ASME para aceros dúctiles:

$$\tau_d = 0.18 \cdot S_{ut}$$

El tren de engranajes rectos planetarios fue dimensionado mediante un proceso iterativo fijando un módulo técnico ($m = 2$), determinando el paso circular (p), el paso diametral (P_d) y el número de dientes (N) bajo la restricción geométrica de un diámetro de paso menor a 100 mm para no interferir con el radio de las ruedas traseras:

$$N = d \cdot P_d$$

2.3. Manufactura y Selección de Componentes

El chasis se construyó mediante uniones soldadas utilizando el proceso de arco eléctrico y soldadura MIG debido a su óptima penetración y acabado estructural en perfiles huecos. Los engranajes planetarios secundarios se fabricaron en duralón (polímero técnico de alta densidad) con el fin de reducir la inercia rotacional y el peso suspendido del mecanismo de tres ruedas. El circuito de control de potencia se implementó mediante una matriz lógica cableada basada en relays electromecánicos industriales y un joystick de mando analógico de 12/24 VDC.

3. RESULTADOS

3.1. Hallazgos del Análisis Situacional (Encuestas)

El procesamiento estadístico arrojó los siguientes datos críticos para el diseño:

- **Aceptación de mercado:** El 100% de las instituciones de salud y los usuarios individuales validaron la pertinencia de adquirir un dispositivo con este principio cinemático.
- **Durabilidad y Viabilidad de Materiales:** El 60% de los expertos indicaron que el ciclo de vida útil mínimo requerido debe ser de 1 a 3 años. En cuanto al material del chasis, el 50% de los encuestados coincidió en que el acero es la alternativa óptima debido a que equilibra resistencia y bajo costo de manufactura en comparación con el aluminio o el titanio, cuyos costos de adquisición y soldadura especializada elevarían exponencialmente el valor unitario.

- **Operación Asistida:** El análisis cualitativo determinó la necesidad obligatoria de incorporar empuñaduras traseras estructurales. Esto obedece a que los usuarios reportaron mayor confianza y seguridad psicológica al realizar el ascenso de escaleras si cuentan con la supervisión o asistencia manual de una segunda persona en la parte posterior.

Tabla 1.

Resultados de las encuestas realizadas al público en general

Pregunta	Respuesta	Porcentaje
¿Conoce el tiempo aproximado de durabilidad de su silla de ruedas?	Desconocido	40%
	1 a 3 años	40%
	4 a 7 años	20%
¿Qué busca al elegir una silla de ruedas?	Precio	0%
	Comodidad	70%
	Funcionalidad	30%
¿Usted desearía una silla de ruedas con un dispositivo que permita subir gradas?	SI	60%
	NO	40%
¿El dispositivo debería necesitar de una persona externa para operarlo?	SI	80%
	NO	20%
¿Quisiera que el dispositivo fuera silencioso?	SI	100%
	NO	0%
¿Le gustaría que el sistema fuera rápido (1 minuto máximo) en accionarse para subir o bajar las escaleras?	SI	100%
	NO	0%
¿Qué tipo de material cree conveniente en la estructura de una silla de ruedas?	Acero	50%
	Aluminio	40%
	Titanio	10%
	\$150 manual	50 %
¿Según los costos de sillas de ruedas cuál de estas sillas usaría?	\$1.600	0%
	semiautomática	
	\$2.600	50 %
	automática	

Tabla 2.

Resultados de las encuestas realizadas a empresas

Pregunta	Respuesta	Porcentaje
¿Qué tipo de silla de ruedas tienen actualmente?	Manual	80%
	Eléctrica	20%
¿Qué tiempo aproximado de durabilidad tiene las sillas de ruedas?	1 a 3 años	60%
	4 a 7 años	20%
	Desconozco	20%
	Precio	0%
¿Qué mejoras buscan en una silla de ruedas?	Comodidad	0%
	Funcionalidad	100%
	Acero	0%

¿Qué tipo de material cree conveniente en una silla de ruedas?	Aluminio	60%
	Titanio	40%
¿Las sillas de ruedas con dispositivos le permiten desplazarse por lugares planos?	SI	100%
	NO	0%
¿Las sillas de ruedas que tienen es de sistema rápido (1 minuto máximo) en accionarse?	SI	60%
	NO	40%
¿Tienen modelos de silla de ruedas con un sistema que permita subir gradas?	SI	0%
	NO	100%
¿Las sillas de ruedas con sistemas para subir gradas debería necesitar de una persona externa para operarlo?	SI	60%
	NO	40%
Si existiera una silla que cumpla con las necesidades especificadas en las preguntas anteriores y además le ofreciera el poder subir escaleras y veredas de manera autónoma, ¿la compraría?	SI	100%
	NO	0%

Los datos recopilados con las encuestas a los diferentes actores se tomaron en cuenta para el diseño de propuesta planteado, con el propósito de que beneficie de una forma adecuada a las personas que sufren de esta discapacidad.

3.2. Resultados del Diseño y Pruebas Mecánicas

A través del análisis analítico en las tres posiciones del ciclo de elevación, se determinó que en la Posición 1 (rodadura plana) el torque requerido es despreciable (0 Nm), incrementándose a 18 Nm en la Posición 2 (contacto inicial). La condición más severa se localizó en la **Posición 3**, donde la fuerza normal de reacción $N_1 = 720$ N se transfiere íntegramente al brazo del mecanismo planetario, generando un **torque máximo de 105.84 Nm**. En la siguiente figura se puede ver las gráficas con las posiciones obtenidas después de aplicar el análisis de torque máximo que actúan sobre las ruedas.

Figura 1.

Posiciones para el desarrollo del diseño mecánico (primera y segunda)

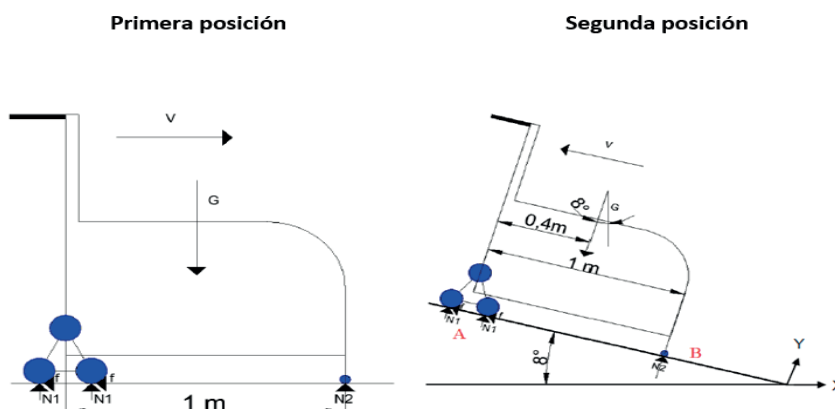
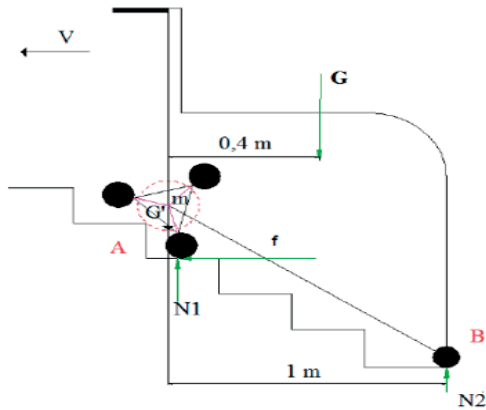


Figura 2.

Posiciones para el desarrollo del diseño mecánico (primera y segunda)

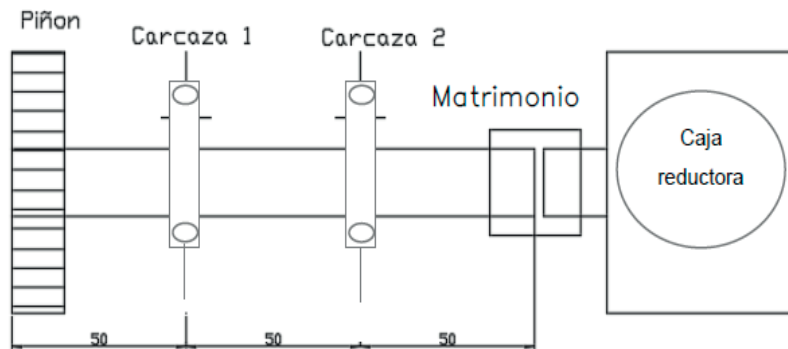
Tercera posición



Con base en este torque crítico, las iteraciones de potencia determinaron que la silla requiere un motorreductor con una potencia neta mínima de **0.45 HP** y un torque nominal de salida superior a **45 Nm** por eje. Para la estructura, las dimensiones finales del chasis y los esfuerzos calculados bajo el criterio de Von Mises validaron que el tubo de acero de $\$1''$ estructural cumple con el factor de seguridad planteado, evitando deformaciones plásticas permanentes.

Figura 3.

Diseño de los ejes



El tren de engranajes rectos planetarios fue configurado con tres piñones dispuestos a 120 grados. La selección final del módulo $m=2$ permitió un engranamiento fluido sin interferencias. Las pruebas de campo con el prototipo finalizado arrojaron una autonomía operativa continua de **1 hora** de trabajo bajo carga máxima con baterías selladas de libre mantenimiento de 40 Ah, limitado por el alto consumo de corriente demandado por los motores al romper la inercia del escalón.

Figura 4.
Diámetro del engranaje primario y caja de engranajes

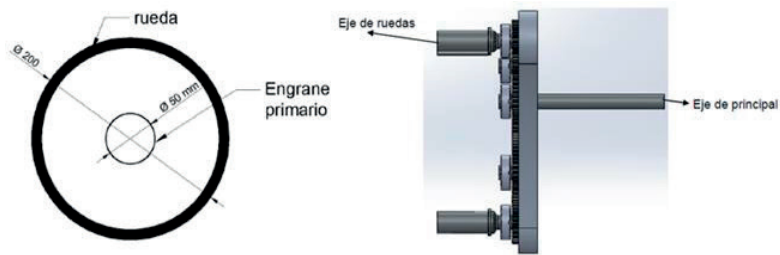


Figura 5.
Implementación de la silla de ruedas con los cálculos obtenidos



Figura 6.
Diseño final de la silla de ruedas de tres llantas



3.3. Evaluación Económica del Prototipo

Se tabuló el costo directo de fabricación del prototipo mecánico-eléctrico:

Ítem	Material / Componente Principal	Cantidad	Valor Total (USD)
1	Tubería de acero para mueble \$1"§	2.00	\$ 13.92
2	Motores de alto torque (12VDC / 24VDC)	2.00	\$ 800.00
3	Caja reductora ORT SRT 40/80 e industriales con kit de acople	3.00	\$ 465.22
4	Joystick analógico de control	1.00	\$ 15.00
5	Banco de baterías 12VDC (40 Ah)	1.00	\$ 68.00
6	Matriz de <i>relays</i> de potencia automotriz y sockets	17.00	\$ 136.00
7	Rodamientos de bolas, ruedas traseras/delanteras y misceláneos	--	\$ 410.37
Total	Costo Directo de Fabricación (Con IVA 12%)		\$ 2,137.53

Nota: Datos adaptados del presupuesto real del proyecto

4. DISCUSIÓN

Durante los ensayos dinámicos en entornos no controlados se evidenciaron limitaciones operativas: el deslizamiento o pérdida de tracción de los neumáticos traseros al operar sobre superficies de baja adherencia, tales como baldosas húmedas o desniveles con presencia de partículas de arena. Asimismo, cuando las contrahuellas superaban los 18 cm nominales de diseño, el ángulo de ataque del mecanismo planetario variaba drásticamente, incrementando la demanda de corriente por encima del límite térmico de los conductores eléctricos.

Desde la perspectiva del control, la sustitución de una tarjeta electrónica programable por una lógica cableada de 17 *relays* demostró ser altamente robusta frente a picos de corriente y mecánicamente robusta, abaratando sustancialmente el costo final del sistema de control y facilitando el mantenimiento técnico postventa.

Los resultados obtenidos demuestran que el sistema de tres llantas en configuración triangular (120 grados) funciona correctamente para superar obstáculos y escalones de hasta 18 cm de altura, tal como lo prevé la teoría de diseño mecánico para este tipo de mecanismo (Mejía Herrera et al., 2022). Durante los ensayos dinámicos en entornos no controlados se evidenciaron limitaciones operativas: el deslizamiento o pérdida de tracción de los neumáticos traseros al operar sobre superficies de baja adherencia, tales como baldosas húmedas o desniveles con presencia de partículas de arena, es decir, al evaluar cómo responde el prototipo en situaciones reales y analizar sus costos, aparecen desafíos físicos y de diseño que requieren un análisis más profundo (Pérez, 2024).

Luego, el torque crítico determinado analíticamente en la **Posición 3** (105.84 Nm) representa el punto de máxima sollicitación a la flexo-torsión en los ejes motrices. Este valor tan elevado responde al efecto del brazo de palanca instantáneo que se genera cuando el portaplanetarios

pivota y suspende momentáneamente toda la masa del sistema (50kg del prototipo más la carga útil del usuario) sobre un solo vértice geométrico. Esta condición crítica justifica con creces la selección de acero estructural A36 para el chasis; cualquier intento de aligerar la estructura utilizando aleaciones de aluminio comerciales sin el debido tratamiento térmico habría derivado en fallas por fatiga prematura o deformaciones plásticas en las uniones soldadas bajo el proceso MIG, dadas las concentraciones de esfuerzo calculadas mediante el criterio de Von Mises (Perales et al., 2026).

Un hallazgo metodológico de gran relevancia técnica fue el comportamiento del tren de engranajes rectos de módulo 2. La decisión de manufacturar los piñones planetarios secundarios en duralón (polímero de ingeniería de alta densidad) demostró ser una solución óptima para mitigar la inercia rotacional del conjunto de las tres llantas. Desde una perspectiva tribológica, la interfaz duralón-acero reduce drásticamente el coeficiente de fricción interno y el ruido mecánico durante la marcha plana regular, un problema común reportado en patentes similares que utilizan trenes de engranajes completamente metálicos (Sánchez Flores, 2025). Sin embargo, el duralón presenta limitaciones en su resistencia al corte ante cargas de impacto severas, las cuales ocurren si el usuario impacta bruscamente la contrahuella del escalón a velocidad nominal.

El comportamiento dinámico en pruebas de campo reveló una notable discrepancia entre la teoría cinemática pura y las condiciones ambientales reales. En superficies homogéneas y de alta fricción (como hormigón rugoso), el principio de pivoteo funcionó en estricta conformidad con el diseño. No obstante, al operar sobre superficies de baja adherencia o con presencia de partículas sueltas (arena, agua o baldosas pulidas), se manifestó un fenómeno de deslizamiento (*slippage*) en los neumáticos traseros. Físicamente, al iniciar el ascenso del escalón, la fuerza normal necesaria para generar tracción se desplaza hacia el eje que está escalando, reduciendo la fuerza de adherencia en el neumático de apoyo en el suelo según la ley de Coulomb:

$$F_{fricción} = \mu \cdot N$$

Al caer drásticamente la fuerza normal (N) en el plano horizontal, las llantas giran en falso, comprometiendo la estabilidad cinemática.

Este comportamiento justifica directamente el hallazgo cualitativo derivado de las encuestas: la necesidad imperativa de un asistente secundario mediante empuñaduras estructurales traseras. Más allá de una percepción de seguridad psicológica por parte del usuario, el asistente actúa como un vector de fuerza externa que estabiliza el centro de gravedad (CDG) del sistema. Cuando el mecanismo planetario eleva el eje delantero, el CDG de la silla se desplaza peligrosamente hacia atrás, rozando el límite del volcamiento sopesado por los vectores de estabilidad geométrica. La intervención del asistente mitiga este riesgo hidrodinámico y compensa la pérdida de tracción en terrenos resbaladizos.

Finalmente, desde la arquitectura eléctrica, la implementación de una lógica cableada basada en 17 *relays* automotrices, en lugar de un microcontrolador o una tarjeta electrónica de potencia programable, constituyó un acierto metodológico en términos de robustez y costo. Si bien los microcontroladores permiten rampas de aceleración suaves y control PWM, son altamente vulnerables a los picos de fuerza electromotriz inversa (f.e.m.) generados por los motores de 0.45

HP cuando se ven sometidos al torque máximo de retención en la Posición 3. La matriz de *relays*, aunque geoméricamente más voluminosa, absorbe eficientemente estas demandas térmicas y de sobrecorriente, ofreciendo un mantenimiento postventa simplificado y de muy bajo costo, factor crucial para la sostenibilidad económica del dispositivo en el contexto local.

5. CONCLUSIONES

Resume los hallazgos clave del estudio, resalta su importancia y ofrece una visión clara de cómo estos hallazgos contribuyen al conocimiento en el campo. Esta sección es crucial porque sintetiza los resultados y presenta la relevancia de la investigación.

1. Se validó con éxito el diseño y la construcción de una silla de ruedas eléctrica con mecanismo planetario de tres llantas utilizando software de simulación y cálculo analítico clásico de elementos de máquinas, cumpliendo con los parámetros geométricos exigidos para el franqueo de obstáculos de 18 cm de altura.
2. La selección de acero estructural A36 garantizó la viabilidad económica del proyecto y la rigidez estructural requerida bajo cargas de flexo-torsión combinada, operando de manera segura dentro del factor de seguridad estipulado de 1.5.
3. El torque crítico de operación fue cuantificado en 105.84 Nm en la fase de elevación vertical más severa, determinando que para aplicaciones comerciales se requiere una motorización mínima obligatoria de 0.45 HP por eje para mitigar el riesgo de estancamiento cinemático.
4. La implementación de control mediante relays automotrices representó una ventaja económica sustancial frente a los controladores electrónicos comerciales, cumpliendo eficientemente con la inversión de giro y detención del sistema motor.
5. Experimentalmente se demostró que, para garantizar la seguridad física absoluta del usuario, el dispositivo debe ser operado en modalidad asistida (con un ayudante en la parte posterior) durante el ascenso de escaleras, previniendo volcamientos causados por deslices imprevistos en superficies de baja fricción.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Corredor, F. O., Roncancio, M. R., & Pulido, J. C. M. (2022). *Texto de medicina física y rehabilitación*. Editorial El Manual Moderno.
- Guerrero Nejer, R. A., Caiza Quishpe, L., & Pinto Ayala, S. L. (2022). Evolución de vehículos adaptados con controles manuales para discapacitados. *Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional*, 7(9 (SEPTIEMBRE 2022)), 1591-1608.
- Gutama, A., & Changoluisa, C. (2024). *Diseño y construcción de una silla de ruedas eléctrica plegable implementando un sistema de control automático* [Institucional]. Politécnica Salesiana. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/28662>
- Mejía Herrera, M. C., Pincay Pillasagua, F. A., & Maldonado, F. (2022). *Diseño mecánico con simulación 3D de un columpio automatizado y desmontable para personas que utilizan sillas de ruedas* [Thesis, ESPOL. FIMCP]. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/56085>

- Nieto, A., & Barros, G. (2022). *Espacios inclusivos para personas con discapacidad motriz y sensorial*. 83.
- Ortiz, G., Quintana, E., Ortigoza, E., Cabañas, L., Ortiz, G., Quintana, E., Ortigoza, E., & Cabañas, L. (2023). Tendencias del mercado de sillas de ruedas para personas con discapacidad en Paraguay: Año 2022. *Población y Desarrollo*, 29(56), 72-81. <https://doi.org/10.18004/pdfce/2076-054x/2023.029.56.072>
- Perales, J. F. L., Casas, J. G., Solís, L. E. C., Ávila, J. R., Flores, J. S. O., & Bravo, E. G. (2026). Diseño y análisis mecánico mediante método de elemento finito de una impresora 3D para el vaciado de concreto de bajo revenimiento mediante tornillo sinfín. *Cienciacierta*, 22(86), 113-130.
- Pérez, C. (2024). *Diseño de una silla de ruedas con tracción bilateral para la mejora de la salud de los usuarios*. <https://upcommons.upc.edu/entities/publication/827a4ee3-d031-48d0-8bed-f9523dc359d1>
- Quintero Gamboa, H. J., & Guzque Llamuca, H. L. (2026). *Sistema de control para sillas de ruedas mediante seguimiento ocular para mejorar la movilidad de personas con discapacidad motriz*. [bachelorThesis, Riobamba]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/16429>
- Sánchez Flores, R. (2025). *Diseño, fabricación y control de trenes de engranajes epicicloidales como recursos didácticos*. <https://hdl.handle.net/2117/427745>

Automated 3D-printed prototype for efficient supply distribution from warehouse to production lines

Prototipo 3D automatizado para la distribución eficiente de insumos desde bodega hacia líneas de producción

Bryan Sacán Morales, Daniel Suquillo Diaz, Diego Bustos Cervantes²[0009-0005-0967-6431], Elva Gioconda Lara Guijarro⁴[0000-0003-3025-4792]

¹Investigador independiente, Quito, Ecuador
E-mail: bryan.c.t.1996@hotmail.com

²Investigador independiente, Quito, Ecuador
E-mail: danielsuquillo1997@gmail.com

³Investigador independiente, Quito, Ecuador
E-mail: dbustos@gmail.com

⁴Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador
E-mail: elvalara@istct.edu.ec

Recibido: 12/05/2026

Aceptado: 15/06/2026

Publicado: 30/06/2026

RESUMEN

El diseño del prototipo automatizado de distribución de insumos se lo lleva a cabo con un Software CAD, con ayuda de la impresión 3D se fabrica sus componentes. La parte electrónica cuenta con un sensor TCR5000 colocado en la parte inferior se encarga de sensar la línea negra que se encuentra por debajo, esta a su vez sirve como guía para definir el recorrido y el desplazamiento que realiza, el sensor óptico colocado en la parte frontal detecta los obstáculos que se atraviesan en su camino, después de ser retirado prosigue con su recorrido a través de las cuatro etapas definidas en la línea de producción. Con estos elementos se integra el distribuidor a una línea de producción, se realiza una comparación entre una distribución manual y una automatizada considerando funcionamiento, desempeño y tiempos de distribución. Este distribuidor tiene un sistema automatizado que reduce los esfuerzos físicos que conlleva un manual, mejora el control de almacenamiento de materiales en stock de bodega y a su vez se asegura una mayor calidad del proceso, disminuyendo los errores humanos. Se puede concluir que la automatización mediante prototipos 3D optimiza el flujo interno de insumos, eliminando tiempos muertos y garantizando una distribución eficiente y precisa.

Palabras clave: Prototipo; sensores; sistema automatizado; tiempos de distribución; impresión 3D

ABSTRACT

The automated prototype design for the distribution of supplies is carried out with CAD Software, with the help of 3D printing, the printer used is an extrusion with ABS filament, the electronic parts has the TCR500 sensor placed at the bottom is responsible for sensing the black line that is below, this in turn serves as a guide to define the route and the displacement that it performs, the optical sensor placed on the front detects the obstacles that they cross his path, after being removed it continues with its journey through the four stages defined in the production line. With these elements, the distributor has been integrated into a production line a comparison between a manual and an automated distribution is made, considering operation, performance and distribution times. This distributor has an automated system that reduces the physical efforts involved in a manufactured; in addition to improving the storage control of materials in warehouse stock and at a time ensures a higher quality of the process, reducing human errors. It can be concluded that automation through 3D prototypes optimizes the internal flow of supplies, eliminating downtime and guaranteeing an efficient and precise distribution.

Index terms: prototype; sensors; automated system; distribution times; 3D printing.

1. INTRODUCCIÓN.

1.1. PROTOTIPADO RÁPIDO

Se realiza réplicas de diseños en tres dimensiones, como moldeo por inyección, extrusión o por soplado de esta manera se evita fabricar los costosos moldes para realizar un prototipo que podría cambiar su forma. Inicialmente se usa para la fabricación de modelos a partir de un diseño hecho por un software CAD, surgen con la idea de convertir archivos de 2D en ejemplares reales o 3D (Ortíz García, 2026). Son útiles para el estudio de formas, además de que se puede realizar pruebas funcionales, las áreas que aplican estas técnicas son: aeronáutica, marketing, restauraciones, medicina, arqueología, paleontología y arquitectura. El uso de este tipo de prototipado es industrial y se emplea como paso previo a realizar una producción en serie.

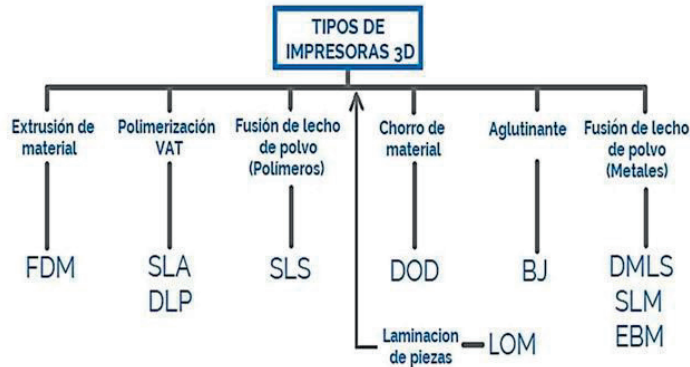
Para la fabricación de los componentes del distribuidor se empleó la tecnología de impresión 3D, con el propósito de obtener un prototipo funcional que se ajuste a las especificaciones técnicas y tolerancias geométricas del diseño.

1.1.1. Tipos de impresoras 3D

Dentro de la impresión 3D encontramos diferentes tipos de prototipado rápido como se indica en la figura 1.

Figura 1.

Tipos de impresoras 3D tomado de la página empresarial (Firstmold, 2025)



Extrusión de materiales (FDM): consiste en depositar polímero fundido sobre una base plana, capa a capa. El plástico está almacenado en una bobina de filamento como un hilo enrollado.

Estéreo litografía (SLA): donde una resina fotosensible es curada con haces de luz ultravioleta produciendo su solidificación.

Sinterización láser (SLS): consiste en fundir por fuera microgramos de polvo, lo suficiente para que se peguen entre ellos.

Tinta de gota variable (DOD): utiliza un par de chorros de tinta, uno deposita los materiales de construcción este es un material parecido a la cera y el segundo se usa para material de soporte soluble.

Inyección de aglutinante (BJ): un agente líquido se esparce selectivamente sobre el polvo uniéndose regiones del mismo, estas gotas pueden tener un diámetro en torno a las 80 micras.

Fusión selectiva por láser (SLM): el sinterizado aplica suficiente calor como para unir las piezas del polvo de aleación a nivel molecular, pero no las llega a fundir.

Fabricación mediante laminado de objetos (LOM): láminas de papel recubiertas de adhesivo, plástico o metal se funden mediante altas temperaturas y presiones, seguidamente se cortan con una cuchilla controlada por un ordenador, después se lleva a cabo el proceso de mecanizado (Área tecnología, 2025).

1.1.2. PROTOTIPADO POR IMPRESIÓN 3D

Esta tecnología tiene aplicaciones muy innovadoras y creativas en campos tan diversos como: la exploración espacial para que los astronautas fabriquen las piezas que necesiten para realizar un mantenimiento, la educación por ejemplo en biología los institutos o facultades de medicina imprimen réplicas de partes del cuerpo humano que ayudan en su estudio, creando prótesis mediante aditivos metálicos como el titanio en polvo en lugar de polímeros, en el arte creando réplicas de esculturas para su análisis. Incluso en ropa y calzado que a partir de sus diseños se materializa con la ayuda de un dispositivo para imprimir hilo y lana (Domínguez et al., 2013).

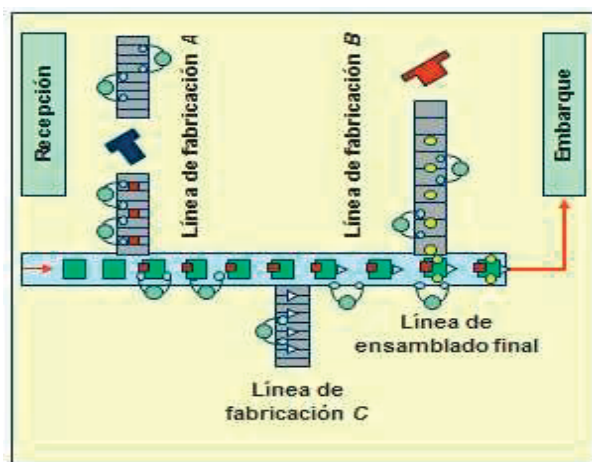
Se fabrican los laterales, frontales y tapa superior, con una impresora EPSILON W27 de extrusión que usa filamento ABS.

1.2. LÍNEA DE PRODUCCIÓN

La figura 2 presenta el flujo de los materiales que va desde el proveedor hasta los clientes, esto implica el movimiento de los insumos que son distribuidos hasta el almacén o bodega, para luego repartirlos al interior de la empresa y finalmente los productos terminados van hacia el cliente (Arenas Rodríguez, 2025).

Figura 2.

Distribución de insumos



La productividad de las operaciones de transporte interno es raramente alcanzada en forma efectiva por los controles internos. Debido a esto la organización de transporte interno representa no solo una de las áreas más promisorias en la reducción de costos, sino que posee un elevado potencial para la mejora del flujo general de los productos dentro de la fábrica, evitando acumulaciones y congestión de materiales, falta de abastecimiento y demás condiciones que contribuyen a dificultar no solamente la programación sino la misma producción. El rendimiento industrial de máquinas e instalaciones aumenta generalmente en razón directa con el aumento de la eficiencia de las operaciones de transporte interno, porque así se reducen las horas pasivas y un flujo continuo de materiales significa una mejora global del ritmo de trabajo (Suquillo & Sacan, 2020).

1.2.1. TIPOS DE TRANSPORTE DE LOS INSUMOS

Transporte en secuencia de circulación: desde la descarga de la materia prima y componentes en el almacén de entrada hasta el embalaje y expedición, pasando por todas las fases del proceso de manufactura.

Transporte secundario: el material para el abastecimiento de la producción se distribuye por transportadores continuos de circuito cerrado, hasta los puntos de consumo. Si el operador no retira la pieza, ella volverá a su misma área de trabajo después de completar el ciclo, este sistema economiza espacio y el stock de los insumos.

Transportes operacionales: estos se relacionan al traslado de material, conjugando los componentes con los movimientos manuales del operador como: ajustar, soldar, perforar.

Los principios de planeamiento, planeación y costos sirven tanto de referencia básica para reexaminar la práctica adoptada en el transporte interno de una fábrica, así como guía para la aplicación de un nuevo sistema (Vivas Moreno & Roa Rodríguez, 2024).

1.3. DISTRIBUIDORES AUTOMATIZADOS APLICABLES A LOS SISTEMAS INTEGRADOS DE MANUFACTURA

Vehículos de horquillas

Se utilizan por su alta funcionalidad y aplicación en diferentes sistemas que requieran carga, descarga y transporte de materiales, tienen diferentes diseños y funciones, teniendo como elemento principal las horquillas. Estas pueden ser horquillas fijas, múltiples o de apertura automática y están diseñadas de manera distinta para soportar diferentes cantidades de peso hasta dos toneladas y alcanzar alturas hasta 9 m (Fuente-Ballesteros et al., 2024).

Se emplean principalmente para el transporte de pallets, su plataforma cuenta con transportadores como cadenas, rodillos o cintas. Es un vehículo que se integra muy bien a los sistemas de transporte de materiales como bandas transportadoras. En la tabla 1 se presenta las características de este vehículo automatizado.

Tabla 1.

Características de los vehículos para cargas livianas

DISTRIBUIDORES PARA CARGAS LIVIANAS	
Dimensiones	1060 × 600 mm
Capacidad de carga	500Kg.
Velocidad	0,67 m/s

Nota. Tomada de SYSTEMS empresa productora de AGV's

Vehículos para cargas pesadas

Se utilizan para el transporte de carga pesada con capacidad mayor a 15 toneladas, su estructura puede ser superior a los 8 x 2 m y solo transporta cargas a ras de suelo. La carga y descarga de material se realiza con otro sistema debido a los grandes pesos y a comparación de los vehículos más pequeños este solo puede alcanzar velocidades de 0.45 m/s (Storr, 2013; Vidal Julio, 2026).

Tabla 2.

Características de los vehículos para cargas pesadas

DISTRIBUIDORES PARA CARGAS PESADAS	
Dimensiones	8200 x 2300 mm
Capacidad de carga	15000 Kg
Velocidad	0,45 m/s

Nota. Tomada de SYSTEMS empresa productora de AGV`s

Los distribuidores automatizados mostrados anteriormente son los más utilizados en la industria, dependiendo de las necesidades de la empresa. Los aspectos importantes para implementar y determinar cuál es la mejor elección dependen de algunas variables como: las tareas que debe realizar el distribuidor, zonas de carga y descarga de materiales, las estaciones del sistema. Los más usados son de sistema óptico por reconocimiento debido a que estos sistemas utilizan marcas en el entorno que sirven de guía a los vehículos para desplazarse por la ruta trazada.

En base a estos elementos analizados, se propone la fabricación de un prototipo distribuidor de componentes automatizado, permitiendo fusionar la impresión 3D con el diseño de estos vehículos, empleando el transporte secundario para mover los insumos de bodega hacia la línea de producción, mismos que contienen cargas menores o iguales a 0,5 kg y se desplaza a una velocidad de 0,2 m/s.

2. MATERIALES Y MÉTODOS / DESARROLLO

En la tabla 3 se resumen los materiales que se van a utilizar en el desarrollo del proyecto.

Tabla 3.

Materiales para la construcción del distribuidor

Ítem	Cantidad	Materiales Requeridos
1	1	Arduino Uno R3 ATMEGA
2	1	Driver L298N
3	2	Sensores TCRT5000
4	1	Sensor infrarrojo
5	1	Protoboard
6	4	Motores reductores de 6 a 9 Voltios DC
7	1	Rollo ABS
8	1	Impresora 3D BCN. EPSILON W27

El Arduino es una plataforma de hardware libre que dispone de una placa, compuesta por un

microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios, además permite desarrollar elementos autónomos, conectándose a dispositivos e interactuando tanto con el hardware como con el software que controlan estos elementos.

Para la selección se considera el transporte de los insumos hacia la línea de producción, la velocidad se reduce de manera segura dependiendo del peso que se encuentre cargando el distribuidor, esto permite una regulación perfecta tanto en la velocidad como en la potencia transmitida, lo cual facilita una mayor eficiencia en la transmisión de la potencia suministrada por el motor. El torque máximo de estos motores es de 1kg/cm.

El sensor óptico TCRT5000 consta de un emisor de luz infrarroja y un fototransistor, este elemento detecta la luz que es reflejada cuando un objeto pasa enfrente de él, es ideal para robots seguidores de línea y detección de presencia. Este sensor ayuda a que el distribuidor de materiales se desplace por la trayectoria trazada y se encuentra ubicado debajo del chasis.

La impresora que se usa para fabricar los componentes del distribuidor es una Epsilon W27 que utiliza material de filamento ABS, está equipada con un sistema de doble extrusión que permite realizar piezas funcionales, resistentes con calidad y precisión.

Tabla 4.

Propiedades de la impresora 3D BCN Epsilon W27

PROPIEDADES DEL EQUIPO DE IMPRESIÓN	
Tecnología de la impresión 3D	Fabricación de elementos fundidos
Tipo de extrusora	Doble independiente
Volumen de impresión	420 mm x 300 mm x 200 mm
Número de extrusoras	2
Dimensiones totales	690 mm x 530 mm x 750 mm
Peso	33 kg
Temperatura de funcionamiento	15 a 30 grados
Consumo máximo de energía	840 W
Temperatura máxima de extrusión	300 grados

Nota. Tomada de ROBHERMAQ SCC empresa importadora de impresoras 3D.

El filamento ABS en la industria de la inyección de plástico es principalmente consumido, debido a que el material tiene buena rigidez, alta resistencia al impacto y ligereza, al tiempo que es muy asequible. Ha sido también un material popular durante los últimos años en el mercado de la impresión por deposición fundida, es uno de los primeros filamentos utilizados en la industria junto con el PLA, ambos materiales son más fáciles de imprimir que otros termoplásticos técnicos y de bajo costo, este material se encuentra enrollado en forma de bobina (Malet, 2018).

2.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

El método a emplear para la fabricación del prototipo distribuidor es una investigación experimental debido a que se toman variables para la entrega de los insumos de bodega hacia la línea de producción como: tipo de materiales a transportar, dimensiones del prototipo, peso y volumen, material del cual está fabricado, tiempos empleados para la distribución de los insumos, así como una comparación entre una entrega manual y una automatizada.

2.2. TIPOS DE MATERIALES A TRANSPORTAR

El prototipo es utilizado para cargas pequeñas menores o iguales a 0.5 kg, este vehículo transportador resulta práctico para el suministro de piezas a las líneas de montaje, circula y se desplaza a lo largo de una línea negra que esta al ras del piso para que los sensores puedan leer de mejor manera la ruta establecida que va a recorrer y también pueda detenerse al encontrarse con un obstáculo que este obstruyendo el paso, se puede instalar de forma rápida y sencilla, además se adapta a los cambios de recorrido o layout de forma flexible.

Para la distribución de los materiales de bodega hacia las áreas que componen la línea de producción, son cuatro etapas de las que está compuesta:

Primera etapa: descargue de la materia prima

En la figura 3 se presenta como los elementos son trasladados a una bodega para proceder a ordenarlos de acuerdo al código y tipo de material para abastecer al stock de la empresa.

Figura 3.

Recepción de materiales



Segunda etapa: transporte de la materia prima a la línea de producción

Se procede a enviar la materia prima requerida al inicio de la línea de producción mediante un distribuidor como se observa en la figura 4, el cual facilita el transporte de los elementos a cada una de las áreas.

Figura 4.

Distribución de materiales.



En esta etapa se define el recorrido que va a realizar el distribuidor para que llegue hacia cada área con los respectivos materiales, que son transformados en algunos procesos de manufactura.

Tercera etapa: manufactura de la materia prima

La materia prima es transformada mediante una serie de procesos de manufactura a su forma final, siguiendo una norma establecida la cual garantiza la calidad del producto terminado.

Cuarta etapa: empaquetado del producto

La figura 5 muestra el empaquetado y transporte del producto terminado hacia la bodega para su almacenamiento y pronta distribución.

Figura 5.

Distribución de materiales



2.3. DIMENSIONES DEL PROTOTIPO

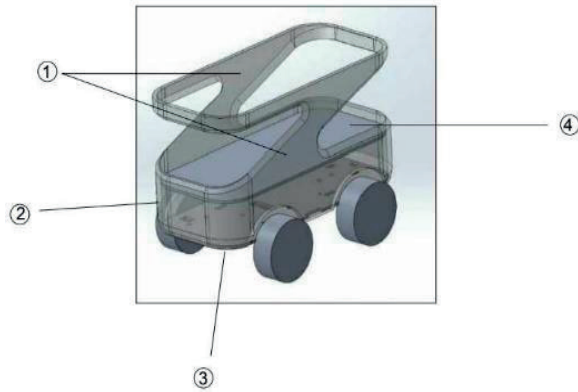
En la tabla 5 se identifican las medidas correspondientes a los componentes del distribuidor, escalando a cuatro veces menos que las del vehículo automatizado.

Tabla 5. Dimensiones del prototipo

Dimensiones de los componentes del distribuidor automatizado	
1. Lateral	265 x 150 x 4 mm
2. Frontal	125 x 150 x 4 mm
3. Chasis	252 x 110 x 2 mm
4. Tapa superior	252 x 110 x 2 mm

Figura 6.

Modelado 3D del prototipo



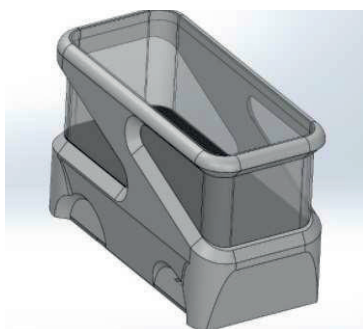
2.4. FABRICACIÓN Y FUNCIONAMIENTO

2.4.1. Diseño mecánico

El prototipo está diseñado en AutoDesk Inventor, compuesto de 6 piezas que conforman el mismo como se presenta en la figura 16, posteriormente son fabricadas en una impresora 3D. Para el diseño se considera la ubicación de los componentes electrónicos, debido a que estos son ensamblados en la base y cubiertos por la tapa que se encuentra a una altura de 50 mm, además se tiene en consideración el diámetro de las llantas para que no exista rozamiento con el chasis o los laterales y pueda circular libremente. En la figura 17 se observa el modelo terminado para proceder a su impresión.

Figura 7.

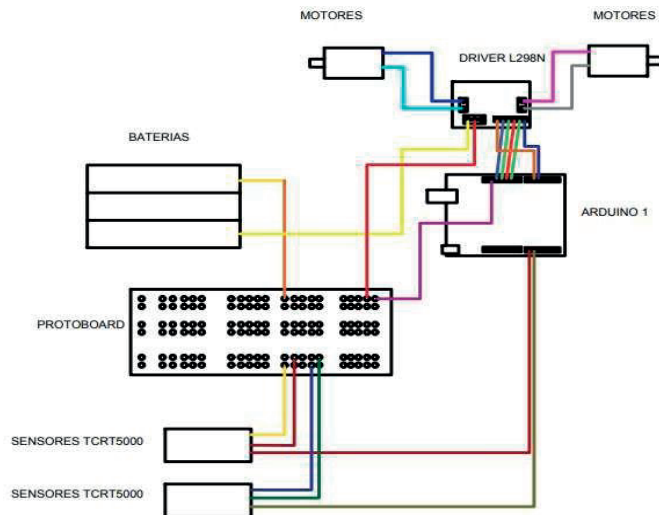
Conjunto mecánico



2.4.2. Diseño electrónico

Figura 8.

Esquema electrónico Fuente: Propia



La parte electrónica está diseñada en un software libre que pertenece a la plataforma de Arduino, en el mismo se selecciona los elementos necesarios para la construcción del circuito que se implementan en el prototipo distribuidor como se identifica en la figura 18. Esta plataforma permite simular el circuito antes de ser armado y corregir las fallas que puedan ocasionar daños a los elementos. Los sensores se encuentran situados en la parte baja, están conectados a los pines 8, 9 y 10 del Arduino que abastecen de 5v a cada uno de ellos. El driver L298N se encarga de controlar la velocidad de los 4 motores que a su vez están conectados a los pines 2, 3, 4, 5, 6 y 7 del Arduino, para recibir la energía necesaria. El funcionamiento de todos los elementos se realiza con la suministración de energía de un par de baterías recargables, la porta baterías se encuentra unido a un pulsador que permite encender y apagar el prototipo.

Para el principio de funcionamiento se pinta una línea en el piso que contraste con el color del mismo, por donde va a circular el distribuidor, aunque parece simple la idea en el momento de aplicarla hay que considerar varios aspectos, el contraste del piso con la línea negra debe asegurar que el sensor se active y se desactive sobre el piso, lo cual no siempre es posible por la variación en el tono que tenga el piso de la instalación.

2.5. MEJORA DE LA DISTRIBUCIÓN DE INSUMOS

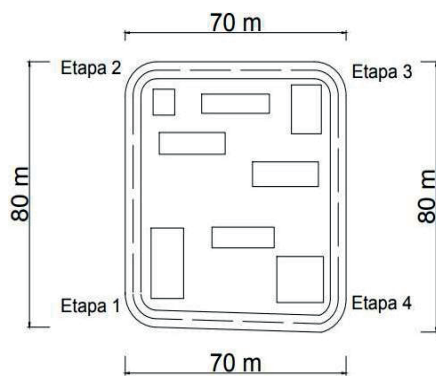
El transporte automatizado mejoró en un 24,02% ante el transporte manual de los insumos existentes en la bodega hacia la línea de producción, el prototipo es ajustado para que cumpla con el mismo recorrido manual, tomando el tiempo que se demora en desplazarse entre cada área de trabajo y considerando las distancias reales que tienen entre las mismas.

3. RESULTADOS

Se realizaron pruebas de distribución manual y automática, en la figura 19 se muestran las distancias de 80 m entre las etapas de 1 a 2 y de 3 a 4, además de la distancia de 70 m que existe de 1 a 4 y de 2 a 3, se cronometra el tiempo que se demora en desplazarse a pie con una carretilla que carga un peso de 100 kg como se indica en la figura 20, la velocidad en esta distribución es variable debido a que la resistencia física del trabajador va disminuyendo conforme pasa el tiempo.

Figura 9.

Layout de la línea de producción



Los resultados del recorrido manual son registrados en la tabla 6, para calcular la velocidad se utiliza la fórmula que indica en (1).

$$v = \frac{d}{t} \quad (1)$$

Donde:

v = velocidad. [m/s]

d = distancia. [m]

t = tiempo. [s]

Tabla 6. Distribución manual

TABLA DE RESULTADOS		
ETAPAS	DISTANCIA (m)	Distribución manual Tiempo (seg)
1 a 2	80	135
2 a 3	70	120
3 a 4	80	175
4 a 1	70	157
TIEMPO TOTAL		587

- Etapa 1 a 2; $V = 0,58$ m/s
- Etapa 2 a 3; $V = 0,59$ m/s
- Etapa 3 a 4; $V = 0,45$ m/s
- Etapa 4 a 1; $V = 0,44$ m/s

Para los tiempos de distribución automatizada se proyecta con un distribuidor de similares características al de esta investigación en escala real, se toma como referencia el modelo de la figura 5 de la empresa SYSTEMS productora de AGV's, este distribuidor alcanza una velocidad constante de 0,67 m/s. Se despeja el tiempo empleando la fórmula que se muestra en (1) y se registran estos datos en la tabla 7.

Tabla 6.

Distribución automática

TABLA DE RESULTADOS		
ETAPAS	DISTANCIA (m)	Distribución automática
		Tiempo (seg)
1 a 2	80	119
2 a 3	70	104
3 a 4	80	119
4 a 1	70	104
TIEMPO TOTAL		446

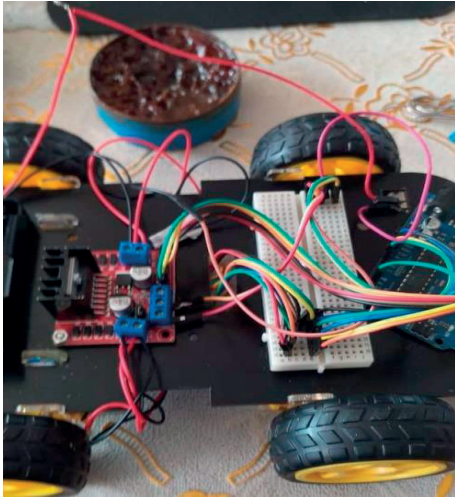
- Etapa 1 a 2; $t = 119$ s
- Etapa 2 a 3; $t = 104$ s
- Etapa 3 a 4; $t = 119$ s
- Etapa 4 a 1; $t = 104$ s

Se puede evidenciar la ventaja que tiene una distribución automatizada frente a una manual con una eficiencia mayor de 24.02% debido a que este cuenta con un sistema de guiado automatizado, que no requieren la intervención de una persona para su conducción y que están diseñados específicamente para mover cargas por rutas predefinidas, cuenta con un volumen reducido y se desenvuelve con seguridad a través de pasillos mucho más estrechos.

La duración del vehículo transportador es de 8 horas continuas y el tiempo de carga son 4 horas, mejorando los tiempos de producción debido a que en el trabajo diario de 8 horas seguirá funcionando sin ningún problema, se lo recarga al momento de terminar la jornada laboral y se encuentre listo para el siguiente día de trabajo. Se mantiene el orden en la bodega gracias a la entrega pronta e inmediata de los materiales existentes dentro de la misma, hacia las distintas áreas.

Figura 10.

Conexión de todos los elementos electrónicos sobre el chasis del distribuidor.



Prototipo de prueba diseñado en madera para verificar que los elementos electrónicos y motores funcionen correctamente.

Figura 11.

Prototipo de prueba.



4. DISCUSIÓN

Los vehículos automatizados son una nueva tecnología para la industria 4.0, debido a que reducen al máximo la posibilidad de sufrir errores que suelen acarrear un alto coste económico. Al momento de diseñar el prototipo distribuidor se considera características claves que debe cumplir de acuerdo al entorno donde se desempeña, el material a transportar de forma automatizada y sin dependencia humana. Estos distribuidores automatizados son una solución que ofrecen una forma de llevar materia prima de un sitio a otro, debido a que los sistemas de manufactura son organizados en estaciones de trabajo logrando adición a la flexibilidad y

adaptabilidad que manejan gracias a la poca infraestructura que necesitan, este método de distribución es empleado en empresas de países industrializados.

5. CONCLUSIONES

- Con la operación del distribuidor se redujo el tiempo de entrega en un 24,02% y aumento el nivel de orden de los materiales a distribuir en cada uno de los puestos y se evitó la pérdida o fuga de materiales en la línea de producción.
- A través de la tecnología de fabricación digital e impresión 3D se construyen elementos de rápido acceso, mejorando de esta manera la producción individual de partes y piezas para proyectos de desarrollo industrial.
- Crear una matriz que a futuro permita replicar este proyecto a gran escala reduciendo los tiempos de fabricación y diseño de los componentes del prototipo automatizado.
- Estos distribuidores son la solución para el transporte de materia prima, mercancía, objetos, entre otros, en una línea de producción como respuesta a la necesidad de mejorar tiempos, flujos de producción evitando paros innecesarios y mejorando el orden en las bodegas.
- Se recomienda adaptar el diseño geométrico a diferentes prototipos para que puedan transportar materiales no solo sólidos, sino también sustancias líquidas, granuladas o en polvo a fin de aumentar la productividad en la empresa.
- Implementar la señalética y sistemas de advertencia para la seguridad industrial, en los espacios designados de cada línea específica de transportador para evitar accidentes ocasionados por la falta de estos.
- Utilizar el sistema de distribución planteado para escalar las dimensiones y potencias hacia una línea industrial que permita el aprovechamiento y distribución de los recursos a fin de aumentar la productividad de la empresa.
- Optimizar el diseño 3D mediante geometrías que permitan la funcionalidad física, ahorrando recursos y tiempos de fabricación mediante la impresión 3D para generar mayor eficiencia en la construcción del prototipo.

6. REFERENCIAS

- Area tecnología. (2025). *Página No Encontrada* www.areatecnologia.com [Empresarial].
Empresarial. <https://www.areatecnologia.com/no-encontrada.html>
- Arenas Rodríguez, Y. (2025). *Diseño de una propuesta de mejora mediante la estandarización de tiempo y movimientos en los procesos de almacenamiento, alistamiento y despacho de la línea de equipos de Insumma BG*. <http://hdl.handle.net/10823/7962>
- Domínguez, I. A., Romero, L., Espinosa, M. M., & Domínguez, M. (2013). Impresión 3D de

- maquetas y prototipos en arquitectura y construcción. *Revista de la construcción*, 12(2), 39-53. <https://doi.org/10.4067/S0718-915X2013000200004>
- Firstmold. (2025). *Tipos de impresión 3D y tipos de impresoras 3D* [Empresarial]. Empresarial. <https://firstmold.com/es/tips/types-of-3d-printing-and-3d-printer-types/>
- Fuente-Ballesteros, A., Bernal, J., Ares, A. M., & Valverde, S. (2024). Development and validation of a green analytical method for simultaneously determining plasticizers residues in honeys from different botanical origins. *Food Chemistry*, 455, 139888. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.139888>
- Malet, R. (2018). *Nueva generación de materiales plásticos basados en ABS de altas prestaciones técnicas o más sostenibles con el medio ambiente—Dipòsit Digital de Documents de la UAB*. <https://ddd.uab.cat/record/202140>
- Ortíz García, L. T. (2026). *Diseño de un modelo digital de robot móvil para el suministro, distribución y entrega de materia prima*. <https://red.uao.edu.co/entities/publication/470d0931-0df2-410a-a826-73f160e96d35>
- Storr, W. (2013, agosto 25). Wien Bridge Oscillator Tutorial and Theory. *Basic Electronics Tutorials*. https://www.electronics-tutorials.ws/oscillator/wien_bridge.html
- Suquillo, D., & Sacan, B. (2020). *Diseño y fabricación de un prototipo distribuidor de componentes automatizado mediante el uso de una impresora 3D para transportar insumos de bodega hacia una línea de producción*. [Proyecto]. ISUCT. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.istct.edu.ec/gia_nuevo/titulacion/1726706052/1726706052_informeTutor.pdf
- Vidal Julio, E. M. (2026). *Transición energética en vehículos de carga pesada: Un estudio comparativo de adaptabilidad y eficiencia*. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/9941>
- Vivas Moreno, L. V., & Roa Rodríguez, J. I. (2024). *Gestión y control del transporte de la empresa comercializadora de productos refrigerados y secos ATLANTIC FS*. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/64756>

Development and Implementation of an Automatic Medication Dispensing System Based on Precision Suction Cups and XY Coordinate Control

Desarrollo e implementación de un sistema de dispensación automática de medicamentos basado en ventosas de precisión y control de coordenadas XY

Lenin Ramiro Merino Villegas¹[0000-0002-0315-246X], Víctor Gonzalo Taco Chalá²[0000-0002-4249-2643], Edwin Patricio Tituaña Calo³, Jhoel Bladimir Chiluisa Chicaiza⁴

¹ Instituto Superior Universitario Sucre, Quito, Ecuador
E-mail: imerino@tecnologicosucre.edu.ec

² Instituto Superior Universitario Sucre, Quito, Ecuador
E-mail: vtaco@tecnologicosucre.edu.ec

³ Instituto Superior Universitario Sucre, Quito, Ecuador
E-mail: tituana.edwin.patricio@gmail.com

⁴ Instituto Superior Universitario Sucre, Quito, Ecuador
E-mail: j.b.chiluisa.chicaiza@gmail.com

Recibido: 06/05/2026

Aceptado: 12/06/2026

Publicado: 30/06/2026

RESUMEN

La presente investigación detalla el diseño, desarrollo y fabricación de una máquina dispensadora de medicamentos que integra un sistema automatizado de movimiento en los ejes X, Y, controlado por motores DC, una bomba de succión, y sistemas embebidos para la gestión del usuario y la operación de la máquina. El sistema cuenta con una interfaz visual en una pantalla de 19 pulgadas y un sistema de ingreso de saldo mediante monedero electrónico, todo controlado por una Orange Pi 3 LTS y una tarjeta ESP8266. Se desarrolló una lógica de navegación jerárquica por niveles para la selección del medicamento mediante botones físicos, y se implementó una estructura de datos parametrizable en software para asociar cada producto con su nombre, precio y código de control enviado al microcontrolador ESP8266. La validación funcional permitió comprobar la interacción entre la interfaz gráfica, el sistema de saldo, la comunicación serial y el accionamiento electromecánico del mecanismo de dispensación. Los resultados evidencian que el prototipo cumple con las funciones esenciales de selección, validación de saldo y entrega automatizada, constituyéndose en una base técnica modular para futuras mejoras del sistema.

Palabras clave: *Dispensación automática, Actuadores electromecánicos, Sistemas embebidos, Orange Pi 3 LTS, Coordenadas XY.*

ABSTRACT

This research presents the design, development, and manufacturing of a medication dispensing machine that integrates an automated motion system along the X, Y, controlled by DC motors, a suction pump, and embedded systems for user management and machine operation. The system features a 19-inch LCD visual interface and a balance input system via an electronic coin acceptor, all managed by an Orange Pi 3 LTS and an ESP8266 board. A hierarchical multi-level navigation logic was developed for medication selection through physical buttons, and a software-parameterized data structure was implemented to associate each product with its name, price, and control code sent to the ESP8266 microcontroller. The functional validation confirmed the interaction among the graphical interface, the balance management system, the serial communication, and the electromechanical actuation of the dispensing mechanism. The results show that the prototype performs the essential functions of product selection, balance validation, and automated delivery, establishing itself as a modular technical basis for future system improvements.

Index terms: Automatic dispensing, Electromechanical actuators, Embedded systems, Orange Pi 3 LTS, XY coordinates.

1. INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de la dispensación de fármacos en entornos de alta demanda exige soluciones que minimicen el error humano y aceleren la atención, así como la disponibilidad en situaciones de emergencia y fuera de los horarios habituales de operación de farmacias. En este escenario, la automatización de este proceso emerge como una alternativa tecnológica clave para optimizar la logística farmacéutica y resguardar la seguridad del paciente (Zafra Fernández et al., 2012). Si bien la literatura reciente sobre gabinetes automatizados destaca mejoras sustanciales en los flujos de trabajo y el control de inventarios, autores como Tu et al. (2023) y Al Mutair et al. (2025) advierten que estos beneficios no son automáticos: la efectividad real depende críticamente de la capacitación del personal, el contexto local y una integración armónica con los procesos preexistentes.

Desde la perspectiva de la ingeniería, estos dispositivos materializan la convergencia entre la mecatrónica, los sistemas embebidos y el diseño de interfaces aplicadas a la salud. Al combinar hardware mecánico, electrónica y control computarizado, la mecatrónica médica permite desarrollar sistemas precisos y adaptables (Martins et al., 2025). No obstante, el verdadero desafío actual radica en la accesibilidad. Diseñar equipos modulares y de bajo costo se vuelve una prioridad en entornos que necesitan soluciones escalables y fáciles de mantener, sin quedar atados a las restricciones financieras de las licencias comerciales.

La viabilidad de estos dispensadores va más allá del simple acto mecánico de liberar un producto.

De hecho, factores como la claridad de la interfaz, los protocolos de seguridad, la ergonomía de recarga y la fiabilidad del mecanismo determinan si el usuario adoptará o rechazará la tecnología (Gargioni et al., 2024). Por lo tanto, cuando se proyectan prototipos para puntos de autoservicio, la interacción debe ser intuitiva y transparente, apoyándose en recursos visuales y físicos directos, como pantallas, botoneras e indicadores de saldo en tiempo real. El diseño mecánico del sistema de manipulación exige un cuidado especial. Para productos ligeros o empaquetados en blísteres, las ventosas de vacío representan una solución superior a las pinzas convencionales, las cuales suelen dañar las superficies delicadas o fallar ante geometrías complejas. Como señala Schmalz, Inc. (2009), la manipulación de blísteres es delicada debido a las láminas de sellado delgadas y las cavidades hundidas que comprometen el vacío. Para resolver el traslado de estos paquetes, las configuraciones cartesianas (XY o XYZ) siguen siendo la norma industrial gracias a su alta repetibilidad y control preciso en áreas de trabajo delimitadas (Omron Automation, s. f.).

Partiendo de estas premisas, esta investigación aborda el diseño, construcción e implementación de un prototipo de máquina dispensadora automatizada de medicamentos. El núcleo del sistema emplea un mecanismo de coordenadas XY, sujeción por vacío y un esquema de control distribuido que divide tareas entre una Orange Pi 3 LTS y un microcontrolador ESP8266. A nivel de usuario, el dispositivo integra una pantalla LCD de 19 pulgadas, botones físicos, un monedero electrónico y tarifas configurables por software, comunicados mediante un protocolo serial. Cabe enfatizar que, a diferencia de los complejos sistemas hospitalarios vinculados a historias clínicas, este proyecto valida estrictamente la viabilidad funcional y de bajo costo de una arquitectura orientada a la selección, pago directo y entrega de productos.

El valor de este trabajo reside en su enfoque integrador, logrando articular hardware, software e interfaz física en una plataforma modular única. Los datos experimentales recopilados sobre la cinemática de los ejes, el procesamiento del monedero y la estabilidad de la comunicación entre tarjetas no solo validan el prototipo, sino que sientan las bases técnicas para futuras iteraciones, tales como la automatización del eje Z, la incorporación de sensores de confirmación de caída y la validación del sistema en un entorno operativo real.

2. MATERIALES Y MÉTODOS / DESARROLLO

La máquina dispensadora de medicamentos ha sido diseñada bajo un enfoque modular, integrando componentes mecánicos, electrónicos y un software que trabajan de manera coordinada para garantizar un funcionamiento eficiente y preciso. Su arquitectura general se divide en tres subsistemas principales: el sistema de control y visualización, el sistema de movimiento XYZ, y el sistema de interacción con el usuario y dispensación. Cada uno de estos subsistemas cumple funciones específicas y se interconecta a través de interfaces físicas y lógicas bien definidas.

Sistema de control y visualización:

Este subsistema está compuesto por una tarjeta Orange Pi 3 LTS, que actúa como el cerebro del sistema, gestionando la interfaz gráfica de usuario, el control de saldo y la navegación entre

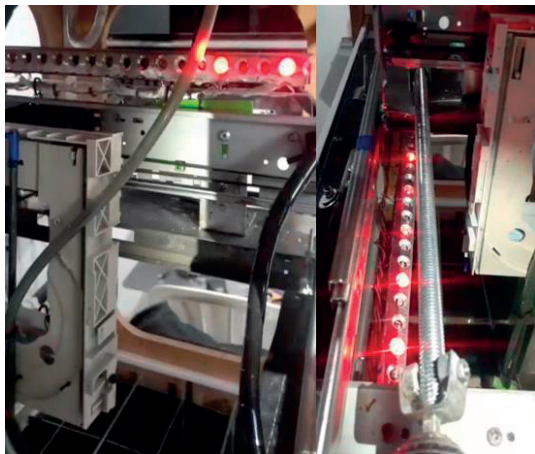
opciones de medicamentos. La Orange Pi está conectada a una pantalla de 19 pulgadas, en la cual se muestra la información esencial para el usuario, como las opciones de selección y el saldo disponible. Este sistema también se encarga de recibir las señales del monedero electrónico, procesarlas y actualizar el saldo visualizado.

Sistema de movimiento XYZ:

El diseño actual incorpora control electrónico solo para los ejes X e Y. El eje Z, en cambio, no dispone de control automatizado y su recorrido se ajusta mediante una calibración previa que determina el punto final del movimiento según la longitud del eje. Para ello, se utilizan dos motores de corriente directa de 12 y 5 voltios para el desplazamiento en los ejes X e Y, y para el eje Z (movimiento vertical) respectivamente. Estos motores son alimentados con una fuente de poder de computadora tipo ATX, la cual proporciona los voltajes necesarios con suficiente estabilidad y potencia. El control del movimiento está a cargo de una tarjeta ESP8266, que recibe comandos seriales enviados desde la Orange Pi y activa los motores según las coordenadas predefinidas para cada medicamento. Están acoplados a mecanismos de transmisión mecánica, como guías lineales y correas dentadas, que permiten un movimiento controlado a lo largo del área de almacenamiento de los medicamentos.

Figura 1.

Sistema de movimiento XY



Sistema de interacción y dispensación:

Este subsistema incluye los elementos que permiten al usuario interactuar con la máquina y recibir el medicamento. Se compone de seis botones físicos, distribuidos verticalmente a los lados de la pantalla, que permiten seleccionar un tipo de medicamento. Cada botón está conectado a pines GPIO específicos de la Orange Pi, permitiendo su detección inmediata al ser presionado. Además, se incorpora un monedero electrónico que reconoce hasta seis denominaciones diferentes de monedas, generando pulsos que son interpretados por la Orange

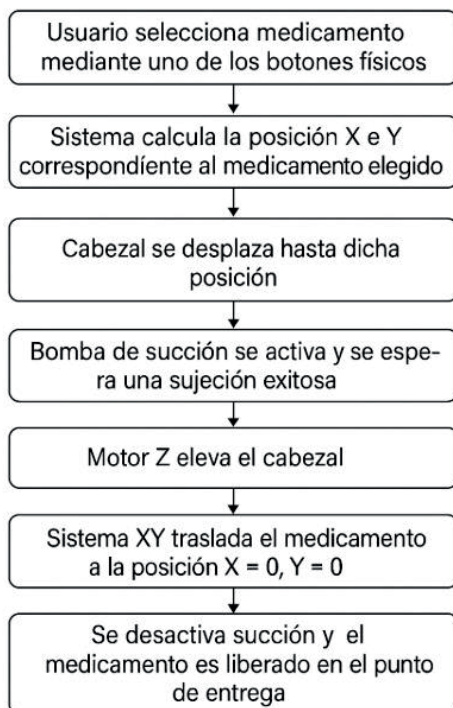
Pi para calcular el saldo del usuario. Finalmente, el cabezal de dispensación cuenta con una bomba de succión conectada a una manguera neumática, que acciona una ventosa para recoger el medicamento seleccionado y trasladarlo a la posición de entrega (coordenadas $X = 0, Y = 0$). Tras llegar a la ubicación destino, se desactiva la bomba, liberando el medicamento de forma controlada para que caiga suavemente en la bandeja de salida o compartimento de recolección. Esta arquitectura modular permite un desarrollo flexible, donde cada componente puede ser ajustado o reemplazado sin afectar significativamente al resto del sistema, facilitando su mantenimiento, mejora o ampliación futura.

El sistema de movimiento de la máquina dispensadora permite desplazar el cabezal de succión en tres dimensiones (X, Y y Z). Los ejes X e Y están controlados electrónicamente para posicionar con precisión el cabezal sobre el medicamento seleccionado, mientras que el eje Z opera mediante una calibración fija basada en su recorrido mecánico, permitiendo descender hasta el punto requerido para la extracción y posterior entrega del producto.

Secuencia de funcionamiento:

Figura 2.

Secuencia de funcionamiento del sistema de dispensación automática de medicamentos.



El proceso de dispensación sigue una secuencia lógica y sincronizada:

1. El usuario selecciona el medicamento mediante uno de los botones físicos.
2. El sistema calcula la posición X e Y correspondiente al medicamento elegido.

3. El cabezal se desplaza hasta esa posición.
4. Se activa el motor Z para bajar el cabezal hasta el nivel del medicamento.
5. Se activa la bomba de succión y se espera la sujeción exitosa.
6. El motor Z eleva el cabezal.
7. El sistema XY traslada el medicamento a la posición $X = 0, Y = 0$.
8. Se desactiva la succión y el medicamento es liberado en el punto de entrega.

La interacción entre el usuario y el sistema se realiza principalmente a través de una pantalla de 19 pulgadas y seis botones físicos distribuidos a los lados de la pantalla.

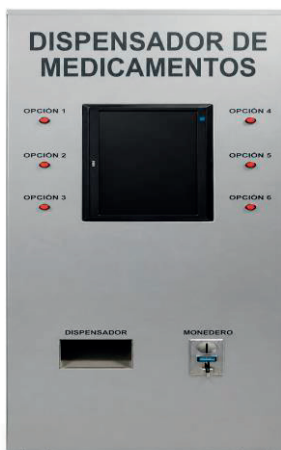
Al encender la máquina, la pantalla arranca directamente con el menú de opciones de malestares, donde, en la parte inferior se encuentra un indicador de saldo, que se actualiza automáticamente conforme se insertan monedas en el monedero electrónico. Cada moneda insertada genera pulsos eléctricos que son leídos desde el pin GPIO correspondiente, y cada pulso representa un incremento según el valor configurado por pulso del monedero en el saldo del usuario. El valor actual del saldo se visualiza en tiempo real en la pantalla mostrando el mensaje "SALDO: \$x.xx", lo cual incentiva la interacción y mejora la legibilidad del estado de la máquina.

La máquina cuenta con seis botones físicos conectados a los pines GPIO mediante la librería gpiod (utilizada para Orange Pi). Están organizados verticalmente, tres a cada lado de la pantalla:

- Lado izquierdo (de arriba hacia abajo):
 - Botón 1 (GPIO Line 114): Medicamento 1 / Opción 1
 - Botón 2 (GPIO Line 111): Medicamento 2 / Opción 2
 - Botón 3 (GPIO Line 112): Medicamento 3 / Opción 3
- Lado derecho (de arriba hacia abajo):
 - Botón 4 (GPIO Line 117): Medicamento 4 / Opción 4
 - Botón 5 (GPIO Line 120): Medicamento 5 / Opción 5
 - Botón 6 (GPIO Line 119): Instrucciones

Figura 3

Vista frontal del prototipo de máquina dispensadora con pantalla integrada y panel de selección



Los botones son gestionados mediante detección de flancos descendentes (cambio de estado de ALTO a BAJO), lo cual garantiza una lectura eficiente y evita múltiples activaciones involuntarias. Al presionar un botón, el sistema evalúa el saldo disponible y, si es suficiente, se descuenta el valor del medicamento seleccionado, se muestra un mensaje de confirmación (“Dispensando...”), y se envía el código correspondiente al microcontrolador ESP8266 por comunicación serial.

Cada producto tiene asignado un nombre, precio y código único. Estos parámetros están definidos dentro del código fuente como un diccionario de datos, lo que permite modificar fácilmente el precio de los productos sin necesidad de reprogramar toda la aplicación. Al presionar el botón 6, la pantalla muestra un mensaje temporal de instrucciones con duración de 5 segundos, el cual guía al usuario en el uso correcto de la máquina: “Instrucciones: Ingrese el dinero necesario y elija su producto.” Este mensaje se puede cerrar manualmente volviendo a presionar el botón de instrucciones.

Cada uno de estos pulsos generados por el monedero, es detectado por la tarjeta Orange Pi a través del pin configurado como entrada digital (PD22 – Línea GPIO 118), utilizando la librería `gpiod` para una lectura precisa del estado del pin. Dentro del programa, cada pulso detectado equivale a un incremento de \$0,25 (veinte y cinco centavos) en el saldo actual del usuario. Esta equivalencia está definida en una constante denominada `CREDIT_INCREMENT`, la cual puede ser fácilmente ajustada en el código para adaptarse a otras configuraciones de monedero o valores por pulso. El sistema detecta cada pulso utilizando una técnica de detección de flanco descendente, es decir, identifica el momento en que el estado del pin cambia de alto a bajo (1 a 0). Esto permite registrar únicamente eventos reales de inserción de moneda y evita lecturas duplicadas o falsas activaciones.

Cada vez que se detecta un nuevo pulso, se ejecuta la función `pulso_monedero()`, que actualiza la variable global `current_balance`, la cual almacena el saldo actual. Este valor es inmediatamente reflejado en la interfaz gráfica, permitiendo al usuario conocer con precisión cuánto ha ingresado. Los precios de los medicamentos están definidos dentro del código fuente como parte de una estructura tipo diccionario en el lenguaje Python. Esta estructura, llamada `MEDICAMENTOS`, asigna a cada botón un identificador numérico (del 1 al 5) y almacena tres atributos clave para cada producto: Nombre del medicamento, Precio en dólares (valor decimal, múltiplo de 0.25), Código de control para la tarjeta ESP8266

Interfaz de navegación y parametrización de productos

La interfaz se ejecuta en la Orange Pi 3 LTS y es visualizada a través de una pantalla de 19 pulgadas, donde, la navegación se encuentra estructurada en niveles jerárquicos, de este modo cada usuario selecciona primero una de las 6 categorías establecidas, luego una subcategoría y finalmente la opción de medicamento disponible. La interacción se realiza mediante los botones físicos tratados en el apartado anterior.

El programa organiza los productos en una estructura de datos tipo diccionario, denominada “Medicamentos”, en la cual cada producto contiene tres parámetros: nombre, precio y código.

El código se envía al microcontrolador ESP8266 para activar la secuencia electromecánica correspondiente al medicamento seleccionado. Esta organización permite modificar los precios desde el archivo de configuración del programa sin alterar la lógica general de navegación ni la comunicación con el sistema de control.

Como ejemplo de parametrización, la categoría “Malestar estomacal” fue organizada en subniveles de selección, permitiendo el desplazamiento desde el menú principal hasta la selección y dispensación del producto final “Digesta”. El siguiente fragmento representa la estructura utilizada para asociar categorías, subcategorías, productos, precios y códigos de control.

```
"3": {
  "nombre": "Malestar estomacal",
  "opciones": {
    "1": { "nombre": "Alivio estomacal e indigestión", "opciones": { "1": {"nombre": "Digestotal Forte", "precio": 1.50, "codigo_esp": 31},
    "2": {"nombre": "Digesta tabletas", "precio": 1.00, "codigo_esp": 32}
    }},
    "2": {
      "nombre": "Cólicos o espasmos",
      "opciones": {
        "1": {"nombre": "Buscapina Duo", "precio": 1.75, "codigo_esp": 33}
      }},
    "3": {
      "nombre": "Equilibrio Gastrointestinal",
      "opciones": {
        "1": {"nombre": "Loperamida", "precio": 1.00, "codigo_esp": 34}
      }},
    "4": {
      "nombre": "Tránsito y regulación intestinal",
      "opciones": { "1": {"nombre": "Dulcolax tableta", "precio": 1.00, "codigo_esp": 35} }
    }
  }
}
```

Durante la operación, el sistema compara el saldo disponible con el precio del medicamento seleccionado. Si el saldo es suficiente, se descuenta el valor correspondiente, se muestra un mensaje de confirmación en pantalla y se envía el código del medicamento al ESP8266. Si el saldo es insuficiente, no se ejecuta la dispensación.

3. RESULTADOS

Validación de la interfaz de navegación

La lógica de la navegación por niveles se evaluó mediante pruebas funcionales en el dispensador físico. En la Figura 4 se detalla este proceso usando como ejemplo la selección de “Digesta”. Primero, el usuario interactúa con el menú principal y sus categorías; al presionar “Malestar estomacal”, se abre un submenú de opciones. Al avanzar hacia “Alivio estomacal e indigestión”, el sistema filtra y muestra los productos específicos. La secuencia culmina cuando, tras validar que el saldo cubre el costo, aparece en pantalla el mensaje “Dispensando Digesta tabletas...”.

La prueba deja en evidencia que el acceso a los medicamentos sigue una ruta jerárquica controlada por software y ejecutada mediante botones físicos. Asimismo, la visualización del saldo en pantalla y el mensaje de confirmación de dispensación permite comprobar que la interfaz de usuario, el sistema de saldo y el microcontrolador ESP8266 trabajan de manera integrada.

Figura 4

Evidencia funcional de la interfaz de navegación por niveles y selección de medicamentos



Nota. (a) Menú principal del dispensador. (b) Submenú de la categoría “Malestar estomacal”. (c) Subnivel “Alivio estomacal e indigestión”. (d) Selección final del medicamento con saldo disponible. (e) Mensaje de confirmación de dispensación.

La Tabla 1 resume la validación funcional de la interfaz de navegación, relacionando cada función implementada con la evidencia observada en pantalla y el criterio utilizado para verificar su funcionamiento.

Tabla 1

Validación de la interfaz de navegación

Función validada	Evidencia en pantalla	Criterio de validación
Navegación por niveles	Menú principal → Malestar estomacal → Alivio estomacal	El sistema cambia de menú según la opción seleccionada
Selección por botones físicos	Cada opción se identifica con un número	La pulsación del botón permite avanzar o retroceder
Parametrización de productos	Producto "Digesta" asociado a una categoría	El producto aparece dentro de la estructura configurada
Gestión de saldo	Pantalla muestra "Saldo: \$1.00"	El saldo se visualiza antes de autorizar la compra
Confirmación de dispensación	Mensaje "Dispensando Digesta tabletas..."	El sistema confirma la selección y ejecuta la secuencia de entrega

Validación de la integración hardware- software

El funcionamiento conjunto de la Orange Pi 3 LTS, el monedero electrónico, la interfaz y el ESP8266 quedó demostrado mediante las pruebas funcionales. En este flujo, la comunicación serial fue clave para transferir el código del medicamento desde la Orange Pi hacia el microcontrolador, el cual ejecutó la secuencia electromecánica sin inconvenientes.

Por otra parte, la validación del monedero se logró al procesar las señales de entrada de dinero y proyectar el saldo actualizado en la pantalla de 19 pulgadas, un paso crucial para verificar los fondos antes de liberar el producto. Respecto al movimiento mecánico, la selección del fármaco activó las secuencias de los motores y relés en los ejes X e Y, guiando el cabezal de succión a la posición exacta.

La interfaz gráfica se acopló bien a los botones físicos, mostrando transiciones limpias de menús y estados de operación. Cabe destacar que durante el proceso se ajustaron pequeños retardos y el efecto rebote en la lectura de los pulsadores, elevando la estabilidad del sistema. Al final, estos avances confirman que la integración hardware-software presentó un funcionamiento estable durante las pruebas realizadas.

Desempeño cinemático y consumo eléctrico del sistema

Además, los ensayos de desplazamiento evidenciaron diferencias significativas en el comportamiento dinámico de cada eje del sistema cartesiano. Como se observa en la Figura 5, el

tiempo de desplazamiento en el eje Y aumenta de forma proporcional a la distancia recorrida, registrando valores de 2,0 s, 3,1 s, 4,8 s y 7,0 s para las posiciones (0,1), (0,2), (0,3) y (0,4), respectivamente, lo que refleja una velocidad promedio de 0,57 unid. /s. En contraste, el eje X mostró un desempeño notablemente superior, alcanzando una velocidad constante de 3,0 unid. /s para el recorrido completo entre (0,0) y (3,0), como se aprecia en la Figura 5.

Este comportamiento confirma que el eje Y constituye la principal limitante cinemático del sistema, dado que su velocidad es aproximadamente 5,3 veces menor que la del eje X. Por otro lado, la Figura 7 muestra el perfil de corriente, evidenciando un pico de arranque de 25 A seguido de una estabilización en 7,8 A durante el movimiento en régimen permanente, lo que corresponde a una reducción del 68,8 %. Este comportamiento es consistente con motores de corriente continua sometidos a cargas de elevación y refleja un adecuado dimensionamiento del actuador para el esfuerzo requerido en la etapa de sujeción y liberación del medicamento.

Figura 5

Tiempo de desplazamiento del eje Y.

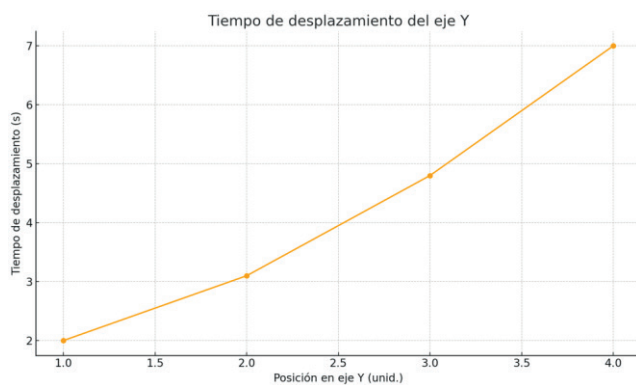


Figura 6.

Comparación de velocidad promedio por eje.

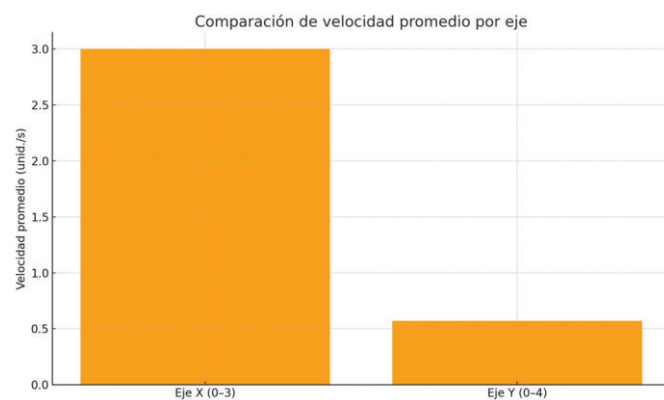
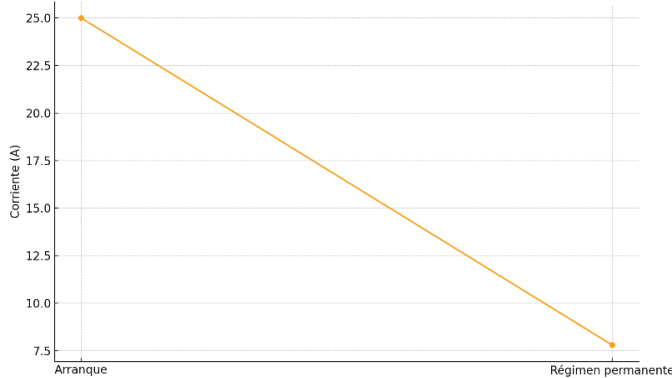


Figura 7.

Perfil de corriente durante el arranque y régimen permanente



4. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos permiten apreciar que el sistema propuesto alcanza un funcionamiento estable y coherente con el propósito para el cual fue diseñado. El desempeño de cada uno de los ejes evidencia diferencias naturales derivadas de su construcción y del tipo de esfuerzo que soportan. En el eje X, la velocidad constante observada a lo largo de todo el recorrido confirma que el mecanismo presenta poca fricción y una transmisión eficiente, lo que facilita un desplazamiento predecible del cabezal. En contraste, el eje Y muestra tiempos de movimiento mayores y una velocidad promedio más baja, lo que sugiere que, aunque opera correctamente, es el componente que más contribuye al tiempo total de dispensación. Esta diferencia no implica una falla, pero sí abre la posibilidad de optimizarlo en futuras versiones mediante ajustes mecánicos o motores con mayor torque.

El análisis de corriente revela un comportamiento típico de motores sometidos a cargas verticales: un pico inicial elevado seguido de un descenso estable. Este patrón indica que el motor está bien dimensionado para el esfuerzo que requiere la sujeción del medicamento, y que el diseño no presenta riesgos de sobrecarga durante el uso prolongado. La estabilidad en régimen permanente respalda la viabilidad del sistema para operar de manera continua sin comprometer la seguridad eléctrica.

Por otro lado, la integración entre la Orange Pi y la ESP8266 demostró ser adecuada para este tipo de aplicación. El sistema respondió sin retrasos perceptibles y la comunicación serial fue lo suficientemente rápida y confiable para coordinar la interfaz gráfica, el control de saldo y la activación de motores. Esto confirma que la distribución de tareas entre ambos dispositivos fue acertada y que el uso de hardware de bajo costo no limita la funcionalidad del prototipo.

Finalmente, la interacción con el usuario —un aspecto clave en este tipo de equipos— mostró un comportamiento intuitivo y estable. La detección de pulsos del monedero, la lectura de botones y la actualización inmediata de la interfaz evidencian que el sistema no solo realiza la dispensación, sino que además facilita una experiencia clara y comprensible. Este punto es

especialmente relevante si se considera que la máquina podría implementarse en entornos donde el flujo de personas es constante y la operación debe ser lo más sencilla posible.

Estos hallazgos coinciden con la literatura sobre dispensación automatizada, donde se asume que el propósito tecnológico trasciende la mera reducción de mano de obra; el verdadero valor radica en blindar la trazabilidad, agilizar los tiempos de entrega y reestructurar la lógica del flujo farmacéutico (Zafra Fernández et al., 2012; Foglia et al., 2024). Con todo, es crucial delimitar los alcances de este trabajo. El prototipo actual valida estrictamente la viabilidad mecatrónica y funcional de la arquitectura elegida. No pretende, por tanto, sustituir los rigurosos ensayos clínicos, normativos o de bioseguridad indispensables para operar en un entorno asistencial real. Los datos aquí expuestos configuran, esencialmente, la primera fase de un desarrollo tecnológico en evolución.

Por otro lado, la estabilidad observada en la interfaz gráfica, sumada a la captura precisa de los pulsos del monedero, cobra sentido al contrastarse con los factores de adopción tecnológica. Como advierten Gargioni et al. (2024), el éxito de un dispensador autónomo está supeditado a la claridad de su entorno visual, la respuesta inmediata ante las acciones del usuario y una interacción libre de fricciones. En este punto, el esquema distribuido entre la Orange Pi y la tarjeta ESP8266 demuestra que es perfectamente viable delegar tareas complejas (visualización y validación de saldo) y operativas (accionamiento electromecánico) en hardware embebido de bajo costo. Esta estrategia responde directamente a la tendencia actual de aplicar la ingeniería mecatrónica para democratizar el acceso a dispositivos médicos escalables (Martins et al., 2025).

La elección de una ventosa de vacío para la manipulación del medicamento responde a un criterio estrictamente operativo: mover empaques ligeros sin comprometer su integridad estructural mediante presión mecánica. En la práctica, este enfoque técnico se alinea con las directrices de Schmalz, Inc. (2009) para el manejo automatizado de blísteres, donde el vacío supera las limitaciones de las pinzas mecánicas al mitigar el riesgo de deformaciones o roturas en láminas delgadas. Sin embargo, el sistema actual es de lazo abierto. Para optimizar el diseño en futuras mejoras, resulta indispensable integrar sensores de presencia o presostatos que confirmen la sujeción real del fármaco, cerrando así el ciclo de control antes de dar por terminada la dispensación.

5. CONCLUSIONES

La integración entre la Orange Pi 3 LTS y el módulo ESP8266, mediante comunicación serial, permitió una separación efectiva de funciones y un control estable del sistema de dispensación, demostrando que una arquitectura modular de bajo costo puede gestionar con eficiencia procesos mecánicos y de interfaz.

El monedero electrónico presentó un desempeño preciso en la detección y contabilización de monedas, lo que reafirma su utilidad como mecanismo confiable para la gestión automática de saldo y como componente clave en sistemas de autoservicio.

El uso de relés y secuencias programadas en la ESP8266 facilitó la coordinación mecánica de los motores en los ejes X, Y y Z, garantizando desplazamientos controlados y una dispensación segura. Este resultado valida la pertinencia del enfoque basado en control discreto para prototipos de máquinas de distribución automatizada.

La interfaz gráfica desarrollada en Python mediante Pygame, aportó una experiencia de usuario clara e intuitiva, permitiendo una interacción directa con las funciones esenciales del sistema y evidenciando que el entorno gráfico se adapta adecuadamente al hardware utilizado.

Los mecanismos de retroalimentación mediante la pantalla de 19 pulgadas y el buzzer contribuyeron a una comunicación efectiva con el usuario, especialmente en etapas críticas como la selección del producto y la confirmación de la operación, fortaleciendo la usabilidad general del dispositivo.

En conjunto, los resultados demuestran que el prototipo cumple satisfactoriamente con las funciones esenciales de un sistema de dispensación automatizada. Además, establece una base sólida para futuras mejoras, entre ellas la incorporación de control automático en el eje Z, la optimización de la velocidad en el eje Y y la inclusión de sensores para reemplazar procesos actualmente dependientes de calibración

6. REFERENCIAS

- Al Mutair, A., Elgamri, A., Taleb, K., Alhassan, B. M., Alsalim, M., Alduriahem, H., Saha, C., & Alsaleh, K. (2025). Exploring the benefits, barriers and improvement opportunities in implementing automated dispensing cabinets: A qualitative study. *Pharmacy*, *13*(1), 12. <https://doi.org/10.3390/pharmacy13010012>
- Aanesht Raj, G., Bharani, V., Geerthana, P., Rajeshwari, S., & Tamizhalan, A. (2025). Automatic medicine dispenser. *International Journal of Scientific Research in Engineering & Technology*, *5*(3), 66–68. <https://doi.org/10.59256/ijreat.20250503010>
- Foglia, E., Asperti, F., Antonacci, G., Jani, Y. H., Garagiola, E., Bellavia, D., & Ferrario, L. (2024). Automated drugs dispensing systems in hospitals: A health technology assessment (HTA) study across six European countries. *ClinicoEconomics and Outcomes Research*, *16*, 679–696. <https://doi.org/10.2147/CEOR.S468417>
- Gargioni, L., Fogli, D., & Baroni, P. (2024). A systematic review on pill and medication dispensers from a human-centered perspective. *Journal of Healthcare Informatics Research*, *8*, 244–285. <https://doi.org/10.1007/s41666-024-00161-w>
- Martins, O. O., Oosthuizen, C. C., & Desai, D. A. (2025). Exploring the import of mechatronics engineering in medicine: A review. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, *14*(1), 26. <https://doi.org/10.1186/s43088-025-00618-w>
- Tu, H. N., Shan, T. H., Wu, Y. C., Shen, P. H., Wu, T. Y., Lin, W. L., Yang-Kao, Y. H., & Cheng, C. L. (2023). Reducing medication errors by adopting automatic dispensing cabinets in critical care units. *Journal of Medical Systems*, *47*(1), 52. <https://doi.org/10.1007/s10916-023-01953-0>

- Zafra Fernández, J. L., Tejera, B., & Del Prado Llergo, J. R. (2012). Efecto de un sistema automático de dispensación de medicamentos sobre el gasto farmacéutico y el grado de satisfacción del usuario. *Enfermería Global*, 25 250-261.
- Schmalz, Inc. (2009). Schmalz vacuum expertise – Handling blister packs efficiently. *Automate.org* (Tech paper). <https://www.automate.org/robotics/tech-papers/schmalz-vacuum-expertise-handling-blister-packs-efficiently>
- Omron Automation. (s. f.). Cartesian robot solutions: Palletizer gantry robot and XY/XYZ applications. Omron. https://files.omron.eu/downloads/latest/brochure/en/cartesian_robotic_leaflet_en.pdf

INVESTIGACIÓN

TECNOLÓGICA IST CENTRAL TÉCNICO

Dirección:

ISTCT, Av. Isaac Albéniz E4-15 y El Morlán, Sector el Inca
Quito - Ecuador • Telf.: (593) 2403096
www.istct.edu.ec • www.investigacionistct.ec • investigacion@istct.edu.ec