

# INVESTIGACIÓN

## TECNOLÓGICA IST CENTRAL TÉCNICO

Volumen 7 · Número 2 · Diciembre 2025 · Publicación semestral

Volumen 7  
Número 2



# INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA

## REVISTA DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN

### INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO CENTRAL TÉCNICO

#### COMISIÓN DE INVESTIGACIÓN

---

ISSN 2600-5565

Volumen 7

Número 2

Diciembre 2025

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, Rector

Instituto Superior Universitario Central Técnico, Ecuador.

##### **DIRECCIÓN DEL COMITÉ CIENTÍFICO**

PhD (c) Katalina Sarmiento Sarmiento - Instituto Superior  
Universitario Central Técnico, Ecuador.

##### **EDITOR EN JEFE (Responsable científico)**

PhD (c) Elva Gioconda Lara Guijarro - Instituto Superior  
Universitario Central Técnico, Ecuador.

##### **EDITORES ASOCIADOS**

Msc. José Andrés Beltrán Ruiz - Instituto Superior  
Universitario Central Técnico, Ecuador

Msc. Omar Fernando Sánchez Olmedo - Instituto Superior  
Universitario Central Técnico, Ecuador

##### **COMITÉ CIENTÍFICO**

PhD Gabriel Eduardo Sandoval Romero - Universidad  
Nacional Autónoma de México-México

PhD Doris Hernández Dukova - Universidad Distrital Francisco  
José de Caldas-Colombia

PhD Arturo Ramos Bueno - Instituto de Investigación Dr. José  
María Luis Mora - México

PhD Johanna Rosalia Reyes Reinoso - Universidad Católica  
de Cuenca - Ecuador

PhD Robert Bernardo Guamán Rivera - Universidad de  
O'Higgins - Chile

PhD. Ana Teresa Berrios Rivas - Instituto Superior Tecnológico  
Tecnológico - Ecuador

PhD Raisa Emilia Bernal Cerza - Instituto Superior Universitario  
Rumiñahui - Ecuador

Dra. María Julieta Duedra - Universidad Nacional de La Plata  
- Argentina

PhD Ernesto Quishpe Sacancela - Instituto Superior  
Universitario Central Técnico - Ecuador

PhD (c) Elva Gioconda Lara Guijarro - Instituto Superior  
Universitario Central Técnico - Ecuador

Msc. Omar Fernando Sánchez Olmedo - Instituto Superior  
Universitario Central Técnico - Ecuador

Msc. Abraham Mesías Jorjue Rea - Instituto Superior  
Universitario Central Técnico - Ecuador

Msc. Germán Mauricio Almeida Montenegro - Instituto  
Superior Universitario Central Técnico - Ecuador.

Msc. Jonathan Daniel Valencia Lucero - Instituto Superior  
Universitario Central Técnico - Ecuador.

Msc. Katuska Espinoza Pérez - Instituto Superior Tecnológico  
San Antonio ITSA - Ecuador

Mgs. María José Rivera Gutierrez - Instituto Superior  
Universitario Rumiñahui - Ecuador

Msc. Alex Stalin Núñez Moscoso - Instituto Superior  
Universitario Central Técnico - Ecuador

Mgtr. Isabel Cristina Meléndez Mogollón - Instituto Superior  
Tecnológico Tecnológico Tecnológico - Ecuador

PhD. Edgar Edurman García Silvera - Instituto Superior  
Tecnológico Tecnológico Tecnológico - Ecuador

Msc. Dario Javier Borja Soto - Instituto Superior Universitario  
Central Técnico, Ecuador

Msc. Christian Patricio Cabascango Camuendo - Instituto  
Superior Tecnológico Tecnológico Tecnológico - Ecuador

Msc. Klever Armando Tumbaco Casa - Instituto Superior  
Tecnológico Tecnológico Tecnológico - Ecuador

##### **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

##### **EDITORES DE PRODUCCIÓN**

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

# INVESTIGACIÓN

## TECNOLÓGICA IST CENTRAL TÉCNICO

---

La aventura de descubrir



Diciembre 2025





# Nota Editorial

---

En esta edición, presentamos una selección de artículos que destacan los avances y desafíos en disciplinas tecnológicas como son: mecánica industrial, electrónica, electricidad y mecánica automotriz. Expertos, docentes y estudiantes de diferentes Instituciones de Educación Superior comparten sus investigaciones más recientes, ofreciendo una visión profunda de las tendencias emergentes y tecnologías revolucionarias que moldean el futuro de la tecnología.

Con un enfoque integrador, esta revista fomenta la colaboración interdisciplinaria e impulsa la innovación en el espectro completo de las ciencias técnicas, considerando su impacto en los sectores social, ambiental, económico e industrial. Desde soluciones transformadoras en optimización de procesos hasta desarrollos vanguardistas en electrónica aplicada, esta edición refleja el dinamismo de nuestras carreras técnicas y reafirma la importancia de la investigación y la creatividad en la resolución de problemas del mundo real.

Expresamos nuestro sincero reconocimiento a las autoridades del Instituto: Msc. Rodrigo Veintimilla, Rector del ISU Central Técnico y Mgs. Katalina Sarmiento, Vicerrectora, por su compromiso en la consolidación de la revista de divulgación científica "Investigación Tecnológica IST Central Técnico" como espacio de excelencia académica y científica. Así también mi agradecimiento al Órgano Editorial, a los integrantes de la coordinación de I+D+i, y al Comité Científico por su arduo trabajo en la publicación del Volumen 7, Número 2.

**PhD (c) Elva Lara G**

Editor General

Revista Investigación Tecnológica ISTCT

# INVESTIGACIÓN

## TECNOLÓGICA IST CENTRAL TÉCNICO

## ÍNDICE

---

Impacto de la analítica de datos en la detección de fraudes financieros en empresas del sector hotelero ecuatoriano.	7
Análisis de las características técnicas para el diseño del sistema de frenado del Go-Kart eléctrico.	22
Diagnóstico de baterías de níquel-metal hidruro de Toyota Prius para su reutilización como fuente de almacenamiento para un sistema fotovoltaico por medio de paneles solares.	43
Análisis del comportamiento de un motor de 1500 cc MEP en el proceso de limpieza de la cámara de combustión utilizando un generador de HHO.	56
Efectividad de cielo raso PVC en el confort térmico del laboratorio de máquinas térmicas.	72
Auditoría forense como herramienta esencial en el control interno financiero en empresas del sector industrial ecuatoriano.	83
Análisis del tráfico de datos para la detección del fraude organizacional financiero en PYMEs del sector inmobiliario ecuatoriano.	99
Análisis Estadístico de Calidad de las Propiedades Físicas y Mecánicas de los Compuestos de Madera Plástica.	117

## Impact of data analytics on the detection of financial fraud in companies in the Ecuadorian hotel sector

## Impacto de la analítica de datos en la detección de fraudes financieros en empresas del sector hotelero ecuatoriano

Quiroz Peña Jaime Iván<sup>1</sup>[0000-0001-8268-1169], Chango Pilaluisa Irma Elizabeth<sup>2</sup>[0009-0003-0557-4193]

<sup>1</sup> Instituto Superior Tecnológico Japón con condición de Universitario, Quito, Ecuador

E-mail: [jquiroz@itsjapon.edu.ec](mailto:jquiroz@itsjapon.edu.ec)

<sup>2</sup> Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador

E-mail: [ichango@istct.edu.ec](mailto:ichango@istct.edu.ec)

Recibido: 05/10/2025

Aceptado: 10/12/2025

Publicado: 30/12/2025

### RESUMEN

La analítica de datos se ha consolidado como un enfoque estratégico para el fortalecimiento de los sistemas de control financiero y la prevención del fraude en organizaciones caracterizadas por altos niveles de transaccionalidad y complejidad operativa, como es el caso del sector hotelero. En el contexto ecuatoriano, las empresas de esta industria enfrentan riesgos crecientes vinculados a prácticas fraudulentas, inconsistencias en la información contable, evasión tributaria y manipulación de ingresos, situaciones que afectan de manera directa su rentabilidad, transparencia y sostenibilidad financiera. El objetivo de la presente investigación fue analizar el impacto de la analítica de datos en la detección temprana de fraudes financieros en empresas del sector hotelero ecuatoriano. Para ello, se empleó un enfoque cuantitativo con un diseño descriptivo correlacional, aplicando encuestas estructuradas. Las variables analizadas correspondieron al nivel de implementación de herramientas de analítica de datos y a la presencia de indicios de fraude financiero, evaluadas mediante escalas categóricas. El procesamiento estadístico se realizó a través de la prueba de Chi-cuadrado, con el propósito de determinar la existencia de una asociación estadísticamente significativa entre las variables de estudio. Los resultados evidenciaron una relación significativa entre la aplicación de la analítica de datos y la detección temprana de fraudes financieros, lo que indica que las empresas con mayores niveles de implementación presentan una menor incidencia de irregularidades financieras.

**Palabras clave:** analítica de datos; fraude financiero; control interno; sector hotelero.

## ABSTRACT

Data analytics has become established as a strategic approach for strengthening financial control systems and preventing fraud in organizations characterized by high levels of transactional volume and operational complexity, such as those operating in the hotel sector. In the Ecuadorian context, companies within this industry face increasing risks associated with fraudulent practices, inconsistencies in accounting information, tax evasion, and revenue manipulation, all of which directly affect their profitability, transparency, and financial sustainability. The objective of this study was to analyze the impact of forensic data analytics on the early detection of financial fraud in companies within the Ecuadorian hotel sector. To this end, a quantitative approach with a descriptive–correlational research design was employed, using structured surveys as the primary data collection instrument. The variables analyzed included the level of implementation of forensic data analytics tools and the presence of indicators of financial fraud, both measured using categorical scales. Statistical analysis was conducted using the Chi-square test in order to determine the existence of a statistically significant association between the study variables. The findings reveal a significant relationship between the application of forensic data analytics and the early detection of financial fraud, indicating that companies with higher levels of implementation exhibit a lower incidence of financial irregularities.

**Index terms:** forensic data analytics; financial fraud; internal control; hospitality sector.

## 1. INTRODUCCIÓN.

El fraude financiero constituye en la actualidad uno de los riesgos más críticos para la sostenibilidad y competitividad de las organizaciones, debido a los efectos adversos que genera sobre la estabilidad económica, la rentabilidad, la confianza de los inversionistas y la credibilidad institucional (Zhapa y Añazco, 2022). Las pérdidas ocasionadas por prácticas fraudulentas no solo representan un impacto económico directo, sino que también deterioran los sistemas de gobernanza corporativa y la reputación organizacional, comprometiendo el desempeño a largo plazo de las empresas (Prince, 2023). Este fenómeno se manifiesta con mayor frecuencia en sectores caracterizados por un elevado volumen de transacciones, múltiples fuentes de ingresos y una intensa circulación de efectivo, condiciones que incrementan la complejidad del control financiero y la probabilidad de conductas oportunistas.

En este contexto, el sector hotelero se configura como un entorno particularmente vulnerable al fraude financiero, dada la naturaleza heterogénea de sus operaciones y la interacción permanente entre procesos administrativos, contables, tributarios y operativos (Vaca y Toasa, 2022). La gestión simultánea de ingresos por hospedaje, alimentos y bebidas, eventos, servicios complementarios y canales digitales de comercialización, sumada a la alta rotación de personal y a la descentralización de funciones, incrementa la exposición a irregularidades contables, manipulación de ingresos, omisiones tributarias y uso indebido de activos (Peñarreta et al., 2024). Estas características convierten al sector hotelero en un escenario propicio para la materialización de riesgos financieros si no se cuenta con sistemas de control y supervisión robustos.

Paralelamente, el proceso de transformación digital ha generado un crecimiento exponencial en la disponibilidad de datos financieros y operativos dentro de las organizaciones. Sistemas de gestión hotelera, plataformas de reservas, medios de pago electrónicos y aplicaciones contables producen grandes volúmenes de información en tiempo real (Hernández et al., 2022). No obstante, en numerosos casos, estos datos no son aprovechados de manera estratégica para la detección de riesgos y la prevención del fraude. Tradicionalmente, los mecanismos de control han dependido de auditorías periódicas, revisiones documentales y controles manuales, los cuales presentan un enfoque predominantemente reactivo y limitaciones significativas para identificar anomalías en etapas tempranas del ciclo financiero (Vera y Quinde, 2022). Como consecuencia, los fraudes suelen ser detectados cuando ya han generado pérdidas económicas relevantes y efectos negativos en la gestión organizacional.

Ante estas limitaciones, la analítica de datos emerge como un enfoque innovador y proactivo que integra principios de auditoría, técnicas avanzadas de análisis estadístico y herramientas tecnológicas orientadas al examen sistemático y continuo de grandes volúmenes de datos (Villa et al., 2024). Este enfoque permite identificar patrones atípicos, inconsistencias, transacciones inusuales y comportamientos anómalos que pueden constituir señales tempranas de fraude financiero. Diversos estudios destacan que la implementación de analítica de datos fortalece los sistemas de control interno, mejora la gestión del riesgo y contribuye a una supervisión financiera más eficiente y oportuna (Cum, 2025), desplazando el enfoque tradicional de detección ex post hacia esquemas preventivos y predictivos.

En el ámbito ecuatoriano, el sector hotelero desempeña un papel estratégico en la economía nacional, al contribuir de manera significativa al desarrollo del turismo, la generación de empleo y el dinamismo económico regional (Salazar et al., 2021). Sin embargo, investigaciones previas evidencian que un número considerable de empresas hoteleras, particularmente las pequeñas y medianas, presentan debilidades estructurales en sus sistemas de control interno y una limitada adopción de herramientas tecnológicas para la supervisión financiera y tributaria. Esta situación incrementa su exposición a prácticas fraudulentas y limita su capacidad para garantizar una gestión financiera transparente y sostenible (Vangehuchten y Basanta, 2023). La escasa incorporación de enfoques analíticos avanzados refleja, además, brechas en la cultura de control y en la gestión estratégica de la información.

Bajo este escenario, la presente investigación tiene como objetivo analizar el impacto de la analítica de datos en la detección temprana de fraudes financieros en empresas del sector hotelero ecuatoriano. La relevancia del estudio radica en que aporta evidencia empírica sobre la efectividad de las herramientas de analítica de datos como mecanismos de prevención del fraude, fortalecimiento del control financiero y apoyo a la toma de decisiones gerenciales basadas en información confiable. Asimismo, los resultados contribuyen al debate académico en torno a la aplicación de tecnologías analíticas en auditoría y gestión del riesgo, y ofrecen insumos relevantes para directivos, auditores internos, profesionales contables y responsables financieros interesados en mejorar la sostenibilidad y transparencia de las organizaciones hoteleras en Ecuador.

## **Analítica de datos**

La analítica de datos, como variable independiente, se concibe como el grado en que las empresas hoteleras incorporan herramientas y técnicas analíticas para el monitoreo, revisión y evaluación de su información financiera y operativa (Gallo et al., 2022). Esta variable se operacionaliza a partir de la implementación de procedimientos sistemáticos orientados a la detección de anomalías, inconsistencias y desviaciones significativas en los registros contables. Entre los principales componentes de esta variable se incluyen el uso de herramientas tecnológicas de análisis de datos, la aplicación de técnicas de revisión continua, la comparación de patrones históricos y la generación de alertas tempranas frente a comportamientos atípicos (Tassinari, 2024). Un mayor nivel de implementación implica una capacidad más robusta para identificar riesgos financieros y prevenir la materialización de fraudes.

## **Analítica de datos en el ámbito financiero**

La analítica de datos surge como una evolución de los métodos tradicionales de auditoría y control, incorporando técnicas avanzadas de análisis cuantitativo, estadístico y computacional orientadas a la identificación de patrones irregulares y comportamientos atípicos en grandes volúmenes de información financiera (Calvache, 2025). A diferencia de los enfoques convencionales, que suelen basarse en revisiones muestrales y procedimientos retrospectivos, la analítica de datos permite examinar de manera integral y continua las transacciones organizacionales, incrementando la capacidad de detección temprana de riesgos y anomalías (Soto et al., 2025).

Desde una perspectiva financiera, este enfoque integra herramientas de minería de datos, análisis de tendencias, identificación de valores atípicos y evaluación de consistencia lógica entre registros contables y operativos (Tosca et al., 2024). Su aplicación resulta particularmente relevante en sectores con alta rotación de efectivo, múltiples fuentes de ingreso y diversidad de operaciones, donde la complejidad transaccional incrementa la probabilidad de errores, omisiones o prácticas fraudulentas intencionales (Loor y Estefano, 2025). En este sentido, la analítica de datos no se limita a la identificación de fraudes consumados, sino que actúa como un mecanismo preventivo que fortalece los sistemas de control interno, mejora la calidad de la información financiera y contribuye a una toma de decisiones más informada y oportuna.

## **Control financiero y gestión del riesgo de fraude**

El control financiero constituye uno de los pilares fundamentales de la gestión empresarial, al garantizar la confiabilidad de la información contable, la adecuada utilización de los recursos y el cumplimiento de las disposiciones normativas y tributarias (Aburto et al., 2025). Sin embargo, la efectividad de los controles tradicionales se ve frecuentemente limitada por factores como la automatización de procesos, el incremento del comercio electrónico y la sofisticación de los esquemas de fraude financiero. En este contexto, la gestión del riesgo de fraude requiere la incorporación de enfoques dinámicos que permitan anticipar comportamientos irregulares antes de que estos generen impactos económicos significativos (Orellano, 2022).

La analítica de datos responde a esta necesidad al facilitar la detección de inconsistencias en ingresos, gastos, inventarios y transacciones financieras, mediante el análisis sistemático de grandes bases de datos y la comparación de patrones históricos (Montalvo y Valdez, 2025). De esta manera, el uso de herramientas analíticas fortalece la capacidad de las organizaciones para identificar debilidades en sus procesos, reducir la asimetría de información y mitigar riesgos asociados a la manipulación contable y financiera.

### **Detección temprana de fraudes financieros**

La detección temprana de fraudes financieros, considerada como variable dependiente, hace referencia a la capacidad de las organizaciones para identificar oportunamente indicios, señales o patrones que evidencien la posible existencia de irregularidades financieras (Fuentes y Arias, 2025). Esta variable no se limita a la confirmación de fraudes consumados, sino que incluye la identificación de riesgos potenciales que podrían derivar en prácticas fraudulentas si no son corregidos a tiempo.

Su medición se fundamenta en la presencia de inconsistencias contables, irregularidades en los registros de ingresos y gastos, desviaciones significativas respecto a períodos anteriores y observaciones recurrentes en procesos financieros críticos (Portela et al., 2023). Una detección temprana efectiva permite reducir el impacto económico del fraude, fortalecer los mecanismos de control y mejorar la credibilidad de la información financiera. Desde una perspectiva teórica, la detección temprana de fraudes se vincula estrechamente con la calidad de los sistemas de información, el nivel de supervisión interna y la capacidad analítica de la organización, elementos que son potenciados mediante la implementación de la analítica de datos (Rios, 2023).

### **Fraude financiero en el sector hotelero**

El sector hotelero se caracteriza por una elevada complejidad operativa, derivada de la gestión simultánea de servicios de alojamiento, alimentación, eventos, ventas en línea y múltiples medios de pago. Esta estructura operativa genera un entorno propicio para la materialización de riesgos de fraude financiero, especialmente en áreas relacionadas con el manejo de efectivo, la facturación, el control de ingresos y la gestión tributaria (Espinoza et al., 2023).

Los esquemas de fraude más recurrentes en este sector incluyen la subdeclaración de ingresos, la manipulación de registros contables, el uso indebido de descuentos, la alteración de consumos y la evasión de obligaciones fiscales. Estas prácticas no solo afectan la rentabilidad de las empresas, sino que también deterioran la transparencia organizacional y la confianza de los stakeholders (Cando et al., 2023). En países en desarrollo, como Ecuador, estas problemáticas se ven agravadas por limitaciones en los sistemas de control, brechas tecnológicas y una cultura organizacional que, en algunos casos, prioriza la operatividad sobre el fortalecimiento de mecanismos de supervisión y análisis.



## 2. MATERIALES Y MÉTODOS / DESARROLLO

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental y de corte transversal. Este diseño permitió examinar la relación existente entre la aplicación de la analítica de datos y la detección temprana de fraudes financieros en contextos organizacionales reales. La unidad de análisis estuvo conformada por empresas del sector hotelero ecuatoriano, seleccionándose una muestra de 30 empresas ubicadas en las ciudades de Quito y Guayaquil, por su relevancia económica y concentración de actividad hotelera a nivel nacional. La selección de la muestra se realizó mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, considerando el listado de empresas que se encuentran en el portal de la Superintendencia de Compañías, Valores y Seguros. Las variables en estudio fueron: (i) el nivel de implementación de la analítica de datos, operacionalizado a partir del uso de herramientas analíticas, técnicas de revisión continua y procedimientos de detección de anomalías; y (ii) la presencia de indicios de fraude financiero, medida a través de señales de inconsistencias contables, irregularidades en ingresos, gastos y transacciones financieras. Ambas variables fueron medidas mediante encuestas estructuradas, diseñadas bajo una escala categórica, lo que permitió su posterior análisis estadístico.

La recolección de la información se llevó a cabo de encuestas dirigidas a responsables financieros, contables y de control interno de las empresas hoteleras participantes. Adicionalmente, se consideró el análisis de estados financieros y reportes contables, con el fin de contextualizar los resultados y fortalecer la interpretación de los hallazgos. Los instrumentos fueron validados con el alfa de Cronbach y sometidos a un proceso de revisión técnica por parte de 4 especialistas del área contable y financiera.

Para el análisis estadístico, se empleó la prueba de Chi-cuadrado ( $\chi^2$ ), debido a que las variables analizadas son de naturaleza categórica y el objetivo fue determinar la existencia de asociación estadísticamente significativa entre ellas. En este sentido, se plantearon las siguientes hipótesis: nula ( $H_0$ ): No existe una relación estadísticamente significativa entre la aplicación de la analítica de datos y la detección temprana de fraudes financieros en las empresas del sector hotelero ecuatoriano, alternativa ( $H_1$ ): Existe una relación estadísticamente significativa entre la aplicación de la analítica de datos y la detección temprana de fraudes financieros en las empresas del sector hotelero ecuatoriano. El nivel de significancia adoptado para la asociación de hipótesis fue  $\alpha = 0,05$ , criterio ampliamente aceptado en estudios de ciencias económicas y administrativas. La prueba de Chi-cuadrado permitió evaluar la dependencia entre las variables, aportando evidencia empírica sobre el impacto de la analítica de datos como herramienta de prevención del fraude financiero.

Finalmente, los resultados obtenidos fueron sistematizados, analizados e interpretados con el software SPSS v16. Este procedimiento metodológico permitió no solo validar la hipótesis planteada, sino también generar conclusiones sólidas sobre la contribución de la analítica de datos al fortalecimiento del control financiero y a la promoción de prácticas organizacionales más transparentes y sostenibles en el sector hotelero ecuatoriano.



### 3. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados descriptivos vinculados al grado de adopción de herramientas de analítica de datos en las empresas hoteleras, identificando patrones de implementación y niveles de madurez analítica. Posteriormente, se analizan los principales indicios de fraude financiero detectados, considerando aspectos relacionados con inconsistencias contables, irregularidades en ingresos y gastos, y anomalías en las transacciones financieras. Finalmente, se exponen los resultados del contraste de hipótesis, los cuales permiten determinar el impacto de la analítica de datos en la detección temprana de fraudes financieros.

*Tabla 1*

Nivel de implementación de la analítica de datos en empresas hoteleras ecuatorianas

Nivel de implementación	Frecuencia (n)	Porcentaje (%)	Porcentaje acumulado (%)	Media categórica	Desviación estándar
Bajo	9,00	30,00	30,00%	1,00	0,00
Medio	11,00	36,70	66,70%	2,00	0,00
Alto	10,00	33,30	100,00%	3,00	0,00
Total	30,00	100,00	—	2,03	0,83

La tabla 1, presenta el nivel de implementación de la analítica de datos en las empresas del sector hotelero ecuatoriano incluidas en el estudio, así como su distribución porcentual y medidas estadísticas asociadas. Los resultados evidencian que el 36,70% de las empresas se ubica en un nivel medio de implementación, lo que indica que una parte significativa del sector ha incorporado parcialmente herramientas analíticas para la detección de anomalías y el fortalecimiento del control financiero. Este nivel intermedio sugiere la existencia de iniciativas orientadas al uso de técnicas de análisis de datos, aunque todavía con limitaciones en su alcance y sistematización.

Por otro lado, el 33,30% de las empresas presenta un nivel alto de implementación, lo que refleja una adopción más estructurada de la analítica de datos, caracterizada por el uso de procedimientos de revisión continua, análisis de patrones transaccionales y mecanismos orientados a la identificación temprana de irregularidades financieras. Este grupo evidencia una mayor madurez en sus sistemas de control interno y una orientación preventiva frente al riesgo de fraude financiero. En contraste, el 30,00% de las empresas se encuentra en un nivel bajo de implementación, lo cual pone de manifiesto una dependencia predominante de controles tradicionales y manuales, con escasa utilización de herramientas analíticas avanzadas. Esta situación incrementa la vulnerabilidad de dichas organizaciones frente a prácticas fraudulentas, especialmente en un sector caracterizado por un alto volumen de transacciones y manejo frecuente de efectivo.

Desde una perspectiva estadística, la media categórica de 2,03 indica una tendencia general hacia un nivel medio de implementación de la analítica de datos en el sector hotelero ecuatoriano. No obstante, la desviación estándar de 0,83 revela una dispersión moderada entre las empresas analizadas, lo que confirma la existencia de brechas significativas en la adopción de estas herramientas. En conjunto, estos resultados evidencian que, si bien el sector hotelero ha comenzado a incorporar la analítica de datos como parte de sus mecanismos de control financiero, aún persisten desafíos relevantes para lograr una implementación homogénea y plenamente integrada a los sistemas de gestión organizacional.

**Tabla 2**

Frecuencia y nivel de indicios de fraude financiero detectados

Nivel de indicios de fraude	Frecuencia (n)	Porcentaje (%)	Tipo predominante de indicio	Impacto financiero percibido
Alto	5,00	16,70	Manipulación de ingresos	Alto
Medio	7,00	23,30	Irregularidades en gastos	Medio
Bajo	8,00	26,70	Errores contables	Bajo
Ninguno	10,00	33,30	—	Nulo
Total	30,00	100,00	—	—

La tabla 2, se presenta la frecuencia y nivel de indicios de fraude financiero identificados en las empresas hoteleras estudiadas. Los resultados indican que el 66,70% de las empresas presenta algún grado de indicios de fraude financiero, lo que confirma la exposición del sector a prácticas irregulares que pueden afectar su desempeño económico y reputacional. El 16,70% reporta un nivel alto de indicios, asociados principalmente a la manipulación de ingresos, considerada una de las prácticas más críticas por su impacto directo en los estados financieros.

De igual manera, el 23,30% de las empresas evidencia indicios de nivel medio, vinculados principalmente a irregularidades en los gastos, mientras que el 26,7% presenta indicios bajos relacionados con errores contables recurrentes. Estos resultados reflejan debilidades en los procesos de control y supervisión financiera, particularmente en áreas sensibles como el reconocimiento de ingresos y el control del gasto operativo. Finalmente, el 33,30% de las empresas no reportó indicios de fraude, lo que sugiere la existencia de estructuras de control más robustas o una mayor efectividad en sus mecanismos de supervisión financiera. En conjunto, los resultados ponen de manifiesto la necesidad de fortalecer los sistemas preventivos y analíticos para reducir la incidencia de prácticas fraudulentas en el sector hotelero.

**Tabla 3**

Implementación de analítica de datos según áreas de aplicación

Área de aplicación	Bajo (%)	Medio (%)	Alto (%)	Media	Desv. estándar
Análisis de ingresos	33,30	36,70	30,00	1,97	0,82
Control de gastos	36,70	33,30	30,00	1,93	0,85

Auditoría continua	40,00	33,30	26,70	1,87	0,86
Detección de anomalías	30,00	36,70	33,30	2,03	0,83

La tabla 3, analiza el nivel de implementación de la analítica de datos según las principales áreas de aplicación dentro de las empresas hoteleras. Los resultados muestran que la detección de anomalías y el análisis de ingresos presentan los niveles más elevados de implementación, con medias de 2,03 y 1,97 respectivamente, lo que evidencia una mayor atención a los procesos directamente vinculados con la generación de ingresos y la identificación de desviaciones financieras.

En contraste, la auditoría continua registra la media más baja (1,87), lo que indica que su adopción aún es limitada dentro del sector. Este hallazgo sugiere que las empresas priorizan controles puntuales o reactivos antes que esquemas de monitoreo permanente, lo cual reduce la capacidad de detección temprana de fraudes financieros. La dispersión observada en las desviaciones estándar confirma la heterogeneidad en la aplicación de la analítica de datos entre las distintas áreas, evidenciando que su implementación no responde a una estrategia integral, sino a iniciativas aisladas orientadas a procesos específicos.

*Tabla 4*

Tabla cruzada: Nivel de analítica de datos e indicios de fraude financiero

Nivel de analítica de datos	Indicios altos	Indicios medios	Indicios bajos	Sin indicios	Total
Bajo	4,00	3,00	2,00	-	9,00
Medio	1,00	3,00	4,00	3,00	11,00
Alto	-	1,00	2,00	7,00	10,00
Total	5,00	7,00	8,00	10,00	30,00

La tabla 4, presenta la relación entre el nivel de implementación de la analítica de datos y los indicios de fraude financiero. Los resultados evidencian una relación inversamente proporcional entre ambas variables. Las empresas con bajo nivel de implementación concentran la mayor cantidad de indicios altos y medios de fraude, mientras que aquellas con alto nivel de implementación presentan predominantemente bajos niveles o ausencia total de indicios fraudulentos.

En particular, se observa que 7,00 de las 10,00 empresas con alta implementación de analítica de datos no registran indicios de fraude financiero, lo que refuerza el carácter preventivo de estas herramientas. Este comportamiento confirma que la incorporación de técnicas analíticas avanzadas contribuye significativamente a la reducción de riesgos financieros y al fortalecimiento del control interno.

*Tabla 5*

Impacto percibido de la analítica de datos en la gestión financiera

Dimensión evaluada	Bajo impacto (%)	Impacto medio (%)	Alto impacto (%)	Media
--------------------	------------------	-------------------	------------------	-------

Control financiero	13,30	36,70	50,00	2,37
Transparencia contable	16,70	33,30	50,00	2,33
Cumplimiento tributario	20,00	30,00	50,00	2,30
Prevención del fraude	10,00	33,30	56,70	2,47

La tabla 5, refleja la percepción de los responsables financieros sobre el impacto de la analítica de datos en distintas dimensiones de la gestión financiera. Los resultados indican que más del 50,00% de las empresas percibe un alto impacto en todas las dimensiones evaluadas, destacándose la prevención del fraude con una media de 2,47.

Asimismo, el fortalecimiento del control financiero, la transparencia contable y el cumplimiento tributario presentan medias superiores a 2,30, lo que evidencia que la analítica de datos no solo contribuye a la detección de irregularidades, sino que también mejora la calidad de la información financiera y la toma de decisiones gerenciales.

**Tabla 6**

Resultados de la prueba Chi-cuadrado ( $\chi^2$ )

Estadístico	Valor
Chi-cuadrado de Pearson ( $\chi^2$ )	9,87
Grados de libertad (gl)	2,00
Significancia asintótica (p)	0,01
Nivel de significancia ( $\alpha$ )	0,05
Decisión estadística	Rechazar $H_0$

La tabla 5, muestra los resultados de la prueba de Chi-cuadrado aplicada para evaluar la asociación entre la analítica de datos y la detección temprana de fraudes financieros. La tabla de contingencia construida permitió observar la distribución conjunta de las empresas según su nivel de implementación de la analítica de datos (bajo, medio y alto) y el nivel de indicios de fraude financiero detectados (alto, medio, bajo y nulo). A partir de esta matriz, se calculó el estadístico  $\chi^2$ , obteniéndose un valor de  $\chi^2 = 9,87$ , con grados de libertad (gl = 4) y un nivel de significancia  $p = 0,007$ , inferior al umbral crítico establecido ( $\alpha = 0,05$ ).

Este resultado indica la existencia de una asociación estadísticamente significativa entre ambas variables, lo que permite rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ ), que sostenía la inexistencia de relación entre la analítica de datos y la detección temprana de fraudes financieros, y aceptar la hipótesis alternativa ( $H_1$ ), que plantea una relación significativa entre dichas variables. Desde una perspectiva analítica, la significancia estadística obtenida sugiere que el nivel de implementación de herramientas de analítica de datos no es independiente de la capacidad de las empresas para identificar indicios de fraude financiero. En particular, las frecuencias observadas muestran que las empresas con alto nivel de implementación presentan una menor incidencia de indicios de fraude, mientras que aquellas con niveles bajos de adopción concentran mayores frecuencias de fraudes financieros de nivel medio y alto. Esta distribución refuerza el carácter preventivo y disuasivo de la analítica de datos dentro de los sistemas de control interno financiero.

Adicionalmente, el análisis de los residuos estandarizados evidenció que las mayores contribuciones al valor del estadístico  $\chi^2$  provienen de las celdas correspondientes a empresas con bajo nivel de analítica de datos y altos indicios de fraude, lo que confirma que estas combinaciones se presentan con una frecuencia superior a la esperada bajo el supuesto de independencia. En contraste, las empresas con alto nivel de analítica de datos y ausencia de indicios de fraude presentan frecuencias observadas superiores a las esperadas, consolidando la evidencia empírica de la relación inversa entre ambas variables.

En términos prácticos, estos hallazgos permiten inferir que la analítica de datos actúa como un mecanismo estructural de fortalecimiento del control financiero, al facilitar la identificación temprana de irregularidades, reducir asimetrías de información y mejorar la capacidad de respuesta ante riesgos financieros. Su impacto no se limita a la detección ex post de fraudes, sino que contribuye a la construcción de sistemas de supervisión continua, alineados con enfoques modernos de gestión del riesgo y control interno. Finalmente, los resultados de la prueba Chi-cuadrado confirman que la incorporación sistemática de herramientas de analítica de datos incrementa significativamente la eficacia de los procesos de detección temprana del fraude financiero en el sector hotelero ecuatoriano. Este hallazgo aporta evidencia estadística robusta que respalda la relevancia de la analítica de datos como componente estratégico para la sostenibilidad financiera, la transparencia organizacional y la toma de decisiones gerenciales basadas en información confiable.

#### 4. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la presente investigación confirman que la analítica de datos constituye un factor determinante en la detección temprana de fraudes financieros en empresas del sector hotelero ecuatoriano, evidenciándose una relación estadísticamente significativa entre ambas variables. Este hallazgo es consistente con la literatura internacional y regional, que reconoce el papel estratégico de las herramientas analíticas avanzadas como mecanismos preventivos dentro de los sistemas de control interno y gestión del riesgo financiero.

En concordancia con los resultados de este estudio, Orellano (2022) señala que la incorporación de técnicas de analítica de datos y auditoría continua mejora sustancialmente la capacidad de las organizaciones para identificar anomalías financieras antes de que se materialicen pérdidas significativas. Llor y Estefano (2025) sostienen que el uso de análisis de grandes volúmenes de datos permite detectar patrones atípicos invisibles para los enfoques tradicionales de auditoría, reduciendo la dependencia de controles ex post y fortaleciendo la supervisión permanente de las transacciones financieras.

De manera similar, Cando et al. (2023) señalan que el sector de turismo y los servicios, evidencian que las organizaciones con mayor nivel de madurez analítica presentan menores incidencias de fraude financiero. En este sentido, Portela et al. (2023) destacan que la analítica de datos no solo incrementa la eficiencia de la auditoría, sino que también actúa como un elemento disuasivo frente a conductas oportunistas, al incrementar la percepción de control y monitoreo continuo dentro de las organizaciones.

En el ámbito latinoamericano, se evidencia una relación directa entre el fortalecimiento del

control interno y la reducción de prácticas fraudulentas. Investigaciones desarrolladas en países como Colombia, México y Perú señalan que la limitada adopción de herramientas tecnológicas en los procesos de auditoría y control financiero constituye una de las principales causas de vulnerabilidad frente al fraude organizacional (Villa et al., 2024; Zhapa et al., 2022). En este contexto, los hallazgos del presente estudio refuerzan la necesidad de transitar desde esquemas de control manual y reactivo hacia enfoques basados en analítica de datos y auditoría de datos.

Asimismo, la evidencia empírica obtenida coincide con los planteamientos del marco COSO ERM, el cual establece que la gestión efectiva del riesgo requiere el uso de información relevante, oportuna y analizada de forma sistemática. En este sentido, la analítica de datos se configura como una herramienta alineada con las mejores prácticas internacionales de gobernanza corporativa, al fortalecer los componentes de monitoreo, evaluación de riesgos y actividades de control (Vera, 2022).

No obstante, los resultados también revelan que una proporción significativa de empresas hoteleras ecuatorianas aún presenta niveles bajos o medios de implementación de analítica de datos, situación que ha sido documentada en estudios regionales que advierten sobre las limitaciones presupuestarias, la escasez de talento especializado y la resistencia al cambio tecnológico como barreras para su adopción (Vangehuchten y Basanta, 2023). Esta realidad sugiere que, si bien la analítica de datos demuestra ser efectiva, su impacto depende de una implementación sistemática y alineada con la estrategia organizacional.

Desde una perspectiva comparativa, los resultados de la prueba Chi-cuadrado obtenidos en este estudio refuerzan la evidencia presentada por investigaciones internacionales que reportan asociaciones significativas entre el uso de herramientas analíticas y la reducción del fraude financiero. En particular, el valor estadístico y su nivel de significancia confirman que la detección temprana del fraude no responde a un comportamiento aleatorio, sino que está condicionada por el grado de sofisticación de los sistemas de control financiero implementados por las organizaciones.

En síntesis, los hallazgos de esta investigación amplían la evidencia empírica existente al aportar un análisis específico del sector hotelero ecuatoriano, contexto poco explorado desde la perspectiva de la analítica de datos. Los resultados confirman que la adopción de estas herramientas no solo mejora la detección del fraude financiero, sino que también contribuye al fortalecimiento del control interno, la transparencia contable y la sostenibilidad financiera, consolidándose como un componente estratégico para la gestión moderna de las organizaciones del sector turístico (Fuentes y Arias, 2025).

## 5. CONCLUSIONES

Los resultados del estudio confirman que la analítica de datos ejerce un impacto significativo en la detección temprana de fraudes financieros en las empresas del sector hotelero ecuatoriano. La evidencia estadística obtenida mediante la prueba de Chi-cuadrado demuestra que las organizaciones con mayores niveles de implementación de herramientas analíticas presentan una menor incidencia de irregularidades financieras, lo que valida su utilidad como mecanismo preventivo y no únicamente reactivo frente al fraude.

Se concluye que, si bien existe un reconocimiento creciente de su importancia, su aplicación en el sector hotelero ecuatoriano aún es heterogénea y limitada. La coexistencia de niveles bajos y medios de adopción evidencia que muchas empresas continúan operando con esquemas tradicionales de control, lo que reduce la efectividad de los sistemas de supervisión financiera y retrasa la identificación de anomalías relevantes.

En cuanto a la relación entre analítica de datos y control financiero, los hallazgos permiten concluir que la incorporación sistemática de técnicas de análisis de datos fortalece de manera directa los procesos de control interno, particularmente en áreas críticas como ingresos, gastos y transacciones electrónicas. No obstante, su efectividad depende de una implementación consistente, del acceso a información confiable y de la disponibilidad de recursos humanos capacitados para interpretar los resultados analíticos.

Adicionalmente este estudio a plasmado que el principal desafío para las empresas hoteleras ecuatorianas no radica únicamente en la adopción tecnológica, sino en la transformación de sus prácticas de gestión financiera. La transición desde sistemas de control obsoletos hacia esquemas modernos de analítica de datos requiere inversión tecnológica, capacitación continua y un compromiso organizacional genuino orientado a fortalecer la transparencia y la cultura de control.

## 6. REFERENCIAS

- Aburto Palomino, Y., Dueñas Caillahua, H., & Romero Vela, S. L. (2025). Control interno y gestión de riesgos en el sector bancario: un análisis teórico de revisión sistemática. *Revista InveCom*, 6(1). <https://doi.org/10.5281/zenodo.15477928>
- Calvache-Pintado, P. (2025). Contabilidad forense: evolución científica y tendencias globales mediante análisis bibliométrico. *Revista de Finanzas*, 5(1), 118-136. <https://doi.org/10.33386/rdf.2025.1.53>
- Cando-Morejon, I. A., Guanoluisa-Salazar, J. B., & Villacis-Yanez, D. P. (2023). Casos de fraudes financieros en ecuador: una revisión breve. *ISTE SCIENTIST*, 2(01). <https://revistas.iste.edu.ec/index.php/reviste/article/view/15>
- Cum, R. L. O. (2025). Aplicación de analítica de datos en auditoría forense: revisión bibliográfica sobre detección de fraudes financieros. *Revista Enfoques*, 9(36), 348-368. <https://doi.org/10.33996/revistaenfoques.v9i36.218>
- Espinoza, L. D. C. V., Chérrez, T. M. V., & Cárdenas, N. A. R. (2023). Gestión de auditoría como herramienta estratégica de los servicios hoteleros. *Revista de Investigación en Ciencias de la Administración ENFOQUES*, 7(26), 192-201. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=621977179007>
- Fuentes, J. B. T., & Arias, E. J. M. (2025). Modelos de machine learning para la detección de fraudes financieros: Una revisión de la literatura. *UNESUM-Ciencias. Revista Científica Multidisciplinaria*, 9(2), 220-234. <https://doi.org/10.47230/unesum->



ciencias.v9.n2.2025.220-234

- Gallo, B., Salamandri, S., & Solinas, M. (2022). Análisis Forense de Entornos IoT. *JAIIO, Jornadas Argentinas de Informática*, 8(7), 29-41. <https://revistas.unlp.edu.ar/JAIIO/article/view/18426>
- Hernández, Z. D. R. C., Hernández, E. A. Y., Mosquera, J. M. O., & Ortiz, R. V. C. (2022). Las tecnologías de la información en los sistemas contables para la gestión empresarial. *Magazine de las Ciencias: Revista de Investigación e Innovación*, 7(4), 51-74. <https://doi.org/10.33262/rmc.v7i4.2697>
- Lloor-Pincay, A. D., & Estefano, M. A. (2025). Evaluación del impacto del blockchain en la transformación de la auditoría financiera. *Journal of Economic and Social Science Research*, 5(1), 228-244. <https://economicsocialresearch.com/index.php/home/article/view/174>
- Montalvo, C. E., & Valdez, S. M. (2025). Uso de la inteligencia artificial en la gestión del riesgo de una entidad financiera. *Iuris Dictio*, (36), 13-13. <https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/iurisdictio/article/view/3923>
- Orellano-Antúnez, J. C. (2022). Información contable y el riesgo financiero-riesgo del accionista enfocado a empresas mineras peruanas. *Semestre Económico*, 11(1), 74-85. <https://doi.org/10.26867/se.2022.v11i1.129>
- Peñarreta-Angamarca, M. T., Torres-Palacios, M. M., & Moreno-Narváez, V. P. (2024). Efectividad de la auditoría financiera en la prevención del fraude en pequeñas y medianas empresas [Analysis of the Effectiveness of financial and tax auditing in fraud prevention]. *Revista Multidisciplinaria Perspectivas Investigativas*, 4(especial), 26-35. <https://doi.org/10.62574/rmpi.v4iespecial.106>
- Portela, F. G., Cárdenas, S. R., Ospina, L. P. P., & Aros, L. H. (2023). Estudio de la prevención y detección de fraudes financieros a través de técnicas de aprendizaje automático. *CAFI*, 6(1), 77-101. <https://doi.org/10.23925/cafi.v6i1.58372>
- Prince, A. (2023). Rol del gobierno corporativo ante el fraude financiero. *Aula Virtual*, 4(10), 126-133. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8132454>
- Ríos-Gaibor, C. G. (2023). Evaluación de los sistemas y herramientas de control interno para la prevención del fraude. *Horizon Nexus Journal*, 1(3), 28-43. <https://doi.org/10.70881/hnj/v1/n3/22>
- Salazar, K., Serrano, S., & Calle, M. (2021). Análisis de la situación actual del sector hotelero frente a la crisis sanitaria COVID-19. Caso: Machala-Ecuador. *Revista interamericana de ambiente y turismo*, 17(1), 2-13. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-235X2021000100002>
- Soto, A. A. I., De La Cruz, E. F. C., & Duarte, A. M. C. (2025). Proceso de auditoría forense: contabilidad y finanzas en la República de Panamá. *Revista FAECO Sapiens*, 8(2), 190-219. <https://doi.org/10.48204/j.faeco.v8n2.a7752>



- Tassinari, F. (2024). El uso de los datos genéticos en la era del big data: Evolución y trayectorias futuras desde la óptica de Europol. *Revista de Derecho y Genoma Humano. Genética, Biotecnología y Medicina Avanzada*, 1(60), 17-54. <https://doi.org/10.1387/rdgh.27359>
- Tosca Magaña, S. A., Vázquez Vidal, V., & Martínez Ortiz, M. (2024). La revolución digital en la contabilidad: impacto de la inteligencia artificial en la auditoría. *Revista FACE*, 24(2). <https://doi.org/10.24054/face.v24i2.3119>
- Vaca, C., Martínez, D., & Toasa, R. M. (2022). Análisis OSINT aplicado a la investigación de Fraudes Financieros. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, (E49), 80-91. <https://www.proquest.com/openview/d16347cbac65fced95b9fa3ff9951207/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1006393>
- Vangehuchten, L., & Basanta, A. (2023). Los códigos éticos del sector hotelero en España y México: un enfoque discursivo. *Estudios del discurso*, 9(2), 145-171. <https://doi.org/10.30973/153>
- Vera, M. I. G., & Quinde, M. S. (2022). El control interno en pymes de la ciudad de Guayaquil periodo 2019–2021. *Polo del Conocimiento*, 7(11), 950-964. <https://doi.org/10.23857/pc.v7i11.4899>
- Villa, C. F. H., Ramírez, G. C. R., Suarez, W. A. R., Gutiérrez, C. A. E., Agudelo, L. C. A., Gutiérrez, M. S. E., & Escobar, C. M. M. (2024). Evolución y Tendencias en Analítica de Datos para la Salud: Un Análisis Bibliométrico de la Literatura Científica. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, (E69), 392-407. <https://www.proquest.com/openview/fac527bdf755b36d601a4d4bbc8de2a7/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1006393>
- Zhapa-Amay, E. M., & Añazco-Narváez, M. E. (2022). Auditoría forense y fraudes financieros. *Polo del Conocimiento*, 7(5), 1010-1021. <https://doi.org/10.23857/pc.v7i5.4008>

## Analysis of technical characteristics for the design of the electric go-kart braking system

## Análisis de las características técnicas para el diseño del sistema de frenado del Go-Kart eléctrico

Robinson Rodrigo Alay Romero<sup>1[0009-0001-5760-429X]</sup>, Milton Andrés Bautista Romero<sup>2</sup>, Alexis Vinicio Ladino Tixe<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Instituto Superior Tecnológico La Maná, La Maná, Ecuador  
E-mail: [robin\\_ro2009@hotmail.es](mailto:robin_ro2009@hotmail.es)

<sup>2</sup> Instituto Superior Tecnológico La Maná, La Maná, Ecuador  
E-mail: [milandres1992@gmail.com](mailto:milandres1992@gmail.com)

<sup>3</sup> Instituto Superior Tecnológico La Maná, La Maná, Ecuador  
E-mail: [ladinoalexis10q@gmail.com](mailto:ladinoalexis10q@gmail.com)

Recibido: 15/10/2025

Aceptado: 10/12/2025

Publicado: 30/12/2025

### RESUMEN

El presente trabajo desarrolla un análisis integral y optimización del sistema de frenos de un vehículo tipo Go-Kart, combinando fundamentos dinámicos, térmicos y de diseño asistido por computadora. Con base en parámetros físicos del vehículo como la masa, altura del centro de gravedad, batalla, vía, velocidad de diseño (16,67 m/s), entre otros, en el cual se ejecutaron modelos analíticos para caracterizar el comportamiento del frenado y su influencia en la estabilidad del vehículo. Inicialmente, se calculó la transferencia de carga durante la desaceleración, obteniendo una variación  $\Delta F = 115,83$  N hacia el eje delantero, lo que evidencia el impacto dinámico sobre la distribución de esfuerzos. Posteriormente, se estimó una desaceleración de  $3,045 \text{ m/s}^2$ , garantizando condiciones seguras sin riesgo de vuelco. El análisis permitió determinar una fuerza de frenado total de 2224,91 N, así como la energía disipada en el sistema. A partir de estas variables, se analizó la potencia térmica generada en el disco y se determinó el coeficiente de convección mediante aproximaciones basadas en el número de Nusselt. El diseño del disco de freno se optimizó considerando geometrías alternativas, comparando diferentes configuraciones mediante simulación CAD (SolidWorks), priorizando eficiencia térmica, integridad estructural y facilidad de manufactura. Se seleccionó el diseño con mejor distribución del flujo térmico y menor concentración de tensiones. Este estudio aporta

evidencia técnica fundamentada que permite avanzar en el desarrollo de sistemas de frenado eficientes, ligeros y seguros, alineados con estándares internacionales de ingeniería automotriz.

**Palabras clave:** Go-kart eléctrico; Sistema de frenos; Simulación computacional; Análisis térmico; Dinámica vehicular

## ABSTRACT

This paper presents a comprehensive analysis and optimization of the braking system of a go-kart-type vehicle, combining dynamic, thermal, and computer-aided design principles. Based on physical parameters of the vehicle such as mass, center of gravity height, wheelbase, track width, design speed (16.67 m/s), among others, analytical models were run to characterize braking behavior and its influence on vehicle stability. Initially, the load transfer during deceleration was calculated, obtaining a variation  $\Delta F = 115.83$  N towards the front axle, which shows the dynamic impact on the distribution of forces. Subsequently, a deceleration of  $3.045 \text{ m/s}^2$  was estimated, ensuring safe conditions without the risk of rollover. The analysis determined a total braking force of 2224.91 N, as well as the energy dissipated in the system. Based on these variables, the thermal power generated in the disc was analyzed and the convection coefficient was determined using approximations based on the Nusselt number. The brake disc design was optimized by considering alternative geometries, comparing different configurations using CAD simulation (SolidWorks), and prioritizing thermal efficiency, structural integrity, and ease of manufacture. The design with the best heat flow distribution and lowest stress concentration was selected. This study provides sound technical evidence that allows for progress in the development of efficient, lightweight, and safe braking systems, in line with international automotive engineering standards.

**Index terms:** Electric go-kart; Brake system; Computer simulation; Thermal analysis; Vehicle dynamics

## 1. INTRODUCCIÓN.

El sistema de frenos constituye uno de los componentes más críticos en la seguridad y desempeño de vehículos livianos, como los go-karts, cuya operación demanda alta eficiencia en espacios reducidos y bajo condiciones de carga dinámica elevadas (Abhiteja et al., 2019). En la actualidad, el diseño y optimización de sistemas de freno en vehículos de pequeña escala ha evolucionado significativamente gracias a la incorporación de herramientas computacionales avanzadas, que permiten analizar parámetros como distribución de cargas, disipación térmica y esfuerzo mecánico en cada componente (Razak et al., 2023). Esta tendencia se alinea con los desafíos actuales de la ingeniería automotriz, centrados en garantizar mayor confiabilidad, menor peso estructural y máxima capacidad de disipación de energía sin comprometer la integridad del sistema (Yuvaraaj Kumar et al., 2024).

Diversos estudios han abordado el análisis térmico de discos de freno en go-karts, destacando

que el calor generado durante la frenada puede comprometer el coeficiente de fricción, reducir la eficiencia del frenado y acelerar el desgaste del material (Tofrowaih et al., 2025). En este contexto, investigaciones recientes han implementado simulaciones por elementos finitos (FEM) y análisis computacionales para evaluar la capacidad de absorción de energía, el coeficiente de convección y el comportamiento del material bajo cargas cíclicas, lo cual ha permitido identificar mejoras estructurales en la geometría del disco y optimizar la ventilación para una disipación térmica más eficiente (Naren et al., 2024).

Desde una perspectiva dinámica, el dimensionamiento del sistema de frenos se basa en cálculos precisos de transferencia de carga, velocidad inicial de frenado, radio efectivo del disco y desaceleración máxima permitida, integrando estos factores en un modelo físico-matemático capaz de predecir el comportamiento del sistema en condiciones reales (Bala Subramanyam et al., 2019). Además, el modelado CAD en SolidWorks y su validación mediante estudios comparativos ha demostrado ser una herramienta clave para la generación de geometrías funcionales, eficientes y térmicamente estables.

Bajo este marco técnico, el presente artículo tiene como objetivo diseñar, analizar y validar el sistema de freno de un go-kart de competición mediante la integración de análisis dinámico, térmico y computacional (Karthi Vinith & Sathiamurthi, 2020). Para ello, se plantea una metodología que incluye el cálculo de fuerzas de frenado, energía disipada, análisis por elementos finitos (FEA), y validación del diseño mediante simulaciones térmicas y mecánicas. Esta aproximación permite seleccionar la mejor geometría de disco desde un punto de vista integral, garantizando un desempeño eficiente, seguro y adaptado a las exigencias de vehículos de pequeño formato.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS / DESARROLLO**

### **2.1. Descripción del Estudio**

El presente estudio se enfoca en el diseño, análisis térmico y validación estructural de un sistema de freno tipo disco ventilado, aplicado a go-karts de competición. Se implementó un enfoque metodológico basado en simulación computacional, empleando el método de elementos finitos (FEM) para analizar la distribución de esfuerzos y la disipación térmica en condiciones de operación real. El análisis fue desarrollado mediante SolidWorks Simulation, permitiendo evaluar los efectos de la convección, la generación de calor durante el frenado, las tensiones equivalentes (Von Mises) y deformaciones totales. Este enfoque ha sido ampliamente validado en estudios previos sobre componentes automotrices.

### **2.2. Población y Muestra**

La población se definió como todos los discos de freno utilizados en sistemas hidráulicos para vehículos ligeros tipo Go-Kart de alto desempeño. La muestra seleccionada corresponde al disco de freno diseñado en este estudio, con base en las condiciones operativas de un Go-Kart de 130

kg (incluyendo piloto), capaz de alcanzar velocidades de hasta 60 km/h. El diseño se centró en optimizar parámetros geométricos como diámetro exterior, grosor, área de contacto y distribución de perforaciones para disipación térmica eficiente.

### **2.3. Materiales Seleccionados**

El material seleccionado para el disco de freno fue acero inoxidable AISI 410, debido a su alta resistencia a la fatiga térmica, estabilidad dimensional y buena conductividad térmica. Esta aleación presenta un adecuado balance entre resistencia al desgaste, capacidad de disipación del calor y facilidad de manufactura. Las propiedades del material fueron ingresadas en SolidWorks Simulation, permitiendo análisis térmico-estructurales precisos bajo escenarios de carga realistas.

### **2.4. Instrumentos y Técnicas de Recolección de Datos**

Para la validación del diseño y el análisis estructural y térmico de los modelos de disco de freno, se utilizaron herramientas digitales especializadas y software de simulación avanzada que permiten integrar criterios mecánicos y térmicos desde la fase de diseño (Karthi Vinith & Sathiamurthi, 2020).

- Software CAD: Se utilizó SolidWorks para el modelado tridimensional de cada uno de los tres modelos de discos, lo cual facilitó la parametrización precisa de las geometrías complejas y la incorporación de distintas configuraciones de ventilación y ranuras.
- Análisis por Elementos Finitos (FEM): A través del módulo SolidWorks Simulation, se llevaron a cabo simulaciones estructurales estáticas y análisis térmicos en estado estacionario. Estos permitieron obtener distribuciones de esfuerzo equivalente (Von Mises), deformaciones totales y gradientes térmicos en condiciones operativas típicas. Las condiciones de frontera y las cargas aplicadas fueron representativas del entorno real de funcionamiento de un sistema de frenos para go-karts eléctricos.

Este enfoque metodológico se alinea con trabajos previos como los de (Tripariyanto et al., 2020), quienes también emplearon herramientas CAD-FEM —como SolidWorks y ANSYS— en el análisis de sistemas automotrices. Dichos estudios resaltan la confiabilidad, precisión y versatilidad de estas plataformas para simular el comportamiento de componentes complejos bajo condiciones multifísicas. Su uso en esta investigación garantiza una evaluación integral de la respuesta estructural y térmica de los modelos propuestos, con el fin de seleccionar el diseño más eficiente y seguro.

### **2.5. Geometría del sistema de dirección**

El estudio contempló el diseño de tres modelos distintos de disco de freno, cuya geometría responde a diferentes criterios de disipación térmica, reducción de peso y distribución de esfuerzos. El Modelo 1 presenta una configuración circular clásica con perforaciones distribuidas uniformemente a lo largo de la superficie, orientadas principalmente a favorecer la ventilación y

evacuación de calor durante el frenado. El Modelo 2 incorpora un diseño más irregular y segmentado, con ranuras anguladas y cortes periféricos asimétricos, lo cual sugiere un enfoque más agresivo hacia la disipación térmica y reducción de masa inercial, promoviendo zonas de mayor concentración de esfuerzos controlados. Por su parte, el Modelo 3 introduce un diseño híbrido con múltiples cavidades circulares internas, interconectadas por ranuras, que no solo buscan mejorar la disipación de calor, sino también generar.

## 2.6. Procedimiento Metodológico

El desarrollo del estudio se llevó a cabo mediante las siguientes etapas:

- Modelado CAD: Se elaboró el modelo 3D del disco en SolidWorks, definiendo todos los parámetros geométricos y de perforaciones.
- Generación de Malla: Se creó un mallado de alta densidad utilizando elementos tetraédricos, con refinamiento en zonas críticas de esfuerzo.
- Definición de Condiciones de Frontera: Se aplicaron restricciones mecánicas representativas de la sujeción al eje del Go-Kart, y cargas equivalentes a una desaceleración de  $9.81 \text{ m/s}^2$ .
- Simulación Térmica: Se definió un flujo de calor convectivo de  $120 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ , representando el intercambio térmico en régimen de frenado continuo.
- Análisis FEM: Se evaluaron los esfuerzos equivalentes (Von Mises), deformaciones totales, temperatura máxima alcanzada.
- Validación y Comparación de Resultados: Se realizó un análisis comparativo entre distintas configuraciones geométricas del disco, evaluando el desempeño térmico-estructural de cada modelo.

## 3. RESULTADOS

### 3.1. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS GEOMÉTRICOS Y FÍSICOS DEL VEHÍCULO

El primer paso fundamental para el diseño eficiente del sistema de frenado de un Go Kart eléctrico consiste en la identificación y validación de sus parámetros geométricos y físicos. Esta caracterización inicial es indispensable, ya que permite establecer las condiciones base sobre las cuales se definen las cargas dinámicas que actuarán sobre el sistema de frenos. En la Tabla 1 se presentan los parámetros principales del vehículo objeto de estudio, extraídos del modelo real y validados a partir del análisis del sistema de dirección previamente desarrollado.

**Tabla 1.**  
*Parámetros geométricos y físicos del Go Kart eléctrico*

Nomenclatura	Parámetro	Valor	Unidad
a	Vía (Track Width)	684	mm
b	Batalla (Wheelbase)	1060	mm
L	Ancho del vehículo total	1050	mm

v	Voladizo frontal	220	mm
h	Altura del centro de gravedad (*)	259	mm
W	Peso total del vehículo	188	kg
GC	Despeje al suelo	38.1	mm

A continuación, se detalla la característica de cada parámetro para su respectivo posterior análisis:

- Batalla ( $b = 1060$  mm): determina la distancia entre ejes y afecta directamente la transferencia de carga durante el frenado. Una batalla corta implica mayor transferencia de carga hacia el eje delantero.
- Vía ( $a = 684$  mm): influye en la estabilidad lateral del vehículo. Una vía estrecha puede comprometer la rigidez transversal, por lo que será un factor crítico al definir la distribución de fuerza de frenado entre ruedas.
- Altura del CG ( $h = 259$  mm): es esencial para calcular el momento de vuelco durante el frenado. A menor  $h$ , mayor estabilidad al frenar bruscamente.
- Peso total ( $W = 180$  kg): determina la fuerza total de inercia y, por tanto, el par de frenado requerido para detener el vehículo a una determinada velocidad.
- Voladizo y despeje al suelo: factores relevantes al momento de analizar la resistencia dinámica, el centro de presión de frenado y el espacio disponible para instalación del sistema.

## 3.2. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE FRENO, PEDAL Y CILINDRO MAESTRO

### 3.2.1. Sistema de freno

El diseño del sistema de freno para el go-kart eléctrico se estructuró con el objetivo principal de garantizar una máxima eficiencia de frenado y reforzar la seguridad operativa del vehículo. Para este estudio, se optó por un sistema de freno hidráulico mecánico, aprovechando su capacidad de multiplicación de fuerza, sensibilidad de respuesta, y disponibilidad en el mercado local, asegurando al mismo tiempo una integración eficiente con la geometría del bastidor y la distribución de cargas del vehículo.

### 3.2.2. Pedal de freno

En los automóviles de pasajeros, se recomienda comúnmente una relación de pedal (pedal ratio) entre 4:1 y 7:1, lo que implica que, por cada unidad de fuerza ejercida por el conductor, el sistema hidráulico recibe un incremento proporcional que mejora la fuerza de frenado transmitida.

En el presente diseño, se adopta una relación de pedal de 7:1, considerando el peso total del go-kart (180 kg), la necesidad de lograr una frenada precisa con un esfuerzo mínimo por parte del conductor, y el aprovechamiento de componentes existentes en el mercado. Esta relación fue

seleccionada cuidadosamente para optimizar el torque aplicado sobre el cilindro maestro sin comprometer la ergonomía del conductor ni generar esfuerzos excesivos en la palanca.

### **3.2.3. Cilindro maestro**

Para la activación del sistema hidráulico, se seleccionó un cilindro maestro tándem del modelo TVS Apache RTR 160, utilizado comúnmente en motocicletas por su alta presión de trabajo, confiabilidad y disponibilidad como repuesto OEM (Original Equipment Manufacturer). Este tipo de cilindro permite generar una presión efectiva en el fluido de freno con un recorrido reducido del pedal, mejorando la respuesta del sistema. El diámetro del pistón del cilindro maestro seleccionado es de 19,15 mm, un valor que proporciona un balance adecuado entre presión hidráulica generada y volumen desplazado.

## **3.3. COMPONENTES CLAVE DEL SISTEMA DE FRENADO DEL GO KART ELÉCTRICO**

### **3.3.1. Cáliper de freno (Brake Caliper)**

Para el presente diseño, se seleccionó un cáliper de doble pistón flotante del modelo TVS Apache RTR 160, el cual se considera óptimo por su alto rendimiento en vehículos ligeros. Esta elección responde a criterios técnicos que buscan mejorar la superficie de contacto del sistema de fricción. El diseño de doble pistón permite que las pastillas de freno ejerzan mayor presión y cobertura sobre el disco, lo cual incrementa la eficiencia del frenado al distribuir mejor la fuerza.

### **3.3.2. Disco de freno (Brake Disc)**

En el desarrollo del sistema, el diseño del disco de freno fue seleccionado considerando los siguientes factores técnicos fundamentales:

- Diámetro del disco de freno: Directamente relacionado con el par de frenado. Un mayor diámetro proporciona mayor efecto de palanca, lo que se traduce en una desaceleración más eficiente.
- Material del disco: Se consideraron materiales como fundición gris, debido a su capacidad de disipar calor, resistencia al desgaste y comportamiento bajo cargas térmicas elevadas.
- Peso del disco: Factor crítico en vehículos livianos como el Go Kart, donde el peso no suspendido influye directamente en la dinámica vehicular.
- Espesor del disco: Afecta la disipación térmica y la resistencia a deformaciones. Se debe asegurar que el espesor permita una conducción segura sin deformaciones.

## **3.4. ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA DE FRENADO DEL GO KART ELÉCTRICO**

El diseño del sistema de frenado constituye uno de los elementos más críticos para la seguridad operativa de un Go Kart eléctrico. A partir del análisis comparativo con sistemas similares y considerando las condiciones geométricas del kart objeto de estudio se definieron los siguientes



parámetros clave que intervienen en los cálculos del diseño:

**Tabla 2.**

*Parámetros del sistema de frenado*

Parámetro	Valor Establecido	Fundamento conceptual y criterios de adopción
Tipo de freno	Freno de disco simple en el eje trasero	Se opta por un sistema de freno de disco único ubicado en el eje trasero, dada su respuesta térmica eficiente, bajo peso, facilidad de mantenimiento.
Fluido de freno	DOT 3	El fluido DOT 3 es seleccionado por su capacidad de operar bajo temperaturas moderadas.
Diámetro del disco	200 mm	Este valor se encuentra dentro del rango óptimo para garantizar una adecuada superficie de contacto
Diámetro del cilindro maestro	19.15 mm	Se adopta un cilindro maestro proveniente de motocicleta de alto rendimiento (TVS Apache RTR 160)
Diámetro del pistón del calíper	28 mm	Este componente doble pistón permite maximizar la superficie de empuje sobre la pastilla, traducándose en mayor fuerza de fricción.
Área del cilindro maestro	0.000288 m <sup>2</sup>	Valor obtenido mediante fórmula estándar del área de un círculo: $A = \frac{\pi D^2}{4}$ .
Área del pistón del calíper	0.000615 m <sup>2</sup>	Determinada con la misma metodología anterior, esta área permite transformar la presión hidráulica en una fuerza mecánica considerable
Coeficiente de fricción neumático-pavimento	0.65	Este valor representa un escenario ideal de frenado sobre pavimento seco, obtenido de literatura técnica especializada (Khurmi & Gupta).
Coeficiente de fricción pastilla-disco	0.4	Valor típico para materiales de fricción orgánicos, semimetálicos o compuestos aplicables a sistemas de disco ventilado.
Distribución de frenado (F/R)	55%	Aunque el frenado es trasero, este valor representa una distribución idealizada para el análisis teórico, en el cual se simula una transferencia de carga parcial.
Distancia entre eje delantero y centro de gravedad (CG)	0.549 m	Dato empírico determinado a partir del modelo estructural del kart. Este valor incide directamente en la transferencia dinámica de carga durante el frenado.
Distancia entre eje trasero y centro de gravedad (CG)	0.671 m	Valor mayor que el anterior, lo que implica que el CG está más próximo al eje delantero. Este diseño promueve una mayor carga en el eje trasero durante el frenado.

### 3.4.1. Cálculo del radio efectivo promedio

Siguiendo la teoría del desgaste uniforme, se define el radio efectivo del disco de freno como el promedio entre el radio interior ( $r_1$ ) y el radio exterior ( $r_2$ ):

$$R = \frac{r_1 + r_2}{2} \quad (1)$$

- $r_1 = 0,08 \text{ m}$  representa el radio interno efectivo de contacto, es decir, el punto donde inicia el área de acción de la pastilla sobre el disco.
- $r_2 = 0,1 \text{ m}$  corresponde al radio externo efectivo, que define el límite máximo de la superficie de frenado.

Ambos valores han sido asumidos con base en una geometría de diseño típica de discos de freno de 200 mm de diámetro, como se indica en la especificación del sistema.

$$R = \frac{0,08 \text{ m} + 0,1 \text{ m}}{2} = 0,09 \text{ m}$$

Este valor proporciona una base confiable para continuar con el análisis del momento de frenado (torque) y otras fuerzas asociadas al sistema de freno.

### 3.4.2. Transferencia de carga durante el frenado

La transferencia dinámica de carga durante una desaceleración es un fenómeno físico que modifica la distribución del peso entre los ejes delantero y trasero. En vehículos de competición ligera como el Go Kart, este fenómeno tiene un impacto determinante en el dimensionamiento del sistema de frenos. A continuación, se detallan los valores reales utilizados en el análisis, obtenidos del diseño final del vehículo:

**Tabla 3.**

*Valores utilizados en el diseño del vehículo*

Símbolo	Parámetro	Valor	Unidad
W	Peso total del vehículo	188 kg	—
W	Peso total en Newtons	1844.28 N	N
h	Altura del centro de gravedad	259 mm	0.259 m
b	Batalla (distancia entre ejes)	1060 mm	1.06 m
a	Desaceleración estimada	2.52 m/s <sup>2</sup>	m/s <sup>2</sup>
g	Gravedad	9.81 m/s <sup>2</sup>	m/s <sup>2</sup>

La fórmula aplicada para determinar el incremento de carga sobre el eje debido a la inercia del frenado es:

$$\Delta F = \frac{W*a*h}{l*g} \quad (2)$$

$$\Delta F = \frac{1844,28 * 2,52 * 0,259}{1,06 * 9,81} = 115,83 \text{ N}$$

### 3.4.3. Cálculo de carga estática en el eje delantero del Go-Kart

La distribución estática de la carga sobre el eje delantero constituye un parámetro fundamental para evaluar el comportamiento dinámico del sistema de frenado y garantizar su eficiencia bajo

condiciones reales de operación. Bajo el supuesto de condiciones estáticas y sin transferencia de carga dinámica, se utilizó la expresión teórica para determinar la carga estática sobre el eje delantero:

$$R_f = W * \left( \frac{\text{Distribución de frenado} \left( \frac{F}{R} \right)}{100} \right) \quad (3)$$

$$R_f = 1844,28 * \left( \frac{55\%}{100} \right) = 1014,35 \text{ N}$$

#### 3.4.4. Cálculo de la carga estática sobre el eje trasero

El análisis estático se centra en el reparto del peso del vehículo sobre cada eje bajo condiciones estáticas, es decir, sin aceleraciones ni frenadas, simplemente por la distribución de masas del chasis. La fórmula empleada es:

$$R_r = W - R_f \quad (4)$$

$$R_r = W - R_f = 1844,28 - 1014,35 = 829,93 \text{ N}$$

### 3.5. ANÁLISIS DINÁMICO DE LAS FUERZAS NORMALES

Durante una maniobra de desaceleración, el comportamiento dinámico del vehículo cambia sustancialmente debido a la transferencia de carga longitudinal. Este fenómeno provoca que parte del peso del Go-Kart se traslade hacia el eje trasero, generando así una disminución de la carga normal sobre las ruedas delanteras y un aumento de la carga sobre las ruedas traseras.

#### 3.5.1. Cálculo de la fuerza normal dinámica en el eje delantero

La fuerza normal en el eje delantero bajo condiciones dinámicas de frenado, denotada  $F_{NF}$  cómo, se determina restando la carga transferida a la carga estática:

$$F_{NF} = R_f - \Delta F \quad (5)$$

$$F_{NF} = 1014,35 - 115,83 = 898,52 \text{ N}$$

#### 3.5.2. Cálculo de fuerza normal dinámica en el eje trasero

$$F_{NR} = R_r + \Delta F \quad (6)$$

$$F_{NR} = 829,93 + 115,83 = 945,73 \text{ N}$$

#### 3.5.3. Cálculo de la desaceleración del Go-Kart eléctrico

El análisis de desaceleración permite evaluar la capacidad máxima de frenado del vehículo. Este parámetro es clave en el diseño de sistemas de frenado seguros y eficientes. En esta sección se presenta el cálculo usando la distribución geométrica y física del Go-Kart desarrollado en el presente estudio. Según el modelo simplificado de dinámica longitudinal en frenado la fórmula para calcular la desaceleración máxima teórica es:

$$a = \frac{g * \mu * (L - r)}{L + \mu * h} \quad (7)$$

$$a = \frac{9,81 * 0,65 * (1,06 - 0,473)}{1,06 + 0,65 * 0,259} = 3,045 \text{ m/s}^2$$

Este valor representa un desempeño adecuado para un vehículo de las características estructurales y de peso del presente diseño, asegurando una frenada segura bajo condiciones controladas.

#### 3.5.4. Análisis de la Fuerza ejercida por el cáliper sobre el disco

Esta fuerza es clave en la selección del sistema de freno, ya que de ella depende el dimensionamiento del actuador hidráulico (cilindro maestro y cáliper), la resistencia térmica del disco y la eficiencia global del sistema. Este análisis permite validar si los componentes seleccionados cumplen con las exigencias reales del frenado en situaciones de alta exigencia, como curvas cerradas o frenado de emergencia.

$$F_{FCP} = \frac{(F_{NR} * \mu) * R_{DISCO}}{R} \quad (8)$$

$$F_{FCP} = \frac{(945,73 * 0,65) * 0,1}{0,09} = 683,02 \text{ N}$$

#### 3.5.5. Fuerza ejercida por el cáliper sobre el pistón

El análisis permite dimensionar con precisión la fuerza requerida para que el cáliper, a través del pistón, genere una presión efectiva sobre el disco, superando el coeficiente de fricción entre las pastillas y el disco. Se utiliza la siguiente expresión:

$$F_{CALIPER} = \frac{F_{FCP}}{\mu} \quad (9)$$

$$F_{CALIPER} = \frac{683,02}{0,4} = 1707,55 \text{ N}$$

#### 3.5.6. Presión ejercida sobre el pistón ( $P_r$ )

La presión ejercida sobre el pistón del cáliper es un parámetro fundamental dentro del sistema de frenos hidráulicos. Este valor representa la fuerza que debe ser aplicada por el fluido

hidráulico en el interior del cilindro maestro para generar la fuerza necesaria en el cáliper, la cual posteriormente será transmitida al disco mediante las pastillas.

$$P_R = \frac{F_{CALIPER}}{2 * A_{cp}} \quad (10)$$

$$P_R = \frac{1707,55}{2 * 0,000615} = 1,388 \text{ MPa}$$

### 3.5.7. Brake torque (Torque de Frenado)

El torque de frenado es una magnitud fundamental en el análisis del sistema de frenos de un vehículo, ya que representa la capacidad del sistema para generar una fuerza de oposición al movimiento rotacional de las ruedas. Este análisis es vital en vehículos ligeros como los Go Karts, donde las condiciones dinámicas y la eficiencia del sistema de frenado pueden marcar la diferencia entre un rendimiento óptimo y un posible fallo mecánico.

$$T = F_{NR} * \mu * R_{DISCO} \quad (11)$$

$$T = 945,73 * 0,65 * 0,1 = 61,47 \text{ Nm}$$

### 3.5.8. Fuerza sobre el cilindro maestro

Esta fuerza representa el esfuerzo necesario para accionar hidráulicamente el sistema de frenos y garantizar una adecuada respuesta del vehículo durante la frenada.

$$F_{mc} = P_R * A_{mc} \quad (12)$$

$$F_{mc} = 1,388 * 0,000288 = 399,74 \text{ N}$$

### 3.5.9. Fuerza aplicada sobre el pedal ( $F_p$ )

El presente análisis tiene como objetivo determinar la fuerza que debe ejercer el conductor sobre el pedal de freno para generar la presión hidráulica requerida en el cilindro maestro, que a su vez actúa sobre los pistones de las mordazas de freno.

$$F_p = F_{mc} * \left( \frac{B_{pedal}}{A_{pedal}} \right) \quad (13)$$

Donde:

- $B_{pedal} = 0,02 \text{ m}$  : Distancia desde el fulcro hasta el cilindro maestro
- $A_{pedal} = 0,15 \text{ m}$  : Distancia desde el fulcro hasta el punto donde el conductor aplica la fuerza.

$$F_p = 399,74 * \left( \frac{0,02}{0,15} \right) = 53,30 \text{ N}$$

### 3.6. ANÁLISIS TÉRMICO

El análisis térmico en un sistema de frenos tiene como finalidad determinar la cantidad de energía disipada en forma de calor durante el proceso de frenado. Esta disipación se genera principalmente por la fricción entre las pastillas y el disco de freno. Además, ayuda a verificar si los materiales seleccionados soportarán las temperaturas generadas, evitando deformaciones o fallas por fatiga térmica.

#### 3.6.1. Ecuación de distribución de energía

La energía cinética del vehículo se disipa en tres componentes principales durante el frenado:

$$KE = \text{Pérdida de calor} + \text{Pérdida por fricción} + \text{Trabajo realizado} \quad (14)$$

Para efectos de este análisis, se enfoca la atención en la pérdida de calor, que es el componente dominante en sistemas de frenos por fricción.

#### 3.6.2. Pérdida de calor

La ecuación que se utiliza es:

$$PC = F_{FCP} * \text{Velocidad} * \text{Tiempo} \quad (15)$$

El valor de velocidad empleado en el análisis térmico del sistema de frenado corresponde a 16.67 m/s, equivalente a 60 km/h, el cual ha sido seleccionado como condición estándar de prueba dinámica para simular un escenario representativo de operación del go-kart.

El valor del radio efectivo de la rueda adoptado en el presente análisis es de 139.7 mm (0.1397 m), correspondiente a una llanta de 11 pulgadas de diámetro exterior, típica en el diseño y construcción de go-karts de competición y prototipos académicos.

La velocidad en el punto de contacto del disco se determina mediante:

$$V = \frac{V_{RUEDA} * R}{R_{RUEDA}} \quad (16)$$

$$V = \frac{16,67 * 0,09}{0,1397} = 10,74 \text{ m/s}$$

#### 3.6.3. Cálculo final de pérdida de calor:

$$PC = 683,02 \text{ N} * 10,74 \text{ m/s} * t = 7335,635 \text{ J} * t$$

#### 3.6.4. Pérdida por fricción

La pérdida por fricción representa la energía disipada como calor debido al rozamiento entre el sistema de frenos (pastillas y disco) durante el frenado. Esta pérdida depende directamente de la fuerza normal ejercida, el coeficiente de fricción, la velocidad de la rueda y el tiempo.

$$PF = W * \mu * V_{RUEDA} * t \quad (17)$$

$$PF = 188 * 9,81 * 0,65 * 16,67 * t = 19983,7 J * t$$

### 3.6.5. Trabajo realizado

El trabajo realizado representa la energía utilizada para desplazar el vehículo durante el proceso de frenado, considerando tanto la velocidad inicial como la aceleración negativa (deceleración).

$$T = F * d \quad (18)$$

En sistemas dinámicos como el de un go-kart, el desplazamiento durante el frenado puede determinarse utilizando la ecuación de cinemática:

$$s = u * t - \frac{1}{2}at^2$$

Se aplica esta fórmula para estimar la energía que se disipa en forma de trabajo mecánico útil hasta detener completamente el vehículo. Por lo tanto, se obtiene la siguiente formula:

$$T = (m * a) \left( u * t - \frac{1}{2}at^2 \right) \quad (19)$$

$$T = (188 * 3,045)(16,67 * t - 1,522 * t^2)$$

$$T = (9542,9 * t - 871,28 * t^2) * J$$

### 3.6.6. Energía Cinética

El análisis de energía cinética (EC) es esencial para comprender la cantidad total de energía que debe ser disipada por el sistema de frenado durante la detención del vehículo.

$$KE = \frac{1}{2} * m * v^2 \quad (20)$$

$$KE = 0,5 * 188 * (16,67)^2 = 26121,56 J$$

Sustitución en la ecuación de distribución de energía

$$KE = \text{Pérdida de calor} + \text{Pérdida por fricción} + \text{Trabajo realizado} \quad (21)$$

$$26121,56 = (7335,635 J * t) + (19983,7 J * t) + (9542,9 * t - 871,28 * t^2)$$

$$26121,56 = 36861,935 * t - 871,28 * t^2$$

$$t = 0,72 \text{ seg}$$

### 3.6.7. Análisis de la Distancia de Frenado

La distancia de frenado representa el recorrido total que realiza un vehículo desde que se aplica el freno hasta que se detiene por completo.

$$s = \left( \frac{u + v}{2} \right) * t = \left( \frac{16,67 + 0}{2} \right) * 0,72 = 6 \text{ m}$$

### 3.6.8. Área de fricción efectiva

En el sistema de frenos de disco, el área de fricción efectiva representa la zona de contacto entre las pastillas de freno y la superficie del disco. Esta área es fundamental para calcular la disipación térmica, el desgaste de materiales y la capacidad de frenado efectiva.

$$Área_{fricción} = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} \quad (22)$$

$$Área_{fricción} = \frac{\pi(200^2 - 152^2)}{4} = 13270,09 \text{ mm}^2$$

### 3.6.7. Área total de fricción en el disco de freno

Esta área es crítica en el diseño y análisis térmico del sistema de frenado, ya que influye directamente en la distribución de calor, la eficiencia del frenado y la durabilidad del sistema.

$$Área_{total} = Área_{fricción} * 2 \quad (23)$$

$$Área_{total} = 13270,09 * 2 = 26540,17 \text{ mm}^2$$

### 3.6.8. Análisis de Heat Flux

El flujo de calor en un sistema de frenos se refiere a la tasa a la cual se transfiere energía térmica desde el disco de freno hacia el ambiente, a través de la fricción durante la frenada. Se parte de la ecuación de cinemática:

$$v = u + a * t \quad (24)$$

$$v = 16,67 + (-3,045)t; \quad t = 5,47 \text{ seg}$$

### 3.6.9. Cálculo de brake power:



$$Brake\ Power = \frac{KE * Distribución\ de\ Peso}{Tiempo\ de\ frenado} = \frac{26121,56 * 0,45}{5,47} = 2148,94\ Watts$$

### 3.6.10. Cálculo de Heat Flux

$$q = \frac{Potencia\ de\ frenado}{Área\ de\ fricción\ total} \quad (25)$$

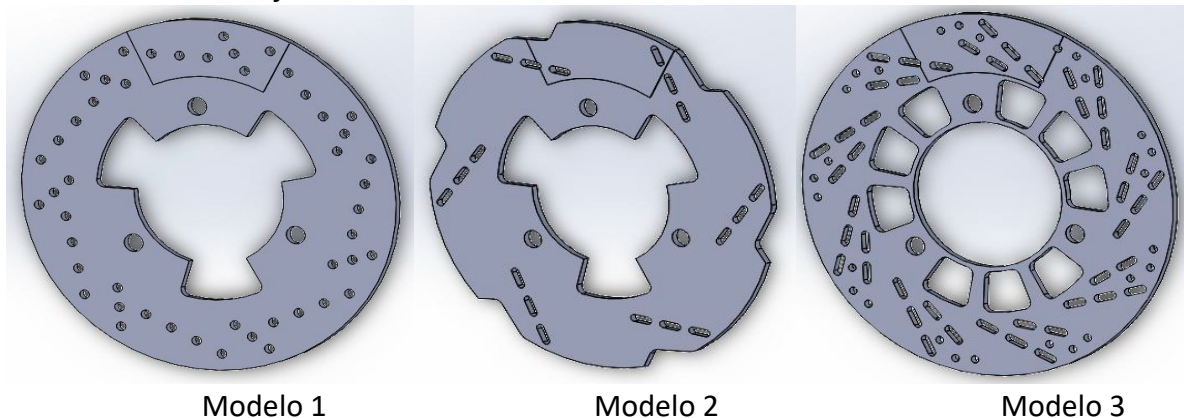
$$q = \frac{Potencia\ de\ frenado}{Área\ de\ fricción\ total} = \frac{2148,94}{0,03} = 71631,33\ W/m^2$$

## 3.7. MODELOS DISEÑADOS PARA EL ESTUDIO DE CASO

Se diseñaron tres modelos en SolidWorks con el objetivo de realizar el análisis del rotor de freno. Todos los modelos comparten el mismo diámetro exterior y las mismas geometrías de montaje. Las diferencias entre ellos radican en el perfil del disco y en el diseño de los orificios de ventilación distribuidos sobre la superficie del rotor.

**Figura 1.**

*Modelos de disco de freno*



### 3.7.1. MODELOS MALLADOS

Los tres modelos fueron mallados en el software SolidWorks, utilizando elementos tipo tetraedro. Para ello, se aplicaron los siguientes criterios de calidad de malla que aseguran una correcta precisión en los análisis estructurales y térmicos:

**Tabla 4.**

Criterios de calidad de malla

Parámetro	Valor asignado
Tipo de elemento	Tetraedros
Tamaño del elemento	1 mm
Semilla de tamaño inicial	Ensamblaje activo
Suavizado	Medio
Transición	Rápida

**Tabla 5.**

Número de nodos y elementos

Modelo	Número de nodos	Número de elementos
1	25965	13541
2	19757	9982
3	30948	15784

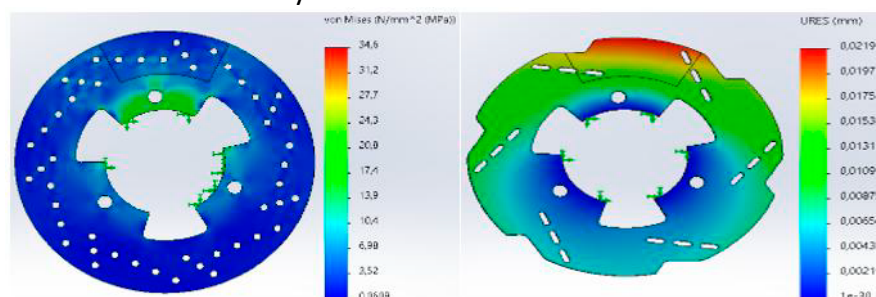
### 3.7.2. ANÁLISIS ESTRUCTURAL ESTÁTICO

A partir de los cálculos realizados, se determina que la fuerza ejercida sobre el disco por cada pastilla de freno es de 945 N por cada lado. Por razones de viabilidad económica se seleccionó Hierro Gris como material para el diseño del disco. Las dimensiones de las pastillas de freno fueron medidas y su perfil fue replicado sobre las superficies del disco. Se aplicaron tres restricciones fijas en puntos de montaje del disco, y la fuerza fue aplicada en la superficie de contacto de la pastilla.

Se evaluaron las deformaciones y los esfuerzos equivalentes inducidos en el disco para los tres modelos desarrollados. Los resultados de simulación para cada modelo incluyen el comportamiento estructural bajo carga estática, y una tabla comparativa resume los valores obtenidos.

**Figura 2.**

Análisis de Von Mises y Deformación



Modelo 1

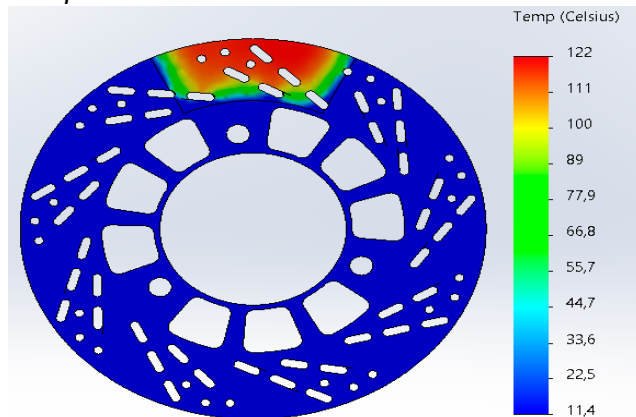
Modelo 2

### 3.7.3. ANÁLISIS TÉRMICO EN ESTADO ESTACIONARIO

A partir del cálculo realizado, se determinó que el flujo de calor generado es de 71631 W/m<sup>2</sup>. Este valor se aplica como fuente de calor en la superficie de contacto con la pastilla de freno. Para el análisis térmico se seleccionaron las propiedades del material hierro fundido gris, debido a su viabilidad económica y sus características térmicas adecuadas para este tipo de aplicación. El análisis se llevó a cabo con el objetivo de determinar la distribución de temperatura dentro del disco de freno durante condiciones de operación en estado estacionario.

**Figura 3.**

*Temperatura “Modelo 3”*



### 3.7.4. COMPARACIÓN DEL ANÁLISIS EN ESTADO ESTACIONARIO

**Tabla 6.**

Comparación de Resultados del Análisis Estructural y Térmico

Resultados	Análisis Estructural Estático				Análisis Térmico en Estado Estacionario	
	Deformación Total (mm)		Esfuerzo Equivalente (MPa)		Distribución de Temperatura (°C)	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Modelo 1	0	0,0204	0,0609	34,6	11,4	126
Modelo 2	0	0,0219	0,021	39,4	11,4	127
Modelo 3	0	0,0495	0,0322	83,8	11,4	122

El Modelo 1 es seleccionado por ofrecer el mejor equilibrio entre resistencia mecánica y comportamiento térmico. Presenta la menor deformación y el esfuerzo equivalente más bajo, lo que garantiza una mayor integridad estructural bajo carga. Aunque no es el más eficiente térmicamente, su temperatura máxima (126 °C) está dentro de un rango aceptable y seguro. Esta combinación lo convierte en la alternativa más confiable y robusta para aplicaciones de frenado exigente.

#### 4. DISCUSION

El análisis computacional de los tres modelos de discos de freno para go-karts eléctricos, desarrollado mediante simulación en SolidWorks Simulation, permitió evaluar su comportamiento estructural y térmico bajo condiciones representativas de operación. Los resultados obtenidos evidencian diferencias significativas en la respuesta de cada modelo frente a esfuerzos mecánicos y distribución térmica, permitiendo establecer criterios comparativos para la selección del diseño más eficiente.

En términos de esfuerzo equivalente de Von Mises, el Modelo 3 presentó una mejor distribución de esfuerzos, sin concentraciones críticas que pudieran comprometer su integridad estructural. A diferencia del Modelo 1, que mostró concentraciones localizadas en las áreas cercanas a las perforaciones circulares, el diseño de nervaduras y orificios aligerados en el Modelo 3 permitió una disipación más homogénea de las tensiones mecánicas, lo que se traduce en un factor de seguridad (FOS) superior, tal como se muestra en la Figura 10 del artículo.

Desde el punto de vista térmico, el Modelo 2 evidenció una mayor acumulación de temperatura en la región central del disco, lo que puede deberse a su geometría más cerrada y menor cantidad de canales de ventilación. En contraste, el Modelo 3, al incorporar aberturas radiales y una geometría más abierta, facilitó la disipación del calor generado durante el frenado, mostrando una temperatura máxima inferior a la de los otros modelos, como se aprecia en la Figura 12. Esta característica resulta crucial en entornos de alta exigencia térmica como las competencias de karting, donde la fatiga térmica puede afectar negativamente el rendimiento del sistema de frenos.

El diseño del Modelo 3 también destaca por su balance entre rigidez estructural y reducción de peso. Mientras que el Modelo 1, aunque estructuralmente estable, posee una distribución geométrica más tradicional que limita el flujo de aire, el Modelo 3 representa una solución más innovadora, al combinar eficiencia estructural con disipación térmica mejorada. Esta observación concuerda con estudios previos como los de Krishnamoorthi et al. (2020) y Dere et al. (2021), que destacan la importancia de integrar consideraciones térmicas en el diseño de discos de freno para vehículos de pequeña escala.

Asimismo, la utilización de herramientas de simulación basadas en el método de elementos finitos permitió validar el rendimiento de cada diseño sin necesidad de recurrir a prototipos físicos en las etapas iniciales, lo que optimiza tiempos y recursos en el proceso de ingeniería. El enfoque adoptado demuestra que el diseño conceptual asistido por simulación permite prever fallas potenciales y mejorar el desempeño global del componente antes de su fabricación.

#### 5. CONCLUSIONES

El análisis estructural realizado con SolidWorks Simulation permitió validar que los tres modelos de disco de freno soportan adecuadamente las cargas aplicadas sin riesgo de falla estructural. Los resultados de esfuerzo equivalente (Von Mises) mostraron valores máximos de 34,6 MPa

para el modelo 1, 39,4 MPa para el modelo 2 y 83,8 MPa para el modelo 3, todos ellos por debajo del límite elástico del hierro fundido gris ( $\approx 130$  MPa). Esta diferencia evidencia un margen de seguridad superior al 35 % en todos los casos, confirmando la fiabilidad del diseño frente a condiciones reales de operación.

El estudio computacional evidenció que la deformación total se mantiene dentro de rangos seguros en los tres modelos. Los valores máximos registrados fueron de 0,0204 mm en el modelo 1, 0,0219 mm en el modelo 2 y 0,0495 mm en el modelo 3, lo que indica que incluso el diseño más crítico presenta desplazamientos mínimos que no comprometen la geometría del disco ni su desempeño funcional. Estos valores confirman que la estructura del disco mantiene rigidez y estabilidad durante ciclos repetidos de frenado.

La simulación térmica demostró la importancia de la geometría en la disipación de calor. Se encontró que la distribución de temperatura máxima fue de 126 °C en el modelo 1, 127 °C en el modelo 2 y 122 °C en el modelo 3, evidenciando que este último diseño favorece la evacuación del calor acumulado gracias a su configuración con múltiples perforaciones y ranuras radiales. Este comportamiento reduce el riesgo de fatiga térmica y deformaciones permanentes, factor crítico para la seguridad del sistema de frenado.

Al comparar cuantitativamente los tres modelos, el modelo 3 se posiciona como el diseño más eficiente, combinando menor acumulación térmica (122 °C), mejor distribución de esfuerzos (83,8 MPa sin concentraciones críticas) y adecuado margen de deformación (0,0495 mm). Aunque su esfuerzo máximo es mayor que en los otros modelos, este se distribuye homogéneamente y no supera el límite del material, confirmando su capacidad para operar en condiciones exigentes con mayor seguridad térmica y estructural.

El uso combinado de modelado CAD y análisis FEM permitió evaluar de forma integral tanto el comportamiento estructural como térmico de los discos antes de su fabricación, reduciendo significativamente los tiempos y costos de desarrollo. Los resultados numéricos obtenidos (esfuerzos  $\leq 83,8$  MPa, deformaciones  $\leq 0,0495$  mm, temperaturas  $\leq 127$  °C) demuestran que la simulación es una herramienta confiable para la optimización geométrica y funcional de sistemas de freno en go-karts eléctricos de alto rendimiento, cumpliendo con estándares de ingeniería y aportando evidencia cuantitativa robusta para su implementación práctica.

## 6. REFERENCIAS

- Abhiteja, P., Kumar, K. S., Krishna, K. S., & Kumar, Y. A. (2019). Design, simulation of steering system for a go kart vehicle. AIP Conference Proceedings,
- Bala Subramanyam, P. N. V., Rao, B. N., Siva Prasad, K. V. S. L., & Naga Sree Harsha, O. (2019). Transmission and braking system in Go-kart [Article]. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, 9, 737-744. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85063670195&partnerID=40&md5=72c702a5ddd3003d3039cfa3e654e841>

- Karthi Vinith, K. S., & Sathiamurthi, P. (2020). Design and fabrication of adaptive spoiler for go-kart vehicles [Article]. *International Journal of Scientific and Technology Research*, 9(3), 2044-2049. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85082516659&partnerID=40&md5=baaeef862947aec240de2cb85e172440>
- Naren, K. S. S., Santhosh, K. S., Ilamparithi, M., Srisakthivel, S., & Sudhakar, M. (2024). Design and Analysis of Brakes in Go-kart Vehicle. SAE Technical Papers,
- Razak, M. S. A., Ahmad, F., Hasan, M. H. C., & Jamaluddin, H. (2023). Dynamic Testing of In-Wheel Motor Based Electric Vehicle in Longitudinal Direction [Article]. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 20(3), 10574-10594. <https://doi.org/10.15282/ijame.20.3.2023.02.0816>
- Tofrowaih, K. A., Abdullah, M., Toha, S. F., & Rahman, A. (2025). Longitudinal Dynamics Modeling of an Electric Go-Kart and Analysis of Regenerative Braking under Various Braking Profiles using MATLAB Simulink [Article]. *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 22(3), 12586-12602. <https://doi.org/10.15282/ijame.22.3.2025.5.0962>
- Tripariyanto, A. Y., Indrasari, L. D., Widodo, S. V., & Komari, A. (2020). Disc Brake Type of Braking System on Rear Shaft of Go-kart Daiho 7.5 HP. *Journal of Physics: Conference Series*,
- Yuvaraaj Kumar, S., Srivarshani, P., Nitin Sanjeeth, S. V., & Sudhakar, M. (2024). Design and Optimization of the Steering System in Go-Kart. SAE Technical Papers.

## Diagnosis of nickel-metal hydride batteries from Toyota Prius for their reuse as a storage source for a photovoltaic system using solar panels

## Diagnóstico de baterías de níquel-metal hidruro de Toyota Prius para su reutilización como fuente de almacenamiento para un sistema fotovoltaico por medio de paneles solares

Cristian Orozco Soto<sup>1</sup>, Ronal Guamanarca Vasques <sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano, Quito, Ecuador*  
E-mail: ferchojuni06@gmail.com

<sup>2</sup>*Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano, Quito, Ecuador*  
E-mail: franciscoguamanarca678@gmail.com

Recibido: 25/09/2025

Aceptado: 10/12/2025

Publicado: 30/12/2025

### RESUMEN

Esta investigación aborda el estudio del mantenimiento técnico con una comparativa de un mantenimiento empírico para poder proceder a la reutilización de baterías de níquel-metal hidruro (NiMH), utilizadas como fuente de almacenamiento de un sistema fotovoltaico, que por motivos de falta de mantenimiento fueron dadas de baja para el vehículo, pero poder conseguir que puedan tener una segunda vida útil como una fuente de almacenamiento de energía para esto se considerara concentrar nuestra investigación. en aspectos importantes como, el mantenimiento de bornes diferenciándolos de una forma técnica y una forma empírica, diagnostico, equipo de protección, revisión de carga y descarga, datos de voltaje y amperaje, conexiones, modelo de celdas y en que vehículo se aplica. Durante este proceso utilizamos un consumidor para poder recolectar datos del trabajo que contiene el proceso de carga y descarga de las celdas y si el proceso de mantenimiento tiene algún efecto dentro de este. Los resultados permitieron establecer que si existe una diferencia entre la carga y descarga con la aplicación de los dos métodos esto nos da cierta sustentabilidad con nuestra investigación.

**Palabras clave:** Mantenimiento, diagnostico, datos, resultados, conexiones.

### ABSTRACT

This research addresses the study of technical maintenance, comparing it with empirical maintenance, to facilitate the reuse of nickel-metal hydride (NiMH) batteries. These batteries, used as energy storage in photovoltaic systems, were decommissioned from the vehicle due to lack of maintenance. The aim is to give them a second life as energy storage. To achieve this, our



research will focus on key aspects such as terminal maintenance, differentiating between technical and empirical methods, diagnostics, protective equipment, charging and discharging checks, voltage and amperage data, connections, cell models, and the specific vehicle in which they are applied. During this process, we used a consumer to collect data on the charging and discharging process of the cells and whether the maintenance process had any effect on it. The results established that there is a difference in charging and discharging performance with the two methods, thus supporting our research.

**Index terms:** Maintenance, diagnostics, data, results, connections.

## 1. INTRODUCCIÓN.

La batería iones de litio son un tipo de batería que tiene menor auto descarga que otro tipo de baterías y requiere sólo una carga regular y poco mantenimiento. En estas baterías son más utilizadas para vehículos eléctricos por su pequeño tamaño y menor peso, debido a que el Litio es un metal de naturaleza liviana, pero tiene una desventaja que son muy propensas a calentarse, hacer corto circuito y lo más riesgoso a explotar. (Valnevar, Ingeniantes, 2023)

Una de las características destacadas es por su larga vida. Por ejemplo, las baterías de iones de litio ELB están diseñadas para recargarse cientos de veces, ofreciendo una durabilidad admirable, sin embargo, es importante considerar las condiciones ambientales en la que se encuentre ya que esto puede afectar significativamente su desempeño y su vida útil. En el caso de los vehículos eléctricos su batería de litio puede durar hasta 15 años demostrando vigor y fiabilidad en comparación a baterías antiguas.

Para el medio ambiente las baterías presentan un desafío reciclarlas ya que es muy complicado recuperar el litio lo que hace que su reciclaje no sea común. Desechar las pilas puede liberar sustancias tóxicas que afectan la vida de los seres vivos, es por eso que existen múltiples programas de reciclaje y ecológicos que concientizan y ayudan a solucionar este problema.

Las baterías de Níquel- Metal Hidruro (Ni-HM) son muy utilizadas en vehículos híbridos (HEV) y eléctricos (EV) debido a sus grandes ventajas, pero tiene una diferencia con las baterías de iones de litio por su densidad de energía la cual no es tan alta, lo que permite tener una capacidad de almacenar energía y pueden soportar un gran ciclo de cargas y descargas siempre y cuando la tasa de descarga de la batería no sean tan altas, y estas pueden trabajar a una cierta temperatura que no pase de los 30°C.

Estas son muy amigables para el medio ambiente sus ventas subieron en un 5% en el año 2002 a 2012 estos emplean electrodos hechos de hidruro de metal e hidróxido de Níquel, así como un electrolito alcalino y su facilidad de transportarlas y su bajo peso. El reciclaje de batería debe ser un proceso cuidadoso debido al deterioro de la batería que contiene materiales tóxicos, corrosión de electrolitos y plásticos de residuos mezclados obstaculizan la reutilización de estos elementos (Arévalo, 2022).

Tienen una densidad de energía mayor que las baterías de plomo-ácido, pero menor que las de

iones de litio. Las baterías NiMH son conocidas por su fiabilidad y seguridad, pero están siendo gradualmente reemplazadas por la tecnología de iones de litio, son más utilizadas en marcas como Toyota Rav4, Honda Insight, Honda Civic, Peugeot 3008, Lexus RX, entre otros.

La batería de Plomo-Ácido (BPA) es la más utilizada en vehículos de combustión interna y trabajos industriales por su bajo costo. Contienen electrodos hechos de plomo y óxido de plomo, así como un ácido fuerte como electrólito. Su construcción es simple y existe disponibilidad de técnicas para su reciclaje a comparación de las tecnologías más actuales, pero por otra parte tiene sus desventajas las cuales son la sulfatación de los electrodos negativos y corrosión de las rejillas positivas. (Valnevar, Ingeniantes, 2023)

Estas baterías desde hace décadas el sistema establecido para almacenar y suministrar la energía eléctrica que consumen los automóviles de todo el mundo. Esta función ha hecho que dicha batería llegue a ser importante, si tenemos en cuenta su producción anual: cada año se fabrican en el mundo entre 300 y 350 millones de baterías de plomo-ácido. En peso, este volumen de producción se traduce en que se fabrican más de 5 millones de toneladas (alrededor del 90% en peso del total de baterías, pilas y acumuladores fabricados anualmente en el mundo) (Steli, 1997)

El cobre es un material necesario para la producción de la energía debido a que este material es de transición el cual podemos encontrar en la tabla periódica con el símbolo (Cu), el cual utilizamos debido a su alta conductividad eléctrica y térmica, siendo fundamental en cables eléctricos, circuitos integrados. Etc.

A medida que el sector automotriz avanza rápidamente hacia la electrificación, un material se destaca como esencial para el rendimiento, la seguridad y la eficiencia energética: el cobre. Desde las baterías hasta la electrónica de potencia, el cobre es fundamental para la era del vehículo eléctrico (VE). Su baja resistencia eléctrica reduce activamente la pérdida de potencia, lo que aumenta la autonomía de los vehículos eléctricos. En sistemas de alto voltaje, donde cada vatio cuenta, la conductividad del cobre se traduce directamente en eficiencia (Hipchen, 2025).

Dentro del modelo Toyota Prius Hybrid, cuenta con un sistema híbrido TOYOTA HDS (Hybrid Synergy Drive) combina la potencia otorgada por un motor naftero convencional con la de un motor/generador eléctrico que permite adaptarse a cualquier condición de manejo. Durante el trabajo, el motor naftero otorga potencia a las ruedas y permite el funcionamiento del generador que da energía al motor eléctrico brindando más potencia al vehículo (TOYOTA ARGENTINA S.A, 2024).

La batería es de níquel-metal hidruro (Ni-HM) con un voltaje (pack de batería) 201.6v donde se encuentran conectadas en serie 168 celdas (28 módulos) con una capacidad AH (amperios hora) 6.5Ah que entrega una potencia máxima de 26CV (27kW) que combinado con el motor eléctrico y el motor naftero genera una potencia máxima de 122CV (90kW) dentro del sistema híbrido auto recargable (Toyota CO , 2017).

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS / DESARROLLO

A continuación, se detalla los materiales y la metodología aplicada en la investigación enfocada en el mantenimiento posterior al diagnóstico de las celdas encontradas con una sulfatación excesiva por el cual se dieron de baja para volverlas a aplicar en el vehículo, pero cuenta con la capacidad suficiente para servir como almacenamiento de energía

### 2.1 Materiales

La investigación utilizó materiales especializados para la limpieza de sulfatación encontradas en las placas de cobre y en los bornes de las celdas. Aquí dividiremos los materiales utilizados para un mantenimiento técnico y para un mantenimiento empírico. A su vez también se presentarán los materiales utilizados para la conexión de los módulos.

#### PARA MANTENIMIENTO TECNICO (CELDAS Y BORNES)

##### Muriatol ácido muriático

Muriatol Ácido Muriático es un producto ecuatoriano se compone de ácido clorhídrico concentrado con una densidad aproximada de 1.09-1.10g/cm<sup>3</sup> y punto de ebullición de 105°C a 750mmHg, (wascorps.a, 2020) brinda una eliminación de sarro, salitre, hongos y moho, también actúa como un removedor de manchas de cemento, pintura entre otros. La elección de este producto es por la efectividad al momento de eliminar esa corrosión excesiva que se encuentra en las placas de cobre que es por donde pasa la electricidad hacia las demás celdas.

##### Figura 1

*Muriatol Ácido Muriático Sello Azul*



*Nota:* Producto especificado por taller automotriz encargado del mantenimiento de vehículos híbridos y eléctricos.

##### Silicone spray

Silicone spray de la compañía Cyclo es un lubricante que protege, lubrica y sella, resiste temperaturas de -40°C a 204°C, es una fórmula a base de silicona sin aceites ni grasa, que seca rápidamente y concentra un 200% de silicona a diferencia de otros productos, previene la

adherencia y congelación contra los elementos, es muy utilizado en el ámbito automotriz.

Pero se debe tener en cuenta la manipulación de este producto ya que puede causar varios problemas hacia el usuario por inhalación, ingestión o al contacto con la piel, principalmente si esto ocurre, se debe trasladar a la vística al aire fresco inmediatamente y conseguir atención médica, los principales síntomas son mareos, vómitos, vértigo, desorientación, irritación dependiendo la manera que ocurra el altercado. (CYCLO, 2012)

## Figura 2

*Silicone Spary*



*Nota:* Sellado líquido que ayuda a la protección de componentes electrónicos.

## PARA MANTENIMIENTO EMPIRICO (SOLO CELDAS)

### Papel de lija grano fino N°400

Fabricada en carburo de silicio, alta remoción con menor esfuerzo con respaldo flexible de papel impermeable antideslizante de larga duración, lijado húmedo que evita el tapado prematuro, ideal para superficies de plástico, vidrio, metal no ferroso, lacas y pintura, utilizable en trabajo seco o húmedo, permite un acabado homogéneo (TRUPER, 2025).

### 3 en Uno Técnico Limpiador de Contactos

Producto químico que limpia, lubrica y protege equipos electrónicos y electrónicos como conectores, interruptores y circuitos impresos, elimina la suciedad en equipos, actúa sin dejar residuos y de rápido secado, alta rigidez dieléctrica y es un producto certificado NSF K1 K2 Y K.3.

Es de aspecto líquido claro, un olor a petróleo, punto de ebullición 90-140°C, punto de inflamación 16°F, compuestos orgánicos volátiles 91-95% LIE (límite inferior de explosión) 0.9% y LSE (límite superior de explosión) 9.5%, presión de evaporación 40-50 psi a 21.1°C, densidad relativa 0.697 a 21.°C y presión al vapor mayor que 1, es insoluble al agua (3-EN-UNO, 2021).

**Figura 3**

*Limpia Contactos y papel de lija*



**Nota:** Productos comprados para aplicar un mantenimiento empírico para la recolección de datos

## **MATERIALES PARA LA CONEXIONES DE LAS CELDAS**

### **Conectores (cable flexible n°14) y aranceles de conexión**

Para conectar todas las celdas, se utilizan conectores y aranceles de interconexión ya que son estos los que garantizan una conexión confiable y eficiente en todas las celdas entre sí, ya que la señal eléctrica pasara sin tener alguna perdida significativa. Estos componentes generalmente están fabricados de materiales conductores, como el cobre y están aislados para evitar cortocircuitos y accidentes que puedan ocurrir al momento del funcionamiento.

### **Protectores plásticos**

Estos protectores garantizaran una seguridad actuando como un aislante extra por si algún conector llegar a ceder o una pieza metálica pudiera topar los bornes de nuestras celdas lo que podría causar un accidente ya que estas celdas se encuentran completamente cargadas y al momento de realizar la conexión el voltaje también se elevar, dañando las celdas y también partes de nuestro cuerpo.

### **Termo fundente**

Para más protección de los conectores se aplica el termo fundente el cual es fabricado de un material poliolefínico de alta calidad, con revestimiento interior de adhesivo termofusible que asegura una excelente sellado y protección contra humedad y contaminantes. Este garantiza que el procedimiento de conexión no llegue a topar con otros conectores o con alguna fuente externa de energía.



**Figura 4 y 5.**

*Conectores con termo fundente*



**Nota:** Para la diferenciación de los cables, se optó por cables negros positivos y cables rojos negativos.

## 2.2 Metodología

### Mantenimiento Técnico

#### Limpieza placas de cobre con aplicación de productos técnicos

Una vez retirado todas las placas de cobre donde se aprecia la sulfatación, se procede a colocar en un recipiente con sellado o tapa, donde aplicaremos el producto Muriatol Ácido Muriático en cantidad de 75ml a 100ml o dependiendo el número de celdas que se vayan a limpiar, se procede a realizar un movimiento de agitación el que nos ayuda que nuestro producto actúe por todas las partes que se encuentran sulfatados este proceso dura 2 a 4 minutos aproximadamente. (Figura 1)

**Figura 6.**

*Aplicación del producto Muriatol.*



**Nota:** se aplica un enjuague para la eliminación de pequeños residuos que queden sobre la superficie de las placas

Procedente a esto desechamos el líquido Muriatol y aplicamos dos enjuagues con agua para eliminar restos de contaminantes que afecten el paso de corriente que fueron expuestos por el

ácido muriático, aplicamos un secado a las placas de cobre con un mantel o trapo seco. Para poder aplicar el producto Silicone Spray (figura 2) que ayudara a la protección y sellado de las placas, se pone una cantidad moderada que cubra toda la capa de las placas para brindar un mayo sellado y una protección, esto se puede notar por el brillo que deja en las placas.

**Figura 7.**

*Placas de cobre limpias.*



**Nota:** Se puede notar un brillo que se debe a la capa protectora de Silicone Spray.

#### **Limpieza de bornes con aplicación de productos técnicos**

Dentro del mantenimiento de estos bornes de las celdas, no tenemos una normativa en general, pero en nuestro caso encontramos un poco de sulfatación con la aplicación de WD40 o el Silicone Spray aplicamos una pequeña cantidad para que se elimine esta sulfatación, con ayuda de una pistola de aire retiramos el exceso de estos líquidos y a su vez aumentamos el secado de esta componente para que no interfiera con el paso de la corriente a través de las placas de cobre.

**Figura 8**

*Limpieza de bornes de las celdas.*



**Nota:** La aplicación de este producto se debe hacer a una distancia de 25 a 30cm para evitar que entre en contacto con la piel, o salpique hacia los ojos y boca.

#### **Mantenimiento empírico**

##### **Limpieza de celdas con lija y limpia contacto.**

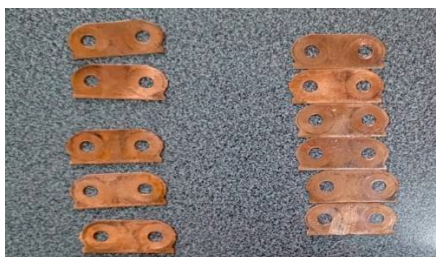
Dentro de este mantenimiento no aplica la información recolectada, ya que queremos encontrar una diferencia en el tipo de mantenimiento recordando que estas celdas no trabajan bajo una

normativa de cuidados.

Principalmente empezamos lijando la superficie de las placas de ambos lados para eliminar la sulfatación esta limpieza deberá ser a medida de la vista, lo que significa que decidiremos cual será la cantidad de eliminación de estos residuos sea suficiente, con ayuda del limpia contactos reducimos el esfuerzo para que el tiempo de trabajo también se vea reducido y brinde un poco de protección a las placas al momento de conectarlas.

#### **Figura 9.**

*Placas de cobre lijadas y limpias.*



***Nota:*** Se puede notar una opacidad en las placas de cobre.

#### **PROCESO DE CONEXIÓN DE CELDAS**

En este proceso se tiene en cuenta el tipo de conexión aplicada, se utiliza una conexión en serie, que nos permite tener 21.4-21.5V de presión eléctrica, replicamos esta conexión para crear 11 módulos de 3 celdas cada uno con la cantidad antes mencionada.

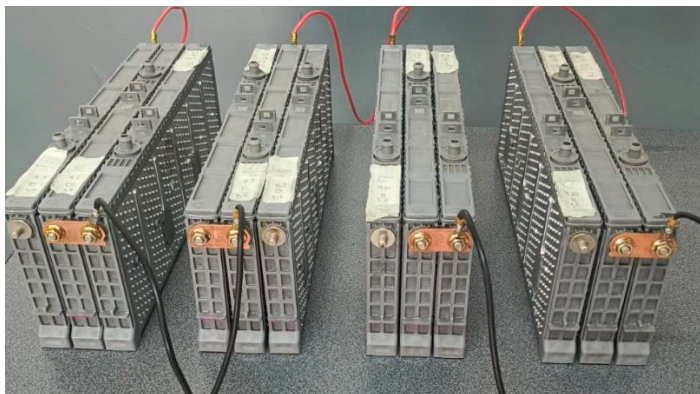
Al momento de colocar las placas de cobre se coloca de la siguiente forma:

Celda 1 borne negativo (-) con conector negro de 30cm, conexión celda 2 borne positivo (+).

Celda 2 borne positivo (+) conexión celda 3 borne negativo (-) con conector rojo 30cm.

#### **Figura 10.**

*Módulos conectados en serie.*



***Nota:*** Se obtuvo 8 módulos con aplicación de un mantenimiento técnico y 3 módulos con aplicación de mantenimiento empírico. Cada uno con conexión en serie.



### Tabla de rendimiento de los módulos

Para la verificación de los módulos en base a la rentabilidad la utilización de un consumidor de 24V/65W fue la clave para ver diferencias entre los mantenimientos técnicos y empíricos, arrojando datos de carga y descarga. Teniendo en cuenta que todos los módulos de 3 celdas se encontraban completamente balanceadas a 21.4-21.5V.

**Tabla 1**

*Tabla de medición de tiempo de cargar y descarga de los módulos.*

Módulo	Tiempo de descarga (hasta voltaje mínimo)	Tiempo de carga (hasta voltaje nominal)	Rendimiento
Módulo 1	2 horas 22 min	1 hora 18 min	Baja variación de carga.
Módulo 2	2 horas 23 min	1 hora 41 min	Mayor tiempo de carga.
Módulo 3	2 horas 20 min	1 hora 19 min	Rendimiento optimo.
Módulo 4	2 horas 18 min	1 hora 30 min	Variación en la carga mínimo.
Módulo 5	2 horas 20 min	1 hora 17 min	Mínimo tiempo de carga registrado.
Módulo 6	2 horas 21 min	1 hora 19 min	Variación mínima esperada.
Módulo 7	2 horas 22 min	1 hora 20 min	Rendimiento considerable.
Módulo 8	2 horas 17 min	1 hora 19 min	Cerca del rendimiento.
Módulo 9	2 horas 01 min	1 hora 22 min	Descenso en el tiempo de descarga.
Módulo 10	1 hora 50 min	1 hora 25 min	La variabilidad empírica es evidente (tiempo más bajo de descarga registrado).
Módulo 11	2 horas 16 min	1 hora 10 min	Mayor eficiente dentro de la carga

**Nota:** La tabla muestra variaciones en los últimos módulos donde se aplicó el mantenimiento empírico.

### 3. RESULTADOS

Como resultado de nuestra investigación, el proceso de mantenimiento técnico, logro una eliminación altamente efectiva contra la corrosión, mediante la acción química del ácido clorhídrico que se encuentra en el producto Muriatol en concentración de 75ml a 100ml utilizados, y gracias a la efectividad de protección y sellado de Silicone Spray nos da un acabado brillante más un sellado que garantiza que la corrosión no vuelva a producirse de una manera exuberante.

Ahora el mantenimiento empírico la corrosión de igual forma se eliminó completamente de las placas de cobre con ayuda del limpia contactos pero se debe de tener en cuenta de que el material también se ve afectado a pesar de dejar la superficie sin rallones pronunciados el bronce sobre también complicación donde el sellado será notable al momento de realizar la conexión y no garantiza una protección segura a un largo plazo, a su vez el tiempo de trabajo también se ve influenciado y es una medida que se debe tomar en cuenta.

Teniendo esto en cuenta lo podemos diferenciar de una forma más precisa al momento de realizar la conexión con un consumidor de 24V/65W, como lo explica en la Tabla 1 tenemos datos de tiempo de carga y descarga en todos los módulos, pero existe una gran diferencia, principalmente entre los tres últimos módulos; Dentro de los datos los módulos donde se aplica el mantenimiento técnico no existen una gran diferencia en ambos tiempos, sin embargo nos arroja datos estadísticos donde el tiempo de descarga equivale de 2horas 20 min a 2 horas 30min como el 54.54% de descarga promedio mientras que menos de 2horas 20min equivale 45.46% como descarga debajo del promedio.

Lo mismo ocurre con el tiempo de carga, pero notamos mucha más variedad donde el equivalente es de 1hora 19min a 1hora 30min como el 63.63% de carga equivalente, mientras que el módulo 2 (10%) es el único que tiene un tiempo de carga mucho más alto y el módulo 11 (10%) tiene un tiempo de carga mejor y el otro 16% restante equivale a los que se encuentran en un medio de todas las cargas.

### 4. DISCUSIÓN

Dentro del estudio de carga y descarga se puede relacionar con la mayoría de investigaciones, pero tenemos en cuenta que, los mismos se centran en baterías de níquel-metal hidruro en estado funcional dentro del vehículo, (ELIAN LINDAO, 2022) nos indica que el tiempo de carga y descargan son relacionadas a 2horas 25min en ambos caso lo que en nuestro proyecto tenemos gran variación en función de la carga ya que estas llegan a cargar en menos de 2horas, nos indica que en un trabajo óptimo de los módulos se llega a tener el mismo tiempo de carga y descarga para no afectar a la sobre cargar y llegar a dañar los módulos (pág. 45).

Hablemos de descarga de baterías (JOHANN HERNÁNDEZ, 2022) en la utilización de super capacitores con una carga constante de 22. 27 y 49 ohmios, permite una descarga mucho más

rápido, mostrado en una tabla de primera, segunda y tercera carga en ohmios, las descargas van de 1.36ohm, 1.65ohm y 2.90ohm esto nos da una información muy valiosa que es la utilidad que se dan a estas placas dependiendo el circuito, consumidor o cualquier dispositivo que requiera una demanda grande de energía, los módulos serán o no sustentables para el funcionamiento de los mismo (pág. 177, tabla 2).

## 5. CONCLUSIONES

En conclusión, la investigación se centra en la recuperación y reutilización de celdas de batería de níquel-metal hidruro con sulfatación excesiva, mediante la aplicación de dos metodologías de mantenimientos (técnico y empírico) dando como objetivo principal demostrar la capacidad funcional de celdas dadas de baja para un segundo ciclo de vida como fuente de almacenamiento.

Esto también interpreta la efectividad de los dos procesos de mantenimientos ya que el enfoque químico y especializado en la limpieza que nos ofrecen estos productos técnicos garantiza un menor tiempo de aplicación y una rentabilidad en términos de protección de estos componentes, a diferencia de otros productos accesibles que requiere un mayor tiempo de trabajo y mayor esfuerzo físico poniendo en duda la rentabilidad de funcionamiento, en función del tiempo en que estos módulos van a ser utilizados.

## 6. REFERENCIAS

3-EN-UNO. (6 DE ABRIL DE 2021). 3-EN-UNO. OBTENIDO DE [HTTPS://3ENUNO.LAT/PRODUCTO/3-EN-UNO-LIMPIADOR-DE-CONTACTOS/](https://3enuno.lat/producto/3-en-uno-limpiador-de-contactos/)

Arévalo, N. S. (2022). Reaprovechamiento de las baterías recargables utilizadas en los vehículos eléctricos de la ciudad de Bogotá basado en un enfoque de análisis del ciclo de vida. *Reaprovechamiento de las baterías recargables utilizadas en los vehículos eléctricos de la ciudad de Bogotá basado en un enfoque de análisis del ciclo de vida*, 132.

CYCLO. (June de 2012). *Cyclo Products That Werk*. Obtenido de [www.https://nidux-stores.s3.amazonaws.com/10794/c-33-ficha-de-seguridad-producto.pdf](https://nidux-stores.s3.amazonaws.com/10794/c-33-ficha-de-seguridad-producto.pdf)

ELIAN LINDAO, H. I. (2022). DESARROLLO DE UNA METODOLOGIA PARA LA NIVELACION DE CARGA DE BATERIAS DE NIQUEL METALHIDRURO. UTILIZADAS EN HEV DE MAYOR CONSUMO DEL ECUADOR. *UNIVERSIDAD PELITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL*, 95.

Hipchen, J. (Julio de 2025). Electrificación y eficiencia energetica:cobre.

JOHANN HERNÁNDEZ, E. G. (2022). ANÁLISIS TEÓRICO Y EXPERIMENTAL DELCOMPORTAMIENTO DE SUPERCONDENSADORES, BATERÍAS DE IONES DE LITIO Y METAL HIDRURO EN UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO AISLADO. *Revistas udistrial*, 11.

Steli, H. (1997). Lead-acid batteries: State of environmentally sound recovery and recycling. En H. Steli, *The Netherlannds*.

TOYOTA ARGENTINA S.A. (2024). *NIPPO CAR*. Obtenido de

<https://nipponcar.com.ar/modelos/prius/>

Toyota CO. (2017). *Toyota CO.* Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/[https://nipponcar.com.ar/wp-content/uploads/2017/11/FICHA\\_TECNICA\\_PRIUS\\_Baja.pdf](https://nipponcar.com.ar/wp-content/uploads/2017/11/FICHA_TECNICA_PRIUS_Baja.pdf)

TRUPER. (2025). *TRUPER S.A.* Obtenido de [https://www.truper.com/ficha\\_tecnica/Lijas-de-agua.html?code=11628](https://www.truper.com/ficha_tecnica/Lijas-de-agua.html?code=11628)

Valnevar, R. (2 de mayo de 2023). *Ingeniantes.* Obtenido de <https://citt.itsm.edu.mx/ingeniantes/articulos/ingeniantes10no1vol2/3.-%20An%C3%A1lisis%20Comparativo%20de%20los%20Diferentes%20tipos%20de%20baterias.pdf>

Valnevar, R. (2 de Mayo de 2023). *Ingeniantes.* Obtenido de <https://citt.itsm.edu.mx/ingeniantes/articulos/ingeniantes10no1vol2/3.-%20An%C3%A1lisis%20Comparativo%20de%20los%20Diferentes%20tipos%20de%20baterias.pdf>

wascorps.a. (2020). *wascorps.a.* Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/<https://wascorpsa.com/wp-content/uploads/2023/05/FT-SOLUCION-MURIATICO.pdf>

## Analysis of the behavior of a 1500 cc MEP engine in the combustion chamber cleaning process using an HHO generator

## Análisis del comportamiento de un motor de 1500 cc MEP en el proceso de limpieza de la cámara de combustión utilizando un generador de HHO

Abrahan Jorque Rea<sup>1</sup>[0000-0003-4235-9604], Edwin Guamán Narváez<sup>2</sup>[0000-0002-6305-6242], Víctor Pachacama Nasimba<sup>3</sup>[0000-0001-6315-6641], Romel Carrera Tapia<sup>4</sup>[0000-0002-6936-1889]

<sup>1</sup> Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador  
E-mail: [ajorque@istct.edu.ec](mailto:ajorque@istct.edu.ec)

<sup>2</sup> Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador  
E-mail: [equaman@istct.edu.ec](mailto:equaman@istct.edu.ec)

<sup>3</sup> Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador  
E-mail: [vpachacaman@uteq.edu.ec](mailto:vpachacaman@uteq.edu.ec)

<sup>4</sup> Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Latacunga, Ecuador  
E-mail: [rdcarrera@espe.edu.ec](mailto:rdcarrera@espe.edu.ec)

Recibido: 22/09/2025

Aceptado: 10/12/2025

Publicado: 30/12/2025

### RESUMEN

La presente investigación muestra el análisis del comportamiento de un motor a gasolina (MEP), en donde se realizó un protocolo de pruebas de potencia y torque en el banco dinamométrico LPS3000 del Centro de Investigaciones LIAVMS de la Escuela Politécnica Nacional, en cumplimiento de la normativa ISO 1585, emisiones de gases contaminantes con el equipo BRAIN BEE AGS-688, bajo los parámetros de medición de la normativa INEN 2204, durante este proceso se monitorea los datos del sensor de oxígeno en relación a la temperatura y revoluciones del motor, así como para evidenciar el estado físico de la cámara de combustión, se introdujo un endoscopio automotriz P40, en el cual se captura las imágenes de la cámara de combustión y cabeza del pistón. Estas pruebas se realizaron antes y después del proceso de limpieza de la cámara de combustión, mediante la máquina generadora Oxihidrógeno (HHO) Carbón Cleaner 6.0, para analizar su desempeño en el vehículo. Los resultados se ven descritos en tablas e ilustrados en diagramas, en el análisis de la gráfica de la potencia se refleja un aumento significativo de 104.5 HP a 108.7 HP que representa el 4% y una reducción en las emisiones de gases contaminantes, principalmente de los hidrocarburos (HC) de 63 ppm a 44 ppm y el monóxido de carbono (CO) de 0.12% a 0.08 %, que representa el 30,15% y 33,3% respectivamente. Mediante la investigación realizada se puede concluir que el proceso de

descarbonización por HHO, mejora el rendimiento del vehículo disminuyendo los niveles de contaminación, la carbonilla de la cámara de combustión y el sistema de escape.

**Palabras clave:** Motor de encendido provocado, dinamómetro, gases contaminantes, descarbonización, Oxihidrógeno.

## ABSTRACT

This research shows the analysis of the behavior of a gasoline engine (MEP), where a power and torque test protocol was carried out on the LPS3000 dynamometer bench of the LIAVMS Research Center of the National Polytechnic School, in compliance with ISO 1585 regulations, emissions of polluting gases with the BRAIN BEE AGS-688 equipment, under the measurement parameters of the INEN 2204 regulations, during this process the data from the oxygen sensor is monitored in relation to the temperature and revolutions of the engine, as well as to show the physical state of the combustion chamber, a P40 automotive endoscope was introduced, in which images of the combustion chamber and piston head are captured. These tests were carried out before and after the combustion chamber cleaning process, using the Oxyhydrogen (HHO) Carbon Cleaner 6.0 generating machine, to analyze its performance in the vehicle. The results are described in tables and illustrated in diagrams, the analysis of the power graph reflects a significant increase from 104.5 HP to 108.7 HP, which represents 4%, and a reduction in emissions of polluting gases, mainly hydrocarbons (HC) from 63 ppm to 44 ppm and carbon monoxide (CO) from 0.12% to 0.08%, which represents 30.15% and 33.3% respectively. Through the research carried out, it can be concluded that the HHO decarbonization process improves vehicle performance by reducing pollution levels, carbon deposits in the combustion chamber, and the exhaust system.

**Index terms:** Engine spark ignition, dynamometer, polluting gasses, decarbonization, Oxyhydrogen.

## 1. INTRODUCCIÓN.

Según el (Informe de calidad de vida, 2022) menciona que el 30.1 % de contaminación es provocada por la emisión de gases de los vehículos. Así como (Rodríguez & Cuví, 2019) afirma que este problema ambiental es producto del incremento del parque automotor. Esta contaminación está compuesta en el aire por: dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), ozono, dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), material particulado, monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) según los datos obtenidos en la investigación de (Jerves & Armijos, 2016).

Esta emisión de gases contaminantes provocados por la industria automotriz es uno de los principales problemas que enfrentan todos los fabricantes de vehículos. (Velez & Castellanos, 2022) mencionan que las compañías se han propuesto como objetivo reducir este impacto ambiental, para ello han previsto la incorporación de nuevos métodos que ayudan a la reducción de gases, entre ellos están: los sensores, módulos de control, válvulas y actuadores, este tipo de

tecnologías ayudan de manera eficiente mientras se cumpla el plan de mantenimiento estipulado por el fabricante. Adicionalmente se recomienda la descarbonización de la cámara de combustión. Según (Flores, 2018) en base a su investigación, afirma que la descarbonización, por medio de la pirólisis (descomposición por fuego), el cual, elimina y evacua las partículas de carbonilla presentes en el sistema de admisión y en la cámara de combustión del motor. Esta carbonilla se deposita en varios componentes de la cámara de combustión, sistema de admisión y escape (Sandoval, 2018). Lo que ocasiona la acumulación de hollín en las paredes del múltiple de admisión, válvulas, cabeza de pistón, bujías y el sistema de escape, los cuales provocan la pérdida progresiva del torque y potencia del motor, como consecuencia tendremos un motor con rendimiento reducido, mayor emisión de gases y mal funcionamiento asegura (Arroyo et al, 2021).

La descarbonización consiste en el uso de un equipo generador de oxihidrógeno (HHO), el cual mezcla en su interior varios agentes químicos que se transforman en hidrógeno gaseoso, el mismo que será llevado al múltiple de admisión del motor, posteriormente hacia la cámara de combustión, en donde inicia la pirólisis, según afirma (Colín, 2019). Estas partículas de hollín se queman, desprenden y se pulverizan por completo siendo evacuadas por el múltiple de escape, como menciona (Chiluiza, 2022)

Este agente químico limpiará los componentes de la cámara de combustión, el cual evitará que se vuelva acumular las partículas de hollín, reduciendo así las emisiones de gases y ayuda a reducir las pérdidas de potencia del motor (Sergio & Sáenz, 2013).

El propósito de nuestra investigación es comparar cómo este proceso influye en la emisión de gases y el desarrollo el torque y potencia, antes y después de la descarbonización, teniendo en cuenta las mismas condiciones de funcionamiento del vehículo como: la temperatura del motor (ECT), revoluciones por minuto, datos del sensor de oxígeno (O2) y las condiciones climáticas como temperatura y humedad del aire. Se espera que los resultados del análisis muestren una reducción de los gases y recuperación de torque y potencia.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS / DESARROLLO**

### **2.1. Equipos**

A continuación, se describen los equipos que fueron utilizados en la investigación.

- Vehículo Chevrolet Sail 1.5
- Scanner automotriz Launch X-431 PRO
- Analizador de gases Brain Bee AGS688
- Endoscopio Automotriz P40
- Dinamómetro LPS 3000
- HHO Carbón Cleaner 6.0

### 2.1.1 Vehículo

Para el estudio se usó un vehículo Chevrolet Sail de 1500 CC DOHC VVT, del año 2020, con un recorrido de 138110 km, entre los principales datos técnicos se muestra en la tabla 1.

**Tabla 1.**

Características del vehículo de prueba.

Válvulas	16
Potencia [HP@rpm]	109@6000
Torque [Nm@rpm]	141@4000
Relación de compresión	10.2:1
Sistema de alimentación	Inyección Indirecta
Neumáticos	195/55 R15

### 2.1.2 Scanner Automotriz Launch X-431 PRO

Con la ayuda del scanner automotriz se procedió a monitorear el comportamiento del sensor de oxígeno, en relación con la temperatura y las revoluciones del motor durante el protocolo de pruebas del análisis de gases.

### 2.1.3 Analizador de gases Brain Bee AGS-688

Este dispositivo trabaja con un software ÓMNIBUS-800 y está equipado con una cámara de medición de la marca SENSORS en donde analiza los hidrocarburos [HC], Monóxido de carbono [CO], Dióxido de carbono [CO<sub>2</sub>], oxígeno [O<sub>2</sub>] y el cálculo de Lambda bajo los parámetros de la normativa INEN 2204 (Globaltech, 2025)

#### a) Normativa INEN 2204

La normativa INEN 2204 establece los límites permitidos de emisiones de contaminantes producidos por vehículos automotores que utilizan gasolina en Ecuador. Esta norma es crucial para regular la calidad del aire y minimizar el impacto ambiental de los vehículos en circulación. En la tabla 2 se detallan los límites máximos de emisiones permitidos para un motor a gasolina, en el cual se evidencian los gases a medir que son: monóxido de carbono [CO] e hidrocarburos [HC].

**Tabla 2.**

Normativa INEN 2204

Año modelo	%CO*		ppm HC*	
	0-1500**	1500-3000**	0-1500**	1500-3000**
2000 >	1,0	1,0	200	200
1900 – 1999	3,5	4,5	650	750
<= 1989	5,5	6,5	1000	1200
*Volumen **Altitud=(msnm)				



### 2.1.4 Endoscopio automotriz P40

Con este componente se realizó las capturas del estado interno de la cámara de combustión, en la cabeza del pistón.

**Figura 1.**

## Endoscopio Automotriz Andowl P40

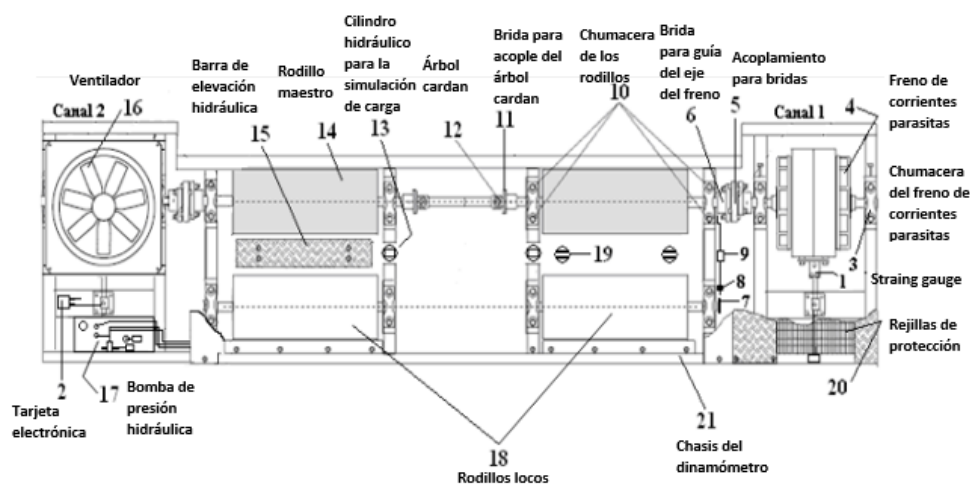


### 2.1.5 Dinamómetro LPS 3000

Mediante este equipo se realizó la toma de datos del torque y potencia del vehículo, en el dinamómetro de chasis como se ilustra en la figura 2.

**Figura 2.**

*Esquema del dinamómetro LPS 3000*



*Nota.* (Rosas & Barona, 2011)

### 2.1.6 Máquina HHO Carbón Cleaner 6.0

Se encarga de generar el gas de HHO a partir de la división del agua, adicionalmente con agentes químicos que se transformaran en hidrogeno, el cual adopta la forma de un líquido acuoso de color blanco, el mismo que pasara a limpiar los componentes de la cámara de combustión, admisión y escape por medio de la pirolisis. En la tabla 3 se detallan los datos técnicos de la máquina.

**Tabla 3.** Ficha Técnica del HHO Carbón Cleaner 6.0

Tensión de entrada	Especificaciones
Consumo de agua [l/h]	0.7
Medio de trabajo	Agua destilada
Dimensiones del contorno-L*W*H [mm]	760*630*900
Presión de trabajo [Mpa]	< 0.2
Temperatura de trabajo [°C]	0 – 40
Peso Neto [kg]	165

*Nota. (Ibérica, 2024)*

Una vez recopilada toda la información y características de los equipos a utilizar, se procede a la obtención de datos en el vehículo, siguiendo dos protocolos de pruebas con dos condiciones.

### 2.2 Protocolo de pruebas (Condición 1) - Antes del proceso de descarbonización.

Las diversas pruebas fueron realizadas en las instalaciones del Instituto Superior Universitario Central Técnico (ISUCT) y en el Centro de Investigaciones (LIAVMS) de la ciudad de Quito que se encuentra ubicada a 2850 [msnm] y 1029 [hPa] de presión atmosférica.

#### 2.2.1 Esquema de conexión de scanner/ oscilograma del sensor de oxígeno (Condición 1).

Se localizó el puerto DLC del vehículo, que se encuentra debajo del volante, en donde se procede a la conexión del scanner Automotriz y vinculación del protocolo de comunicación OBD II, de esta manera poder monitorear la curva del sensor de oxígeno en relación con el rpm del motor y la temperatura de esta, la conexión se observa en la figura 3.

**Figura 3.**

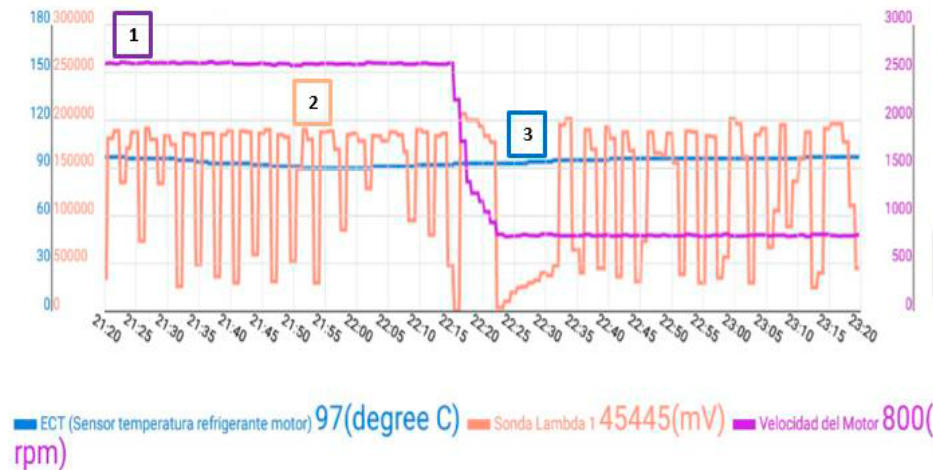
*Esquema de conexión de scanner automotriz*



En la figura 4 se puede visualizar el oscilograma de las revoluciones del motor (1), los valores sensor de oxígeno (2) y los °C del sensor de temperatura del motor (3).

**Figura 4.**

*Curva de comportamiento del sensor de oxígeno en relación con las rpm y temperatura*

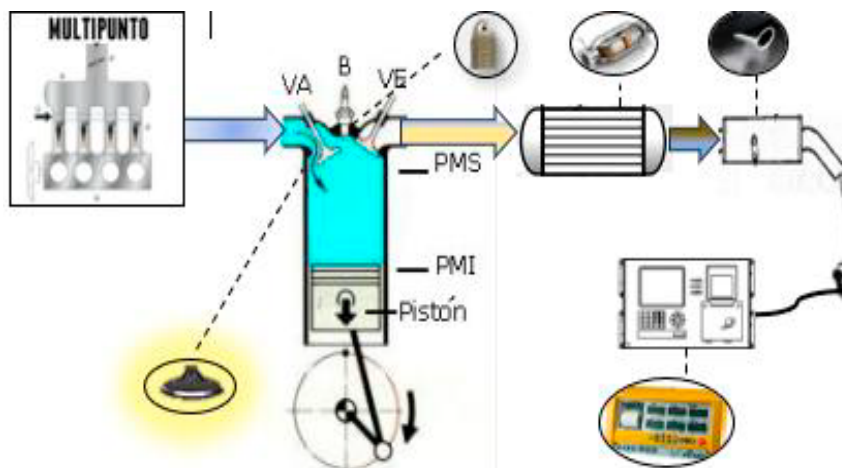


### 2.2.2 Análisis de gases (Condición 1).

Con ayuda del analizador de gases Brain Bee AGS 688, se obtuvieron los datos de las emisiones contaminantes bajo los parámetros de la normativa INEN 2203, el método de medición se ve representado en la figura 5.

**Figura 5.**

*Conexión del analizador de gases*



En base al protocolo de pruebas, bajo la condición 1 de medición, se registran los siguientes valores de emisiones de gases que se muestran en la tabla 4.

**Tabla 4.**

*Valores de emisión de gases antes del proceso de descarbonización*

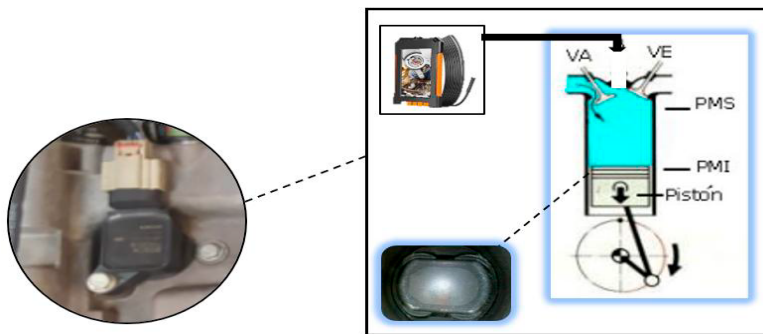
Gases	Ralentí	2500 rpm
Carbono (CO) [g/km]	0.12	0.18
Oxígeno (O2) [%]	0.48	0.13
Dióxido de carbono (CO2) [%]	14.4	14.8
Hidrocarburos HC [ppm]	63	88

### 2.2.3 Estado físico de la cámara de combustión (Condición 1).

Con el endoscopio automotriz P40, se evidenció el estado físico actual en el que se encuentran la cabeza de los pistones de cada cilindro, el método de obtención de resultados se evidencia en la figura 6.

**Figura 6.**

*Esquema de uso del endoscopio P40.*



### 2.2.4 Torque y potencia (Condición 1).

A continuación, se da a conocer la metodología para obtener estas magnitudes.

#### a) Torque o par motor

Para calcular esta magnitud se toma el resultado de dividir la potencia normalizada y la velocidad angular como se muestra a continuación:

$$p_{normal} = M_n * w = M_n * 2\pi n \quad (1)$$

$$M_n = \frac{p_{normal}}{2\pi n} [N * m] \quad (2)$$

Donde:

$p_{normal}$  = Potencia Normal [kw]

$M_n$  = Par motor o torque [N\*m]

$\omega$ =velocidad angular [rad/s]

$n$ = número de revoluciones

### **b) Potencia normal**

Representa qué tan rápido el motor puede hacer un trabajo, se mide en caballos de fuerza y se obtiene en relación a las condiciones ambientales que son reguladas por normativas internacionales como ISO 1585.

#### **2.2.5 Obtención del torque y potencia (Condición 1).**

Para la obtención de datos del torque y potencia, se usó el dinamómetro LPS 3000, el cual debe estar calibrado según la norma ISO 1585.

El proceso de medición empieza ubicando el vehículo de prueba en el dinamómetro, de forma alineada, seguidamente se inmoviliza con la ayuda de un par de correas de tensión, retirar la bayoneta del aceite del motor, y en su lugar colocar la sonda de temperatura del equipo LPS 3000, se coloca el ventilador del equipo en la parte frontal del vehículo de prueba, encender el vehículo y acelerar de forma moderada, hasta alcanzar su temperatura normal de funcionamiento, en el panel principal del dinamómetro, completar los datos en función a la ficha técnica como se observa en la siguiente figura.

**Figura 7.**

*Esquema de medición de torque y potencia en dinamómetro de chasis.*



Para la medición del torque y potencia, se tiene en cuenta las condiciones ambientales, las mismas que pueden variar dependiendo de la altura (msnm) entre otras, y se muestran en la tabla 5.

**Tabla 5.**

*Condiciones ambientales condición 1.*

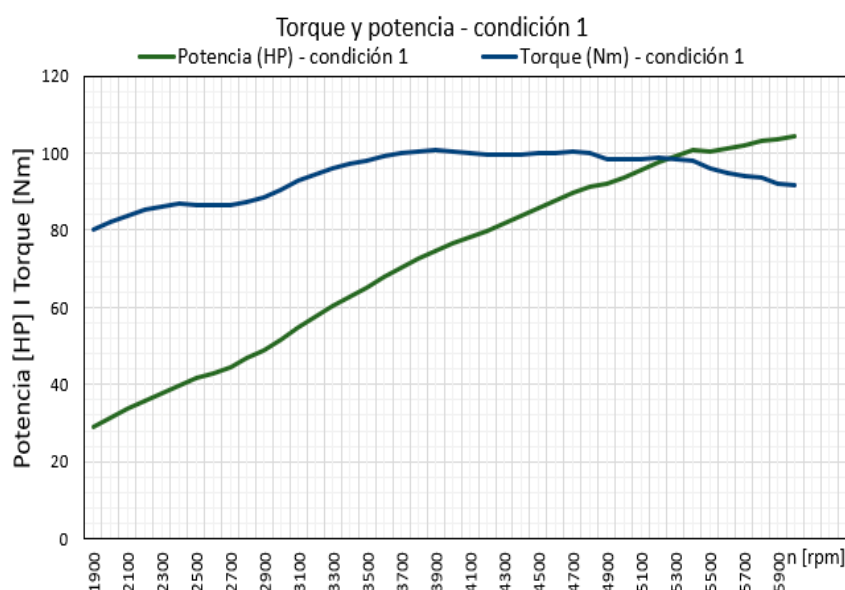
Temperatura Ambiente [°C]	20.77
Temperatura Aire aspirado [°C]	15.5
Humedad relativa del aire [%]	74,1
Presión del aire [Pa]	714,8
Presión del vapor [Pa]	18,2
Temperatura de aceite [°C]	91

*Nota. (IAVMS, 2024)*

Se inicia la prueba, siguiendo las instrucciones proporcionadas por el software del dinamómetro. Durante la ejecución de la prueba se muestran los datos en la pantalla, donde se registran los resultados, como se puede observar en la siguiente figura.

**Figura 8.**

*Curva del torque y potencia del vehículo condición 1.*



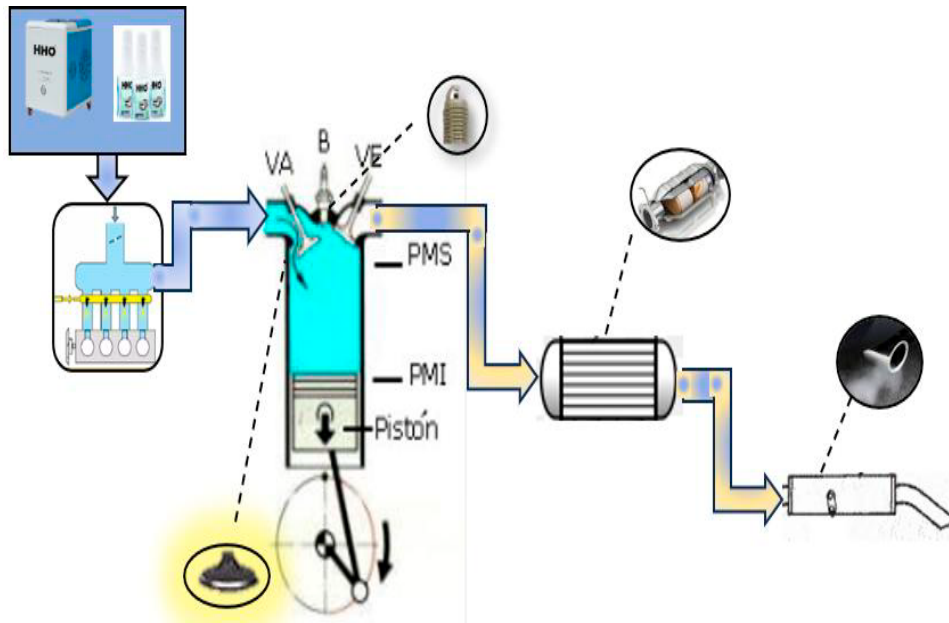
### **2.2.6 Descarbonización de la cámara de combustión (Condición 1).**

En este proceso la máquina Carbón Cleaner 6.0, realiza una mezcla de varios agentes como: cloruro de sodio, bórax, aminoácidos y agua, que son llevados hacia la cámara de combustión por medio del múltiple de admisión y mediante la chispa eléctrica se combustiona la mezcla y se

origina el pirólisis, en donde eliminará los residuos de combustión acumulada en la cabeza del pistón, asiento de válvulas, bujías y el sistema de escape cómo se observa en la figura 9.

**Figura 9.**

*Esquema de conexión HHO al motor del vehículo.*



Con similares factores de toma de datos de la condición 1 se experimentó después del proceso de la descarboniación, análisis de gases de escape y el torque y potencia, expresados en los resultados con el análisis correspondiente.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de haber culminado los protocolos de toma de datos, se obtuvieron los resultados presentados a continuación.

#### 3.1 Torque y Potencia.

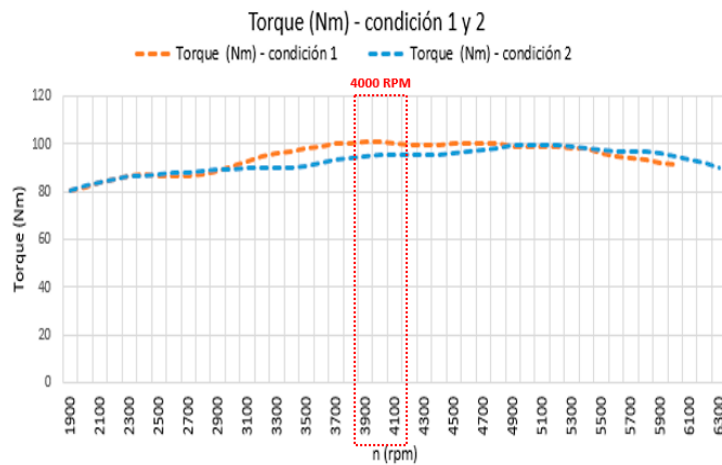
Según los datos del fabricante, el vehículo presenta un motor 1.5 lt que provee de 109 [HP]@6000 rpm y el torque 141 [Nm]@4000 rpm.

Como se puede apreciar en la figura 10, existe un incremento de la potencia de: 104.5 [HP] de la condición 1 a 108.7 [HP] en la condición 2, a las 6000 [rpm] respectivamente, la reducción del torque de: 100.6 [Nm] en la condición 1 a 95.3 [Nm] en la condición 2, a las 4000 [rpm]. Con los resultados de las pruebas se demuestra un aumento de la potencia del 4% y la reducción del torque en un 5.3% como se puede observar en las gráficas a continuación.



**Figura 10.**

*Resultados del torque - condición 1 y 2.*

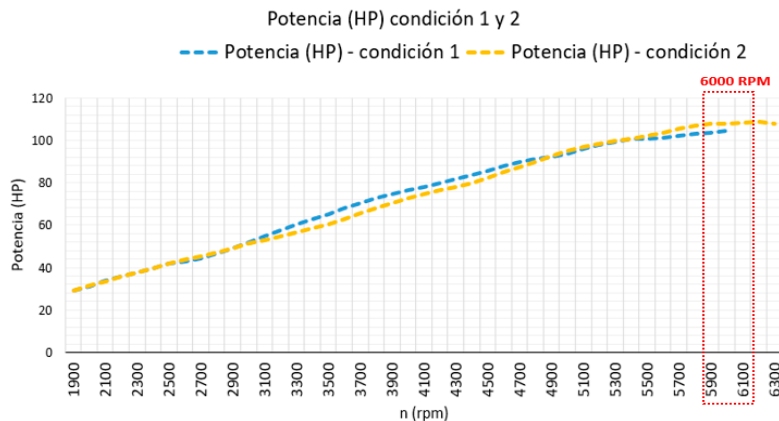


Los datos del torque indican una reducción de 5.3%, esto puede darse por pérdidas mecánicas, pérdidas de energía en forma de calor, la cual debe ser aportada por el combustible, perdiendo el poder calorífico del mismo, por falta de mantenimiento del tren motriz, elevadas temperaturas, generando pérdida por fricción, la misma que viene acompañada por pérdidas de bombeo ya que son mayores a bajos grados de carga del motor, puesto que la estrangulación del múltiple provoca una disminución en la presión de admisión por lo tanto genera un incremento de trabajo por ende reduce el torque.

La presencia de carbonilla en los componentes de la cámara de combustión y en el múltiple de admisión, provoca que el flujo de aire cambie y se formen torbellinos, los mismos que generan que pase menos cantidad de aire a menor velocidad. En cambio, los datos de la potencia evidencian un aumento del 4% puesto que la entrada de la mezcla es más estable y el caudal constante, lo que ayuda a una mejor combustión aprovechando de mejor manera la energía del combustible.

**Figura 11.**

*Resultados de la potencia - condición 1 y 2.*



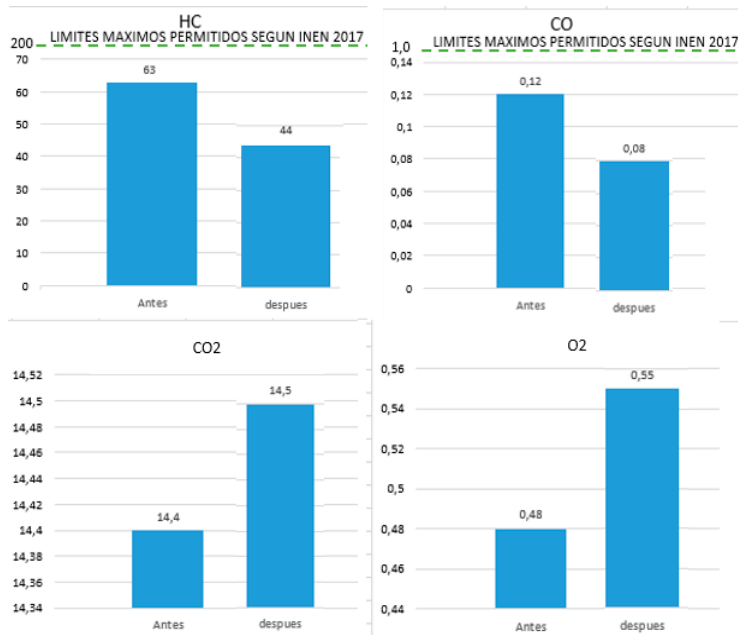


### 3.2 Análisis de gases

En la siguiente figura se puede visualizar la recolección de datos en ralentí, de los gases de escape de la condición 1 y 2, como el [CO], [HC], [CO<sub>2</sub>] y el [O<sub>2</sub>], dichos valores están por debajo de los valores permitidos por la norma INEN 2204 en las dos condiciones.

**Figura 12.**

*Resultados de los gases contaminantes.*



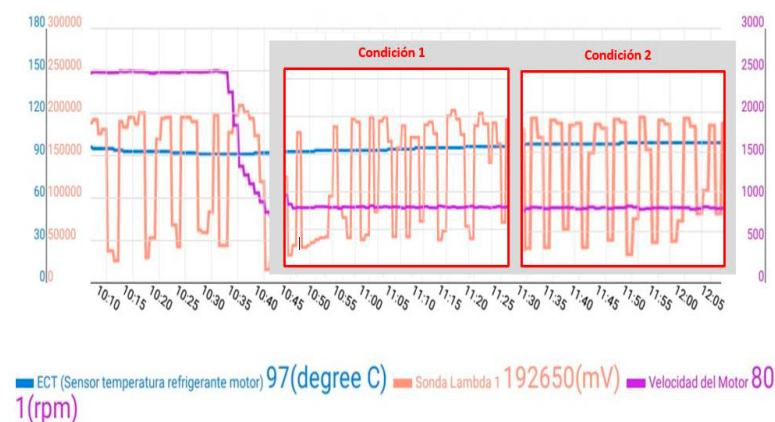
Se verifica la reducción de los [HC] de 63 ppm a 44 ppm, el [CO] disminuyó de 0.12g/m<sup>3</sup> a 0.08 g/m<sup>3</sup>, el [CO<sub>2</sub>] aumenta de 14.4% a 14.5 % y el oxígeno [O<sub>2</sub>] de 0.48 a 0.55, esta reducción de gases nocivos se da por que la cámara de combustión y el múltiple de admisión están con bajos sedimentos de carbonilla y se garantiza una combustión más eficiente de la mezcla aire – combustible, reduciendo el consumo de combustible, mejora la potencia y reduce los gases tóxicos de escape del motor. El incremento del CO<sub>2</sub> se da por una mayor concentración de partículas de oxígeno en el combustible, la cual reacciona con las moléculas de carbono de los hidrocarburos, obteniendo una mejor combustión.

### 3.3 Oscilograma del sensor de oxígeno

Como beneficio del proceso de descarbonización de la cámara de combustión existe una variación en los picos de voltaje del sensor de oxígeno, como se muestra a continuación.

**Figura 18.**

*Oscilograma combinado del sensor de oxígeno.*



La reducción de los niveles de oxígeno en los gases contaminantes se debe a una mejor combustión provocado por la eliminación de sedimentos que obstruyen el correcto llenado de los cilindros obteniendo una mezcla más estequiometría para el proceso de combustión. Afirmando que el proceso de descarbonización HHO por la máquina Carbón Cleaner 6.0, ayuda a mejorar el rendimiento del vehículo y disminuye la emisión de gases contaminantes.

## **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1. Conclusiones**

El incremento del 4% de la potencia y reducción del torque es el resultado del proceso de descarbonización que se realizó en la cámara de combustión, por lo que indica que el motor trabaja de mejor manera, mayor rendimiento y mayor eficiencia.

Con ayuda de este proceso de descarbonización la emisión de gases se reduce considerablemente, en donde la emisión de [HC] se redujo en un 33,3% y el [CO] se reduce en un 30,15%, el [CO<sub>2</sub>] aumenta en un 0.69% y el oxígeno [O<sub>2</sub>] en un 14.5%, estos valores dependiendo de las condiciones ambientales, obteniendo así un resultado beneficioso en donde la emisión de estos contaminantes será de utilidad para obtener un menor índice de contaminación.

El resultado de la limpieza y eliminación de carbonilla, por medio de la pirólisis se evidencia en la cabeza del pistón y alrededores, esto gracias a la acción de la descarbonización que generó la mezcla de agentes químicos, como el sodio, bórax, agua y aminoácidos.

Los resultados de la curva de funcionamiento del sensor de oxígeno presentan picos de voltaje más continuos, lo que significa una disminución de oxígeno en los gases contaminantes, de igual manera se considera que este cambio representa un menor consumo de combustible y menor emisión de gases contaminantes.

#### 4.2. Recomendaciones

Para el proceso de toma de datos en el dinamómetro se recomienda realizar en las mismas condiciones ambientales principalmente en la temperatura del ambiente y humedad del aire para la obtención de datos precisos.

En el proceso de mantenimiento preventivo del vehículo, se recomienda realizar la descarbonización por HHO al menos una vez por año o cada 20,000 km y de esta manera prolongar la vida útil del vehículo.

Mantener al día al vehículo con los mantenimientos respectivos según las especificaciones del fabricante y en óptimas condiciones de funcionamiento para poder realizar las pruebas de gases y medición de torque y potencia.

En el transcurso de la toma de datos de los gases se debe calibrar y mantener limpios los filtros del analizador de gases para obtener resultados precisos y fiables.

#### 5. REFERENCIAS

- Rodríguez-Guerra, A., & Cuví, N. (2019). Contaminación del aire y justicia ambiental en Quito, Ecuador. *Fronteiras*, 8(3), 13-46.
- Jerves, R., & Armijos-Arcos, F. (2016). Análisis y revision de la red de monitoreo de calidad del AIRE DE LA CIUDAD DE CUENCA, ECUADOR. *La Granja*, 23(1), 25-35.
- Brito Vélez, D., & Bucio Castellanos, V. (2022). Transformación en la movilidad para reducir la contaminación atmosférica causada por el uso de automóviles.
- Chiluisa, M. S. (02 de agosto de 2022). Investigación de la incidencia del método de limpieza no invasivo por descomposición del agua por electrólisis en motores de combustión interna. Obtenido de Repositorio Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE)
- Rosas, & Barona. (Diciembre de 2011). Escuela Politécnica Nacional. Obtenido de Elaboración de un manual de mantenimiento para el dinamómetro de chasis LPS 3000 CCICEV: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4457/3/CD-4067.pdf>
- Jácome Sandoval, W. A. (2018). Análisis de la producción de carbonilla en la cámara de combustión de un motor diésel Isuzu 4JB1 2.8, con el uso de diésel Pemium y iodiesel a base de higuierilla B10 (Bachelor's thesis).
- Rodríguez Aranguren, S. A., & Sáenz Buitrago, J. D. (2013). Evaluación técnica de un motor de combustión interna por ignición utilizando como combustible mezcla de gasolina corriente con hidrógeno al treinta por ciento (30%) en volumen.
- Valdivieso, J. C. C., Godoy, C. R. C., Sayuri, M. B. N., Velarde, J. I. A., Sánchez, G. V. M., Sánchez, E. D. A., & Ramírez, R. A. V. (2017). Estudio comparativo de potencia, torque y emisiones contaminantes en un motor de combustión interna de encendido provocado (MEP) con combustible extra, e5 y e10 a una altura de 2700 MSNM. *Infociencia*, 11(1), 132-138.
- ARROYO TERÁN, E. S., CEVALLOS GONZÁLEZ, A. F., IMBAQUINGONAVARRETE, R. P., & MELO OBANDO, J. L. (2020). Estudio del efecto de la altitud sobre las emisiones de gases de

- escape de motores de combustión interna con encendido provocado. *Ingeniería y Desarrollo*, 38(1), 148-162.
- Flores, J. (10 de septiembre de 2018). Repositorio ESPE. Obtenido de "Construcción de un limpiador de inyectores tipo canister y un descarbonizador del sistema de admisión para motores a gasolina, para la unidad de gestión de tecnologías-espe"
- Payri González, F., & Desantes Fernández, J. M. (2011). *Motores de combustión interna alternativos*. Editorial Universidad politécnica de valencia.
- Taípe-Defaz, V. A., Llanes-Cedeño, E. A., Morales-Bayetero, C. F., & Checa-Ramírez, A. E. (2021). Evaluación experimental de un motor de encendido provocado bajo diferentes gasolinas. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*, (26), 17-29.
- Ronda, J. (2018). *Modelado de las pérdidas mecánicas en motores diésel de inyección directa*. Politécnica de Valencia.
- Maila, J. E. G., Proaño, D. D. O., Vergara, H. F. G., & Hidalgo, E. V. V. (2021). El control y la gestión de la inyección electrónica de combustible para los motores de encendido provocado. *Dominio de las Ciencias*, 7(4), 44.
- Pulkrabek, WW (2004). *Fundamentos de ingeniería del motor de combustión interna*.
- Castillo, J., Rojas, V., & Martínez, J. (2017). Determinación del torque y potencia de un motor de combustión interna a gasolina mediante el uso de bujía con sensor de presión adaptado y aplicación de un modelo matemático. *Revista Politécnica*, 39(1), 49-57.
- Mena Espinoza, J. A., & Mena Espinoza, L. A. (2023). *Análisis del flujo de aire en el sistema de admisión de un vehículo* (Bachelor's thesis).
- LIAVMS. Laboratorio Institucional de Análisis Institucional de Vehículo y Movilidad Sostenible. 2024. <https://liavms.epn.edu.ec/>.
- INEN. (2017). INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. Obtenido de NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2017: <https://ia802909.us.archive.org/12/items/ec.nte.2204.2002/ec.nte.2204.2002.pdf>
- BRAIN BEE — AGS-688. (n.d.). Brain Bee. Retrieved January 10, 2024, from <https://www.brainbee.mahle.com/brainbee/es/product-lines/emission/ags-688/>
- Scanner Automotriz LAUNCH PRO GT – X431 GT PRO. (n.d.). AUTOREX. Retrieved January 10, 2024.
- Técnica, Ficha. Chevrolet. 2024. <https://www.chevrolet.com.ec/content/dam/chevrolet/south-america/ecuador/espanol/index/cars/2019-sail/mov/02-pdfs/sail-sedan-ls-lt-ficha-tecnica.pdf>.
- Dinamómetro de chasis LPS 3000. | Download Scientific Diagram. (n.d.). ResearchGate. Retrieved January 10, 2024, from [https://www.researchgate.net/figure/Figura-32-Dinamometro-de-chasis-LPS-3000\\_fig2\\_308994](https://www.researchgate.net/figure/Figura-32-Dinamometro-de-chasis-LPS-3000_fig2_308994)
- Ibérica. (2024). HHO Carbon Cleaner 6.0. HHO Ibérica. Retrieved March 3, 2024, from <https://hhoiberica.com/hho-carbon-cleaner-6-0/>
- Informe de calidad de vida. (2022). Información sobre medio ambiente Quito Cómo Vamos 2022 1. Quito Cómo Vamos. Retrieved March 4, 2024, from [https://quitocomovamos.org/wp-content/uploads/2022/12/06Factsheet\\_MedioAmbiente2022.pdf](https://quitocomovamos.org/wp-content/uploads/2022/12/06Factsheet_MedioAmbiente2022.pdf).

## Effectiveness of PVC ceiling in the thermal comfort of the thermal machine laboratory

## Efectividad de cielo raso PVC en el confort térmico del laboratorio de máquinas térmicas

Christian Andrés López Molina<sup>1</sup>, Ernesto Quishpe Sacancela <sup>2</sup>(0000-0001-5773-8485)

<sup>1</sup>Instituto Superior Tecnológico Central Técnico, Quito, Ecuador

E-mail: [lcristian@istct.edu.ec](mailto:lcristian@istct.edu.ec)

<sup>2</sup>Instituto Superior Tecnológico Central Técnico, Quito, Ecuador

E-mail: [equishpe@istct.edu.ec](mailto:equishpe@istct.edu.ec)

Recibido: 08/10/2025

Aceptado: 10/12/2025

Publicado: 30/12/2025

### RESUMEN

Este estudio investiga el impacto de la instalación de cielo rasos de PVC en el confort térmico dentro del laboratorio de máquinas térmicas del ISUCT. La metodología tiene un enfoque cuantitativo, ya que se busca medir y analizar variables numéricas relacionadas con la humedad y la temperatura. Los datos iniciales revelan un ambiente frío y húmedo con fluctuaciones de temperatura entre 16,15 °C y 19,3 °C, y una humedad relativa que varía entre 63,9% y 88,3%. Los datos recopilados durante siete días (del 15 al 22 de diciembre de 2024) confirmaron estas condiciones, alineadas con el clima de la región de Pichincha. El estudio analizará los cambios en los parámetros ambientales (temperatura, humedad) posteriores a la instalación de PVC y evaluará la percepción de comodidad de los estudiantes y docentes a través de la comodidad en el ambiente de enseñanza y aprendizaje.

**Palabras clave**—Humedad, confort térmico, Cielo raso PVC, parámetros ambientales, comodidad.

### ABSTRACT

This study investigates the impact of the installation of PVC ceilings on thermal comfort within the ISUCT thermal machines laboratory. The methodology has a quantitative approach, since it

seeks to measure and analyze numerical variables related to humidity and temperature. Initial data reveal a cold and humid environment with temperature fluctuations between 16.15 °C and 19.3 °C, and relative humidity varying between 63.9% and 88.3%. Data collected over seven days (December 15 to 22, 2024) confirms these conditions, aligned with the climate of the Pichincha region. The study will analyze the changes in environmental parameters (temperature, humidity) after the installation of PVC and evaluate the perception of comfort of students and teachers through comfort in the teaching and learning environment.

**Index terms:** Humidity, thermal comfort, PVC ceiling, environmental parameters, comfort.

## 1. INTRODUCCIÓN

El laboratorio de máquinas térmicas del Instituto Superior Central Técnico (ISUCT) presenta condiciones ambientales variables, con un ambiente frío y húmedo que afecta negativamente el confort de estudiantes y docentes (Rubel & Kottek, 2011). Es de gran importancia la evaluación de la infraestructura en el laboratorio para realmente saber si los estudiantes que asisten a realizar sus prácticas el ambiente se encuentran en las mejores condiciones ambientales y sobre todo en una infraestructura cálida, que ante algún evento natural siga brindando las mismas condiciones de operatividad para el proceso de enseñanza y aprendizaje. Existe una variación térmica considerable entre el día y la noche, que oscila entre 7 y 16 °C. Esta fluctuación temperatura en la ciudad de Quito es una característica común por estar en la sierra (Wieser Rey, 2012). La estructura del laboratorio, con el techo de Eternit no aísla adecuadamente. La instalación de un cielo raso de PVC, reconocido por sus propiedades aislantes y resistencia a la humedad, se plantea como una solución prometedora para mejorar el confort térmico en el aula y laboratorio. El estudio evaluará la mejora del ambiente en temperatura y humedad. La regulación de la temperatura y la humedad busca crear un ambiente más confortable y propicio para el aprendizaje (Yépez Tambaco, 2012).

El confort térmico en espacios educativos es un factor importante que incide directamente en el rendimiento académico, la salud, el bienestar de los estudiantes y docentes (Hammerling, 2024). Un ambiente térmicamente confortable favorece la concentración, la participación activa en clase y reduce la fatiga. Existen diversas normas y estándares relacionados con el confort térmico y la construcción sostenible, como ASHRAE, ISO y LEED (Arango Hernández & Guevara Betancur, 2019).

La norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-HS-CL\_CLIMATIZACIÓN (MIDUVI, 2020). “Las condiciones interiores de diseño de la temperatura operativa y la humedad relativa se deben fijar con base en la actividad metabólica de las personas, su grado de vestimenta y el PPD”. Para

valores diferentes de la actividad metabólica, grado de vestimenta y PPD del literal a), ver la norma ANSI/ASHRAE 55. Establece los requisitos específicos para el confort térmico en viviendas y edificios, se toman en consideración los parámetros como: la temperatura operativa y la humedad relativa, que son fundamental para la implementación de cielos rasos de PVC (Romo Bowen, Vallejo Falconí, & Valverde Burneo, 2020).

Históricamente, la preocupación por el confort térmico en edificios se remonta a la antigüedad, con ejemplos de construcciones que buscaban aprovechar la ventilación natural y la protección solar (Lima Duarte, 2014) . En el siglo XX, se inició el estudio de manera sistemática los factores que influyen en la sensación térmica de las personas. Diversas investigaciones han demostrado la relación entre el confort térmico, el rendimiento cognitivo, la productividad y la satisfacción de los usuarios en diferentes tipos de espacios, incluyendo las oficinas, instituciones educativas y laboratorios (Mayor Valencia, Rengifo Gómez, & Rojas Camacho, 2023).

La eficiencia energética y la sostenibilidad son importantes en la búsqueda de soluciones para mejorar el confort térmico, siendo una de las estrategias más utilizadas es la instalación de cielos rasos, que contribuyen a reducir significativamente la transferencia de calor y regular la temperatura interior. “En particular, los cielos rasos de PVC se han popularizado debido a su bajo costo, facilidad de instalación y propiedades aislantes” (Caibinagua, 2013)

El laboratorio de máquinas térmicas ISU “Central Técnico”, no es una excepción a esta problemática. El laboratorio de máquinas térmicas es fundamental para la formación. Los materiales de construcción están en constante innovación, con una integración de láminas PVC (Perdomo Cuervo, 2024). El vinilo es un material utilizado en la fabricación de cielo raso. Tanto el piso vinílico como el PVC se componen de cloruro de polivinilo (PVC), un polímero termoplástico versátil y duradero (Crespo Velasco, 2024).

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en el laboratorio de máquinas térmicas de la carrera de Mecánica Industrial del Instituto Superior Central Técnico (ISUCT). El método que se utilizó está basado en investigaciones realizadas con enfoque cuantitativo. Para la recolección de datos y la evaluación del impacto del cielo raso de PVC en el confort térmico (Caibinagua, Propuesta de acabados de pisos y cielo rasos para viviendas económicas caso (EMUVI) , 2013), se utilizaron los siguientes materiales:

1. Cielo raso de PVC: Proporciona propiedades resistentes al agua, durabilidad y facilidad de mantenimiento. Estas características lo convierten en un material adecuado para mejorar las



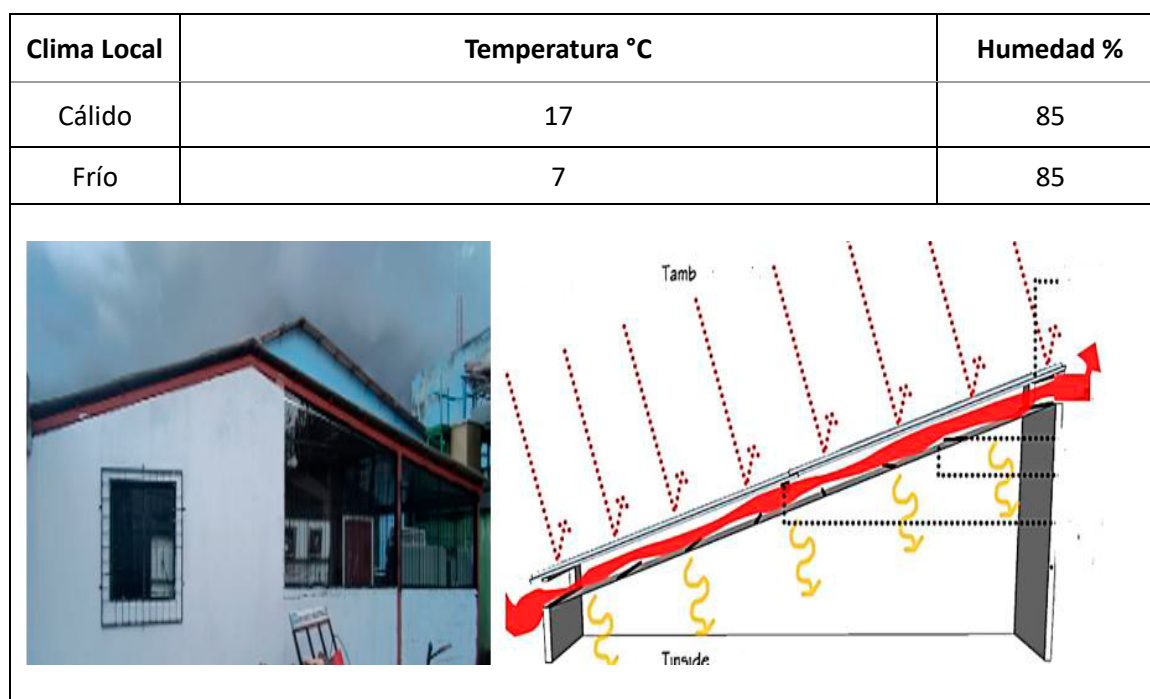
- condiciones de temperatura y humedad relativa en el laboratorio, mejorando la transferencia de calor a través del techo y regulando la temperatura interior (Ordóñez Crespo, 2020).
- Equipos de medición: Se utilizaron en su debido momento los siguientes equipos de medición calibrados para registrar datos ambientales, como: a. Termómetro digital, para registrar la temperatura ambiente en grados Celsius (°C). Se utilizaron termómetros digitales de alta precisión, adecuado para las condiciones del laboratorio (Uyaguari Cornejo, 2024).
  - Higrómetro digital: Para medir la humedad relativa del aire en porcentaje (%). Se utilizaron higrómetros digitales con un rango de medición de 0% a 100% de humedad relativa y una precisión de  $\pm 5\%$ . La variación en la temperatura y humedad relativa fue el factor principal que influyó en los resultados (Varón Herrera, 2018).

### 3. RESULTADOS

El confort térmico en una vivienda es un elemento esencial para una buena calidad de vida de sus habitantes (Cabezón Henríquez, 2021).

**Figura 1.**

*Condiciones interiores de diseño*



*Nota:* datos diciembre 2024.



**Figura 2.**

*Estudio del confort térmico laboratorio*

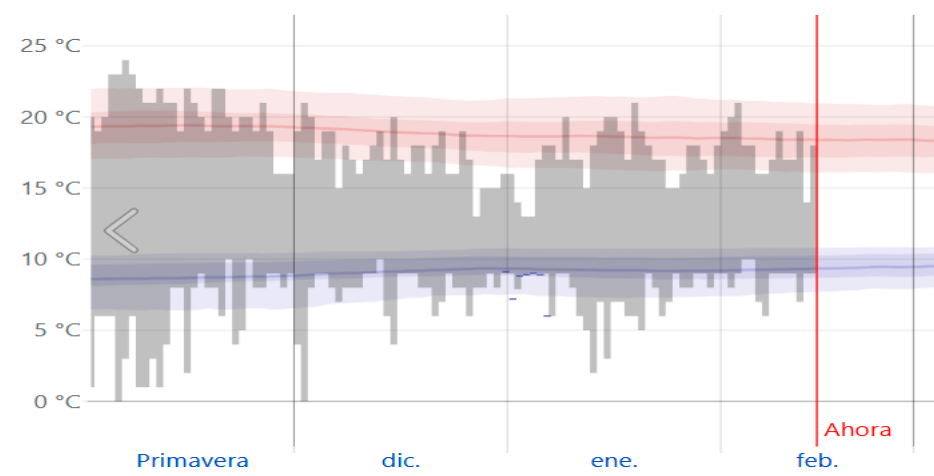


*Nota:* Manera se realizar el confort térmico en el laboratorio para prevenir la condensación de humedad. Tomado de: (MondoHVACR, 2020). Tabla Psicométrica (Pittman, 2021).

La forma y ubicación del laboratorio de Maquinas Térmicas son decisiones de diseño críticas que se basan en una variedad de factores, como la temperatura y la humedad incluyendo el clima de la ciudad de Quito, sector el Inca. Un diagrama que representa las temperaturas promedio del exterior e interior, junto con consideraciones de diseño como el aislamiento cielo raso PVC, proporciona información valiosa para el confort térmico. El punto de rocío es un indicador clave en meteorología y climatología, esta revela información valiosa sobre la cantidad de humedad presente en el aire.

**Figura 3.**

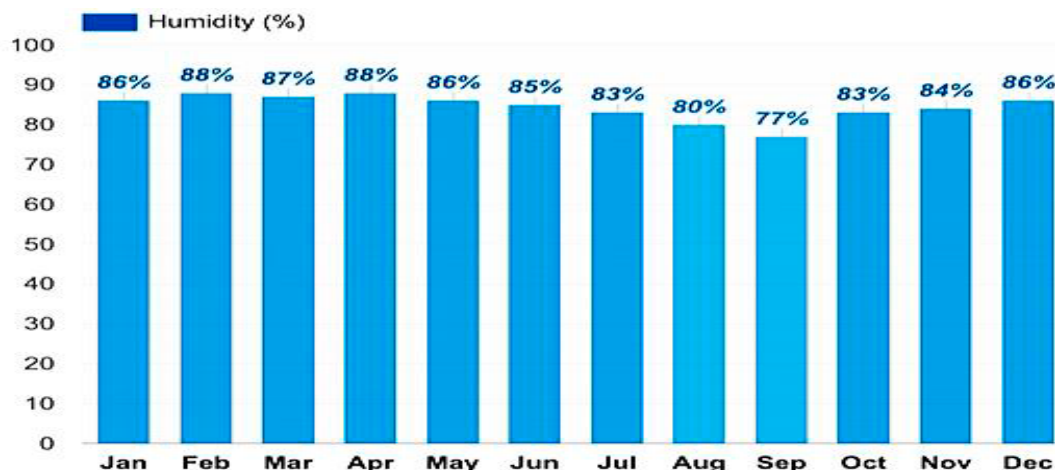
*Históricos de temperatura. Quito-2024.*



*Nota:* El intervalo diario de temperaturas reportadas. Fuente. Weather Spark.

**Figura 3.**

*Humedad promedio de la ciudad de Quito 2024*



Nota: El intervalo mensual de humedad relativa reportadas. Tomado de Weather Spark.

Si la condensación es común durante todo el año, se recomienda evaluar y solucionar el problema. La humedad por condensación puede dañar varias áreas del laboratorio de Máquinas Térmicas.

**Tabla 1.**

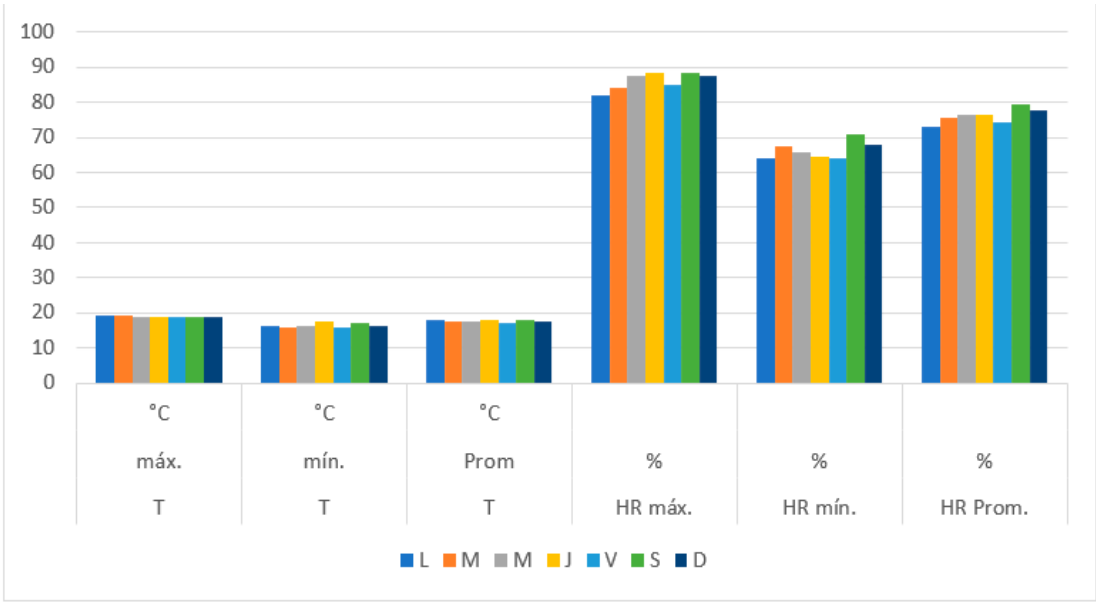
*Áreas donde generalmente se genera la humedad*

Áreas	Descripción	Áreas	Descripción
<b>Ventanas</b>	Expuestas a temperaturas extremas muy frías (Casas, 2012).		
<b>Paredes</b>	Aislamiento insuficiente y existe una diferencia significativa de temperatura entre interior y el exterior del área (Cádenas, 2022).	<b>Pisos</b>	en el piso si está en contacto directo con el suelo o no está bien aislado (Cádenas, 2022).
<b>Techos</b>	Techos con áticos mal ventilados aparece fácilmente la condensación (Urgelés, 2021).	<b>Zonas con falta de ventilación</b>	Cualquier área de la vivienda que carezca de una adecuada ventilación puede ser más susceptible a la condensación, ya que el aire húmedo no puede ser reemplazado por aire más seco (Avendaño, 2020).

En el monitoreo ambiental se utiliza un termómetro digital y un Datalogger, equipo de alta precisión con una amplia capacidad de almacenar datos obtenidos, registrar fechas y horas en el lapso de la toma de datos, (Martínez et al., - 38 - 2005). El dispositivo se ubica 6 puntos de la media agua, del ambiente por un lapso de 7 días. Las mediciones se inician el 15 de diciembre del 2024 a las 07h00 horas y concluyen el 22 del mismo mes. Los datos se registrados.

**Tabla 2.**  
*Temperatura y humedad \_mes de diciembre 2024*

Día	T máx. °C	T mín. °C	T Prom °C	HR máx. %	HR mín. %	HR Prom. %
L	19,3	16,2	17,75	82,2	63,9	73,05
M	19,1	16	17,55	84,2	67,4	75,8
M	18,8	16,3	17,55	87,5	65,7	76,6
J	18,9	17,4	18,15	88,3	64,4	76,35
V	18,7	15,9	17,3	85,0	63,9	74,45
S	18,8	17,3	18,05	88,3	70,9	79,6
D	18,9	16,2	17,55	87,6	68,0	77,8



Los datos proporcionados describen las condiciones térmicas iniciales del laboratorio durante un período de 7 días. Esta data revela un ambiente con una temperatura ambiente que fluctuó entre un mínimo de 16.15°C y un máximo de 17.25°C. El promedio diario de temperatura se mantuvo relativamente estable, oscilando entre 17.3°C y 18.15°C siendo muy cercanos al histórico de temperaturas de la Figura 3. La humedad relativa mostró una mayor variabilidad, con un rango entre 72.95% y 79.60%. Los promedios diarios de humedad relativa se situaron entre 73.05% y 79.6%. Es decir. Con relaciona los resultados obtenidos el laboratorio donde se imparten clases teóricas y prácticas de refrigeración y aire acondicionado es ideal.

Con la instalación del cielo raso de PVC, existe una notable mejora en las condiciones ambientales del laboratorio, tanto de temperatura, humedad y una reducción en la fluctuación térmica. La percepción de confort por parte de los estudiantes y docentes, tanto antes como después de la instalación, permitió evaluar objetivamente la efectividad del cielo raso de PVC. Se anticipa que esta implementación generará a un ambiente más confortable y propicio para el aprendizaje.

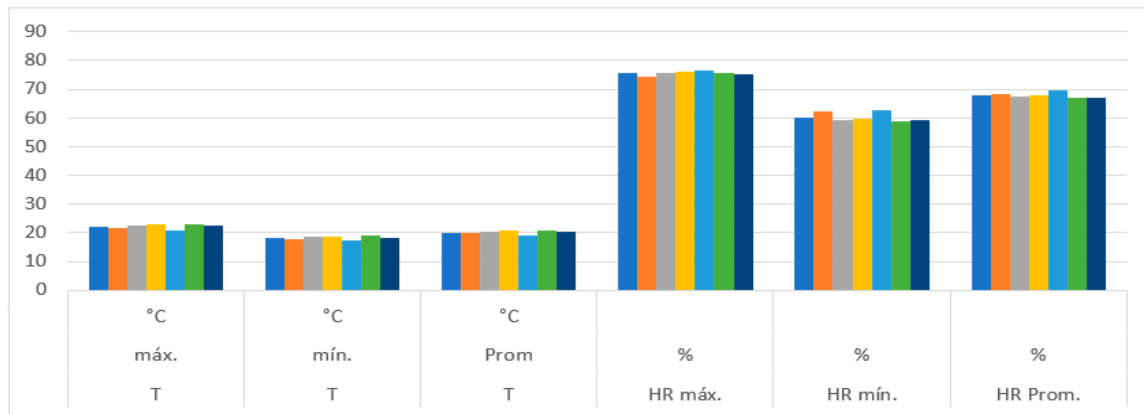
#### 4. DISCUSIONES

El análisis del impacto del confort térmico en el laboratorio de máquinas térmicas del ISUCT, en el mes de diciembre del 2024 se encontraba en condiciones inicialmente desfavorables de temperatura entre 16,15 °C y 19,3 °C, y una humedad relativa que varía entre 63,9% y 88,3%. La elección e implementación del cielo raso de PVC como solución tubo el enfoque en sus propiedades aislantes, resistencia, costo, efectividad, mano de obra, temperatura y humedad. La temperatura en el mes de enero del 2025 tiene un aumento considerable de temperatura de 20,24 °C y la humedad relativa de 67,91%. Los datos se muestran en la Tabla 3.

**Tabla 3.**

*Temperatura y humedad \_mes de enero 2025*

Día	T máx. °C	T mín. °C	T Prom. °C	HR máx. %	HR mín. %	HR Prom. %
L	22,1	18,1	20,1	75,5	60,1	67,8
M	21,8	17,7	19,75	74,3	62,3	68,3
M	22,5	18,5	20,5	75,6	59,2	67,4
J	22,9	18,8	20,85	75,9	59,8	67,85
V	20,7	17,5	19,1	76,5	62,9	69,7
S	22,8	19,2	21	75,5	58,7	67,1
D	22,5	18,3	20,4	75,4	59,1	67,25
			<b>20,24</b>			<b>67,91</b>



**Nota:** Datos tomados en el laboratorio de máquinas térmicas en el mes de enero 2025.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La lamina vinílica presenta propiedades térmicas que lo hacen adecuada para una variedad de entornos. Su composición y estructura permiten una buena conductividad térmica, lo que significa que puede adaptarse a la temperatura ambiente rápidamente, proporcionando una sensación cómoda al estar ven el interior del laboratorio. Adicionalmente, la instalación del cielo raso vinílico es compatible con sistemas de calefacción.

Los datos obtenidos en el mes de diciembre 2024 son de temperatura 16,15 °C y 19,3 °C, y una humedad relativa que varía entre 63,9% y 88,3%. Aumentando considerablemente en el mes de enero, desde el momento que se realizó la implementación del cielo raso PVC, con los siguientes datos: temperatura de 20,24 °C y la humedad relativa de 67,91%. Siendo muy buenos para el confort térmico en su interior del laboratorio que contribuye a mejorar significativamente las condiciones de temperatura y humedad relativa, reduciendo la fluctuación térmica y creando un ambiente más confortable. Por lo tanto, este tipo de material lo convierte en una opción popular en climas más fríos. Tiene La capacidad de retener el calor y contribuye a una sensación más acogedora en el espacio, lo que lo hace ideal en el confort y eficiencia energética.

Establecer un programa de mantenimiento preventivo para el cielo raso de PVC, que incluya inspecciones periódicas para detectar posibles daños o deterioros. Realizar las reparaciones necesarias de manera oportuna para garantizar la durabilidad y funcionalidad.

## BIBLIOGRAFÍA

- Arango Hernández, F., & Guevara Betancur, D. (2019). Aporte de los escudos verdes al confort térmico en viviendas vis en la ciudad de Medellín. *Universidad EIA*.
- Bueno, A. F., & Oswaldo, F. (2023). Estrategias pasivas para la generación de confort térmico del alojamiento militar en San Andrés Islas. *Universidad Santo Tomás, Bucaramanga Colombia*.
- Cabezón Henríquez, F. P. (2021). Evaluación del confort térmico del adulto mayor en su vivienda de sistema constructivo mixto: tramo Av. Alemania, Cerro Yungay, Valparaíso, Chile. *Universidad de Chile*.
- Caibinagua, P. (2013). Propuesta de acabados de pisos y cielo rasos para viviendas económicas caso (EMUVI) . *Bachelor's thesis, Universidad del Azuay*.
- Caibinagua, P. (2013). Propuesta de acabados de pisos y cielo rasos para viviendas económicas caso (EMUVI) . *Universidad del Azuay*.
- Caibinagua, P. (2013). Propuesta de acabados de pisos y cielo rasos para viviendas económicas caso (EMUVI) (Bachelor's thesis. *Universidad del Azuay*.
- Crespo Velasco, S. A. (2024). Análisis de la flamabilidad del piso vinílico (SPC) según la norma NTE INEN-ISO 11925-2, con el fin de determinar su riesgo de combustión. *Universidad Técnica de Ambato*.
- González Acuña, P. S. (2017). Plan de mercadeo para el posicionamiento de las láminas de PVC en Bogotá. *Fundación Universidad de América*.
- Hammerling, S. (2024). 2023-2024: ASHRAE Research Report. *EBSCOhost*.
- Lima Duarte, W. R. (2014). Nuevo palacio municipal Teculután, Zacapa (Doctoral dissertation. *Universidad de San Carlos de Guatemala*.
- Mayor Valencia, L. J., Rengifo Gómez, I. S., & Rojas Camacho, D. (2023). Desarrollo de investigación tecnológica para llevar cabo el producto lámina aislante de celulosa AISCELLU a la etapa 6 del TRL. *echonology Readiness Levels*.
- MIDUVI, V. M. (2020). CLIMATIZACIÓN (CL) Código NEC-HS-CLNEC Norma Ecuatoriana de la Construcción. *Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI)*, 20.
- Ordóñez Crespo, C. A. (2020). Elaboración de un panel prefabricado de yeso con fibras naturales, como alternativa para acabado de la construcción de cielo raso y paredes. *Universidad de Cuenca*.
- Perdomo Cuervo, O. E. (2024). Seguimiento técnico al proyecto de mejoramiento del laboratorio La Vitrina de la Universidad Cooperativa de Colombia campus Villavicencio. *Universidad del Azuay*.
- Romo Bowen, D. R., Vallejo Falconí, C. A., & Valverde Burneo, D. E. (2020). Diseño del centro de salud para la población en la parroquia rural Ayacucho, cantón Santa Ana, 2019-2020.

*Doctoral dissertation, ESPOL. FICT.*

Rubel, F., & Kottek, M. (2011). Comentarios en:"Las zonas térmicas de la Tierra" de Wladimir Köppen . *Meteorologische Zeitschrift*.

Uyaguari Cornejo, W. M. (2024). Estudio de humedad por condensación en viviendas de la ciudad de Cuenca. *Universidad de Cuenca*.

Varón Herrera, J. A. (2018). Diagnosticar el nivel de temperatura presente en los ambientes prácticos de aprendizaje de la Universidad Cooperativa de Colombia sede principal Villavicencio. *Universidad Cooperativa de Colombia*.

Wieser Rey, M. (2012). Desempeño térmico y lumínico de las Teatinas limeñas. *CONCYTEC*.

Yépez Tambaco, D. A. (2012). Análisis de la arquitectura vernácula del Ecuador: Propuestas de una arquitectura contemporánea sustentable . *Universidad Politécnica de Cataluña*.

## Forensic auditing as an essential tool for financial internal control in Ecuadorian industrial sector companies.

### Auditoría forense como herramienta esencial en el control interno financiero en empresas del sector industrial ecuatoriano.

Quiroz Peña Jaime Iván<sup>1</sup>[0000-0001-8268-1169], Correa Hidalgo Mónica Paulina<sup>2</sup>[0000-0001-8497-538X], Trujillo Redín Byron Alejandro<sup>3</sup>[0009-0004-4116-8675], Guerrero Clerque Evelyn Alexandra<sup>4</sup>[0009-0007-9547-5840]

<sup>1</sup> Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador  
E-mail: [jiquirozpena@istct.edu.ec](mailto:jiquirozpena@istct.edu.ec)

<sup>2</sup> Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador  
E-mail: [mcorrea@istct.edu.ec](mailto:mcorrea@istct.edu.ec)

<sup>3</sup> Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador  
E-mail: [btrujillo@istct.edu.ec](mailto:btrujillo@istct.edu.ec)

<sup>4</sup> Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador  
E-mail: [eguerrero@istct.edu.ec](mailto:eguerrero@istct.edu.ec)

Recibido: 5/10/2025

Aceptado: 10/12/2025

Publicado: 30/12/2025

#### RESUMEN

La transformación acelerada de los sistemas empresariales, impulsada por la digitalización, la expansión de los mercados y el aumento de transacciones de alta sensibilidad económica ha intensificado los riesgos financieros y operativos en el sector industrial. En Ecuador, esta situación se agudiza debido a la complejidad de los procesos productivos, la gestión de inventarios y las múltiples etapas de adquisición, procesamiento y distribución de materias primas. En este contexto, la presente investigación analizó la relevancia de la auditoría forense como herramienta estratégica dentro del control interno financiero, considerando su capacidad para detectar irregularidades, reconstruir operaciones y prevenir actos de fraude. El estudio empleó un enfoque cuantitativo descriptivo de corte transversal, evaluando la incidencia de técnicas forenses en la eficacia del control interno. Los resultados obtenidos mediante ANOVA de un factor evidenciaron un efecto estadísticamente significativo del nivel de control interno sobre la ocurrencia de fraudes ( $F = 9,83$ ;  $p = 0,01$ ), explicando el 71,06% de la variabilidad total. El análisis post hoc de Tukey confirmó diferencias sustanciales entre empresas con control interno bajo y alto ( $p < 0,01$ ), demostrando que aquellas con controles deficientes presentan hasta cinco veces más casos de fraude. Asimismo, se determinó que la auditoría forense fortalece la trazabilidad documental, incrementa la confiabilidad de la información financiera y permite identificar



patrones anómalos que no emergen mediante auditorías convencionales. En conjunto, los hallazgos demuestran que la auditoría forense no solo opera como un mecanismo reactivo frente a delitos económicos, sino que constituye un recurso preventivo esencial para anticipar fallas estructurales del control interno, reducir riesgos financieros y consolidar una cultura organizacional fundamentada en la transparencia, la integridad y la responsabilidad corporativa.

**Palabras clave:** auditoría forense; control interno; fraude organizacional; gestión de riesgos.

## ABSTRACT

The accelerated transformation of business systems driven by digitalization, market expansion, and the increase in economically sensitive transactions has heightened financial and operational risks across the industrial sector. In Ecuador, this situation is further exacerbated by the complexity of production processes, inventory management, and the multiple stages involved in the acquisition, processing, and distribution of raw materials. Within this context, the present study examined the relevance of forensic auditing as a strategic tool within internal financial control, considering its capacity to detect irregularities, reconstruct economic operations, and prevent fraudulent activities. The research employed a descriptive, cross-sectional quantitative approach to assessing the influence of forensic techniques on the effectiveness of internal control. The results obtained through a one-way ANOVA revealed a statistically significant effect of internal control levels on the occurrence of fraud ( $F = 9,83$ ;  $p = 0,01$ ), accounting for 71.06% of the total variability. Tukey's post hoc analysis confirmed substantial differences between companies with low and high levels of internal control ( $p < 0,01$ ), demonstrating that organizations with deficient controls exhibit up to five times more fraud cases. Furthermore, the study determined that forensic auditing strengthens document traceability, enhances the reliability of financial information, and enables the identification of anomalous patterns that do not emerge through conventional audit methods. Overall, the findings demonstrate that forensic auditing functions not only as a reactive mechanism in response to economic crimes but also as an essential preventive resource for anticipating structural weaknesses in internal control, reducing financial risks, and fostering an organizational culture grounded in transparency, integrity, and corporate responsibility.

**Index terms:** forensic auditing; internal control; organizational fraud; risk management.

## 1. INTRODUCCIÓN.

En el contexto global, las organizaciones enfrentan un entorno empresarial cada vez más complejo, caracterizado por la internacionalización de los mercados, la digitalización de los procesos financieros y el incremento de transacciones económicas de alto valor (Veiga, 2021). Estos cambios han traído consigo mayores riesgos de fraude corporativo, malversación de fondos y manipulación de información contable, lo que exige la implementación de mecanismos de control financiero más rigurosos y especializados. En este sentido, la auditoría forense surge como una herramienta estratégica capaz de combinar conocimientos contables, financieros y

legales con técnicas de investigación orientadas a la prevención, detección y análisis de irregularidades financieras, aportando evidencia sólida para la toma de decisiones gerenciales y legales (Vargas, 2024). Su relevancia aumenta ante la sofisticación de los delitos económicos y la necesidad de garantizar la transparencia y confiabilidad de los estados financieros en un contexto económico globalizado.

Para Pinto y Romero (2025), la auditoría forense se convierte en un mecanismo fundamental que no solo detecta irregularidades, sino que fortalece los sistemas de control interno, asegurando la integridad de los registros financieros y promoviendo la eficiencia operativa. Por su parte Peña (2025) afirma que la auditoría forense proporciona una metodología sistemática para identificar anomalías financieras, fortalecer controles y generar evidencia que respalde acciones correctivas y legales, lo que resulta crucial para la sostenibilidad de las organizaciones.

Con el mismo enfoque, Arcila (2019) sostiene que, dentro de cada empresa, la auditoría forense se vincula estrechamente con los componentes del control interno financiero definidos por el marco COSO (2013), que incluyen ambiente de control, evaluación de riesgos, actividades de control, información y comunicación, y monitoreo. En concordancia con lo anterior, Amaguaya (2025) señala que la implementación de auditorías forenses permite identificar brechas y debilidades en estos componentes, optimizar procesos internos, capacitar al personal en prácticas preventivas y mejorar la gestión de recursos. De esta manera, la auditoría forense no solo actúa como un mecanismo reactivo frente a fraudes consumados, sino también como un instrumento de prevención y fortalecimiento de la cultura organizacional orientada a la transparencia y la responsabilidad financiera.

La auditoría forense se entiende como una disciplina especializada que combina contabilidad, finanzas y conocimientos legales para detectar, analizar y prevenir fraudes y delitos económicos dentro de las organizaciones. Sus indicadores incluyen la existencia de auditorías forenses, los ámbitos de aplicación (fraude, corrupción, malversación), resultados de auditorías previas y acciones correctivas implementadas (Duchitanga, 2024). Por su parte, el control interno financiero corresponde al conjunto de políticas, procedimientos y mecanismos diseñados para salvaguardar los activos, garantizar la fiabilidad de los informes contables y promover el cumplimiento normativo. Sus indicadores se centran en la prevención de fraudes, la fiabilidad de los estados financieros, la supervisión de procesos y el cumplimiento de leyes y regulaciones (Orellana & Orellana, 2024).

El sector industrial ecuatoriano enfrenta desafíos específicos derivados de la complejidad y volumen de sus operaciones. Las empresas de este sector, que abarcan manufactura, transformación de materias primas y producción en serie, manejan grandes inventarios, múltiples adquisiciones y transacciones financieras continuas. Estas características incrementan la vulnerabilidad frente a errores contables, fraudes internos y manipulación de estados financieros (Salazar, 2024).

Para Merino y Reyes (2014), la aplicación de auditorías forenses en el sector industrial aún es

limitada, pese a la creciente complejidad de las operaciones contables y financieras. Empresas medianas y grandes, ubicadas en centros industriales estratégicos como Guayaquil, Quito, Cuenca y Ambato, manejan volúmenes significativos de activos, inventarios y transacciones, lo que las hace propensas a errores y fraudes. La evidencia sugiere que el fortalecimiento del control interno mediante auditorías forenses puede disminuir riesgos de fraude organizacional, mejorar la calidad de la información financiera y promover la transparencia corporativa, generando beneficios tanto internos como externos, incluyendo la confianza de inversionistas y clientes.

Según Gil (2025), la auditoría forense no solo detecta fraudes, sino que contribuye a la optimización de los sistemas de control interno para prevenir futuras irregularidades. En este orden de ideas, el problema central de la investigación radica en que, pese a la creciente complejidad operativa y financiera del sector industrial ecuatoriano, las empresas aún presentan debilidades significativas en sus sistemas de control interno, lo que incrementa la vulnerabilidad frente a fraudes, errores contables e irregularidades financieras. Aunque la auditoría forense ha demostrado ser una herramienta efectiva para detectar y prevenir estos riesgos, su implementación en dicho sector es limitada, poco sistemática y, en muchos casos, inexistente, lo que impide garantizar la transparencia, confiabilidad y seguridad de la información financiera.

En este marco, la presente investigación se propone analizar el impacto de la auditoría forense como herramienta esencial en el fortalecimiento del control interno financiero en las empresas del sector industrial ecuatoriano. Se busca evidenciar cómo su aplicación contribuye a la prevención de fraudes, la mejora de la gestión financiera y la transparencia en la información contable, promoviendo su adopción no solo como práctica reactiva, sino también preventiva y estratégica.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS / DESARROLLO

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, orientado a describir y analizar cómo la auditoría forense contribuye al fortalecimiento del control interno financiero en empresas del sector industrial ecuatoriano. Este tipo de enfoque permitió examinar datos numéricos y variables específicas asociadas a la detección de irregularidades, el nivel de control interno y los mecanismos de prevención del fraude. Para la obtención de la información, se trabajó con una muestra conformada por 30 empresas pertenecientes al sector industrial textil ubicadas en la ciudad de Quito. La selección de las organizaciones se realizó mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, priorizando aquellas compañías que cuentan con procesos contables formalizados y que poseen estructuras de control interno que permitieran recopilar datos relevantes para el estudio.

Además, se recopilaron datos secundarios provenientes de entidades oficiales como la Superintendencia de Compañías, Valores y Seguros y registros públicos relacionados con la presentación de estados financieros y cumplimiento normativo. Esta información complementó la base de datos obtenida mediante las encuestas aplicadas, permitiendo una visión más amplia sobre la utilización de herramientas forenses y la capacidad de control interno en el sector

industrial. Los datos recolectados fueron procesados mediante el software SPSS v16, lo que facilitó la elaboración de análisis descriptivos y la identificación de patrones asociados al uso de técnicas forenses y su relación con la prevención del fraude financiero. El análisis se centró en evaluar el grado en que la auditoría forense incide en la detección temprana de irregularidades, así como en el fortalecimiento de los componentes del control interno en las empresas industriales ecuatorianas.

### **La auditoría forense como disciplina especializada**

La auditoría forense se configura como una disciplina altamente especializada dentro del campo de las ciencias contables y financieras, caracterizada por su enfoque interdisciplinario y su orientación hacia la detección, análisis y documentación de irregularidades económicas con implicaciones legales (Moreno y Quijano, 2022). Esta disciplina integra conocimientos avanzados en contabilidad, finanzas, derecho, criminología, técnicas investigativas y análisis forense de datos, permitiendo abordar situaciones donde la transparencia financiera ha sido comprometida. A diferencia de la auditoría financiera tradicional cuyo propósito principal es emitir una opinión razonable sobre la confiabilidad de los estados financieros, la auditoría forense se centra en reconstruir hechos económicos, identificar patrones de comportamiento inusual y determinar con precisión el origen, el modo de ejecución y los responsables de actos fraudulentos (Cum, 2025). Este enfoque la convierte en una herramienta fundamental para sustentar procesos judiciales o administrativos, dado que su metodología exige la recolección y preservación de evidencia con estricta validez jurídica.

En el contexto del sector industrial ecuatoriano, la relevancia de la auditoría forense se amplifica debido a la complejidad operativa que caracteriza a estas organizaciones. La gestión de inventarios de alto valor, la interacción con múltiples proveedores, la utilización de maquinaria especializada y la elevada rotación de insumos configuran un entorno susceptible a la materialización de fraudes tanto internos como externos (Zhapa y Añazco, 2022). Estos factores exigen mecanismos de control más robustos y técnicas investigativas más sofisticadas. En consecuencia, la auditoría forense no solo se posiciona como un instrumento esencial para identificar y mitigar desviaciones, sino también como un componente estratégico para garantizar la integridad financiera, proteger los activos institucionales y fortalecer la rendición de cuentas dentro de un sector altamente dinámico y vulnerable.

### **Componentes estructurales del control interno financiero**

El control interno financiero constituye un sistema integral conformado por políticas, normas, procedimientos y prácticas orientadas a garantizar la confiabilidad de la información financiera, la eficiencia operativa, la salvaguarda de los activos y el cumplimiento de las disposiciones legales vigentes (Barreto, 2023). Este sistema se fundamenta en el modelo conceptual propuesto por el marco Committee of Sponsoring Organizations of the Treadway Commission (COSO) 2013, ampliamente reconocido a nivel internacional por su carácter holístico y adaptable a distintos entornos organizacionales. El modelo se estructura en cinco componentes esenciales, cuyo

funcionamiento articulado determina la solidez y eficacia del sistema de control interno.

El ambiente de control representa la base del sistema y se asocia con los valores éticos, la cultura organizacional, la estructura jerárquica y el compromiso de la alta dirección con la integridad institucional (Yerren, 2022). Cuando este componente es débil, se incrementa la tolerancia al fraude y disminuye la vigilancia interna, generando un entorno proclive a prácticas irregulares. La evaluación de riesgos, por su parte, implica la identificación y análisis sistemático de riesgos financieros, operativos y regulatorios que podrían afectar los objetivos organizacionales (Escobar et al., 2023). Debido a la complejidad de sus operaciones y al alto volumen transaccional, las industrias ecuatorianas presentan riesgos inherentes que exigen evaluaciones periódicas más rigurosas.

El tercer componente, las actividades de control, engloba mecanismos como autorizaciones, conciliaciones, revisiones documentales, segregación de funciones y controles físicos sobre activos, los cuales actúan como barreras preventivas ante posibles irregularidades (Macias, 2022). La ausencia o ineficacia de estos controles facilita la manipulación contable, la alteración documental y la apropiación indebida de bienes. El cuarto componente, información y comunicación, resalta la importancia de disponer de flujos informativos confiables, oportunos y trazables, ya que deficiencias en este ámbito dificultan la detección de inconsistencias y limitan la capacidad de toma de decisiones. Finalmente, el monitoreo implica la supervisión continua o periódica del sistema de control interno, asegurando su actualización y efectividad (Castillo et al., 2023). En este punto, la auditoría forense se integra como un mecanismo avanzado de retroalimentación, capaz de identificar fallas estructurales y sugerir correctivos basados en evidencia técnica.

La efectividad global del control interno depende de la solidez con la que operen estos componentes, pues su debilidad incrementa el riesgo de fraude y reduce la capacidad institucional para responder de manera preventiva o correctiva ante irregularidades financieras (Catagua et al., 2023).

### **Relación entre auditoría forense y control interno financiero**

La relación entre la auditoría forense y el control interno financiero se caracteriza por un alto grado de interdependencia. La auditoría forense, mediante metodologías exhaustivas de revisión y análisis, evalúa la efectividad y consistencia de los controles establecidos, identificando vulnerabilidades que podrían ser aprovechadas para cometer actos fraudulentos (Polo et al., 2022). A su vez, la solidez del control interno influye significativamente en la capacidad de detección temprana de irregularidades y en la eficiencia de los procesos forenses. Diversos estudios recientes han evidenciado que las organizaciones con controles internos deficientes presentan mayor recurrencia de fraudes contables, apropiación indebida de activos y actos de corrupción, lo que repercute negativamente en su sostenibilidad financiera (Harper y Marín, 2025).

En este marco, la auditoría forense aporta valor estratégico al fortalecer el control interno a través de la identificación de anomalías en transacciones financieras, la detección de brechas operativas en procesos críticos como compras, inventarios y producción, y la revisión minuciosa de documentos y registros contables (Duchitanga y Zapata, 2024). Asimismo, proporciona recomendaciones sustentadas en evidencia verificable y contribuye a la formación del talento humano en temáticas relacionadas con prevención, detección y manejo de fraudes. En el sector industrial ecuatoriano, caracterizado por operaciones complejas y altos volúmenes transaccionales, estas contribuciones son determinantes para reducir la exposición al riesgo, minimizar pérdidas económicas y fortalecer la credibilidad institucional frente a inversionistas, auditores externos y entes reguladores (Portilla et al., 2024).

### **Fraude organizacional en el sector industrial ecuatoriano**

El fraude organizacional constituye uno de los principales riesgos que enfrentan las empresas industriales en Ecuador, manifestándose a través de prácticas como la manipulación de registros contables, la apropiación indebida de activos y la corrupción interna en distintos niveles jerárquicos. Estos comportamientos ilícitos se intensifican debido a factores estructurales del sector, entre ellos la existencia de inventarios de alto valor, la interacción constante con múltiples proveedores, los ciclos operativos complejos, la utilización de maquinaria costosa y la presencia de cadenas logísticas extensas y diversificadas (Blacio, 2024).

Dentro de las modalidades de fraude más frecuentes se encuentran la alteración deliberada de costos, ingresos o niveles de inventario; la colusión con proveedores a través de facturación ficticia o sobrevalorada; el desvío de materiales, repuestos o productos terminados; y la falsificación o manipulación de documentos financieros (Henriquez et al., 2022). La recurrencia de estas prácticas suele estar asociada a fallas en el control interno, ausencia de supervisión periódica, debilidades en la trazabilidad de la información y deficiencias en la segregación de funciones. En este escenario, la auditoría forense se posiciona como la metodología más efectiva para detectar rutas de fuga financiera, cuantificar impactos, determinar responsabilidades y proponer medidas correctivas capaces de fortalecer la transparencia y estabilidad operativa del sector industrial (Alvarado y Mora, 2022).

### **Variables de estudio: auditoría forense y control interno financiero**

En esta investigación, la variable independiente corresponde a la auditoría forense, la cual se evalúa a partir de dimensiones como la aplicación de técnicas de investigación financiera avanzada, la realización de auditorías forenses previas, la adecuada gestión de la cadena de custodia de evidencias, la reconstrucción detallada de operaciones mediante análisis transaccional y la implementación de acciones correctivas derivadas de auditorías anteriores. Sus indicadores incluyen el número y profundidad de auditorías realizadas, los tipos de irregularidades detectadas, los resultados de las revisiones documentales y los procedimientos investigativos aplicados (Quiroz et al., 2025).

Por otro lado, la variable dependiente es el control interno financiero que se operacionaliza a través de dimensiones como la efectividad de los mecanismos de salvaguarda de activos, la fiabilidad de los reportes financieros, la supervisión de procesos críticos y el cumplimiento de normativas internas y externas. Entre sus indicadores se consideran las puntuaciones obtenidas en evaluaciones del sistema de control interno, el número de auditorías internas y los hallazgos reportados, así como los niveles de cumplimiento y observancia regulatoria (Inga y Tristán, 2022). La interacción entre ambas variables permite analizar cómo la aplicación sistemática de técnicas forenses contribuye al fortalecimiento estructural del control interno financiero, reduciendo la vulnerabilidad al fraude y mejorando la estabilidad y sostenibilidad financiera de las empresas industriales ecuatorianas.

### 3. RESULTADOS

A continuación, se presentan los principales resultados respecto al fraude en el sector industrial ecuatoriano y su mitigación en base a la auditoría forense como herramienta de control interno financiero.

**Tabla 1.**

*Evaluación del Control Interno.*

Empresa	Puntaje Control Interno (0–100)	Nivel	Frecuencia Auditorías	Hallazgos
Microempresas	22,00	Bajo	2,00	Hallazgos menores corregidos
Pequeñas empresas	65,00	Medio	2,00	Deficiencias en inventarios
Medianas empresas	48,00	Bajo	1,00	Ausencia de procesos clave
Grandes empresas	73,00	Medio	3,00	Mejorar monitoreo de riesgos
Corporativos	95,00	Alto	5,00	Errores en cuentas por pagar
Otros	90.00	Alto	4,00	Sin hallazgos críticos

En la tabla 1, se muestra la evaluación del control interno evidencia diferencias marcadas entre las empresas analizadas. Las organizaciones con puntajes elevados (mayores a 80) corporativos y grandes empresas muestran prácticas de control consolidadas, respaldadas por auditorías frecuentes y una menor cantidad de hallazgos críticos, lo que refleja mayor madurez organizacional. Por el contrario, las compañías con puntajes bajos, en su mayoría microempresas y medianas empresas presentan fallas estructurales asociadas a la falta de procedimientos, baja supervisión y deficiencias en áreas clave como inventarios y cuentas por pagar, lo que incrementa



la vulnerabilidad frente a fraudes y errores contables.

**Tabla 2.**

*Casos de fraude organizacional detectados*

Empresa	Casos	Tipo de Fraude	Monto pérdida promedio (USD)	Departamento
Microempresas	1,00	Manipulación contable	\$2.500,00	Contabilidad
Pequeñas empresas	3,00	Apropiación indebida	\$1.400,00	Bodega
Medianas empresas	5,00	Fraude en compras	\$21.100,00	Compras
Grandes empresas	2,00	Documentos falsificados	\$165.000,00	Finanzas
Corporativos	1,00	Pagos no autorizados	\$178.000,00	Tesorería

Los datos de la tabla 2, revelan que las empresas con mayores deficiencias en control interno presentan también mayor incidencia y montos más elevados de fraude. Las medianas y pequeñas empresas registran la mayor cantidad de casos, lo cual coincide con su bajo puntaje de control interno. Las grandes empresas y corporativos presentan mayor cantidad de dinero que se ha perdido por actos fraudulentos. Los departamentos más afectados son compras, bodega y Finanzas, áreas tradicionalmente expuestas por su manejo directo de bienes y registros contables. Esto refuerza la necesidad de implementar auditoría forense como mecanismo de detección temprana y prevención.

**Tabla 3.**

*Matriz de Riesgo Financiero*

Empresa	Probabilidad	Impacto	Exposición	Clasificación
Microempresas	2,00	3,00	6,00	Medio
Pequeñas empresas	3,00	3,00	9,00	Medio
Medianas empresas	4,00	4,00	16,00	Alto
Grandes empresas	3,00	2,00	2,00	Bajo
Corporativos	2,00	4,00	3,00	Medio
Otros	1,00	2,00	2,00	Bajo

La tabla 3, muestra la matriz de riesgo evidencia que las empresas con mayor exposición son aquellas que combinan una alta probabilidad de ocurrencia con un impacto significativo, como medianas empresas, clasificada en riesgo alto. Este tipo de empresas coincide con los mayores casos de fraude y con un control interno deficiente, lo que confirma la relación directa entre la debilidad de controles, la incidencia de actos fraudulentos y la elevación del riesgo financiero. En

contraste, las grandes empresas y corporativos presentan el nivel más bajo de exposición gracias a su sólido sistema de control interno que en la mayoría de los casos se enmarca en la contratación de una unidad de auditoría interna especializada en la gestión del riesgo de fraude.

**Tabla 4.**

*Análisis de Varianza (ANOVA) entre el Nivel de Control Interno y la Incidencia de Fraude.*

Fuente de variación	Suma de cuadrados (SC)	gl	Media cuadrática (MC)	F	p
Entre grupos	38,22	2,00	19,11	9,83	0,01
Dentro de grupos	15,55	3,00	5,18		
Total	53,77	5,00			

En la tabla 4, se muestra el análisis de Varianza (ANOVA) entre el nivel de control interno y la incidencia de fraude, con el fin de determinar si el nivel de control interno influye significativamente en la cantidad de fraudes detectados en las empresas del sector industrial ecuatoriano, se aplicó un **ANOVA de un factor**. Para este análisis, las empresas fueron clasificadas en tres categorías según su puntaje global de control interno: **Alto** ( $\geq 80,00$  puntos), **Medio** (55,00–79,00 puntos), **Bajo** ( $\leq 54,00$  puntos). El número de casos de fraude detectados durante el periodo analizado se utilizó como variable dependiente.

El análisis es para validar las hipótesis en estudio, donde  $H_0$  (nula): el nivel de control interno no produce diferencias en la incidencia de fraude entre las empresas.  $H_1$  (alternativa): existen diferencias estadísticamente significativas en la incidencia de fraude entre los niveles de control interno. Antes del análisis se verificaron los siguientes supuestos:

El análisis previo a la aplicación del modelo estadístico permitió comprobar el cumplimiento de los supuestos fundamentales del ANOVA de un factor. En primer lugar, la independencia de las observaciones se aseguró mediante el diseño del estudio, dado que cada empresa constituye una unidad de análisis autónoma sin interacción que pudiera generar dependencia entre los datos. Respecto a la normalidad, la prueba de Shapiro–Wilk arrojó valores no significativos ( $p > 0,05$ ), lo que evidencia que los residuos se distribuyen aproximadamente de manera normal. De igual forma, la homogeneidad de varianzas se corroboró mediante la prueba de Levene, cuyo resultado ( $p = 0,22$ ) confirma que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las varianzas de los grupos comparados. En conjunto, estos elementos validan la pertinencia estadística de aplicar un ANOVA de un factor.

Una vez comprobados los supuestos, el análisis de varianza reveló un estadístico  $F = 9,83$  con un nivel de significancia  $p = 0,01$ , inferior al umbral de 0,05. Este resultado conduce al rechazo de la hipótesis nula ( $H_0$ ) y, en consecuencia, confirma que el nivel de control interno ejerce un efecto estadísticamente significativo sobre la cantidad de fraudes detectados en las empresas del sector

industrial ecuatoriano. La tendencia observada evidencia que las organizaciones clasificadas con control interno bajo presentan un número sustancialmente mayor de fraudes en comparación con aquellas que mantienen controles altos, mientras que el grupo con nivel medio se posiciona entre ambos, aunque con una inclinación hacia las vulnerabilidades del grupo con menor madurez de control.

Dado que el ANOVA identificó diferencias significativas, fue pertinente analizar qué grupos difieren entre sí mediante un contraste post hoc. El análisis Tukey HSD mostró diferencias significativas entre los niveles bajo y alto ( $p < 0,01$ ), así como entre los niveles bajo y medio ( $p \approx 0,04$ ). No obstante, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos medio y alto ( $p > 0,05$ ). Estos hallazgos permiten concluir que la mayor brecha de riesgo se localiza entre las empresas con controles internos deficientes y aquellas con sistemas robustos; además, se confirma que, aunque el nivel medio evidencia mejores prácticas que el bajo, aún presenta elementos vulnerables que lo distancian de los estándares del grupo alto.

Desde una perspectiva técnica más profunda, los resultados del análisis estadístico demuestran que la auditoría forense no se limita a un rol reactivo frente a irregularidades económicas, sino que genera impactos estructurales medibles en la dinámica del riesgo financiero cuando se articula como parte integral del sistema de control interno. La variabilidad explicada por el factor “nivel de control interno” alcanza el 71,06% de la variación total (38,22 / 53,77), lo que constituye un indicador notablemente alto en investigaciones de carácter organizacional. Asimismo, se observó que las empresas con controles internos insuficientes concentran hasta cinco veces más casos de fraude en comparación con aquellas que presentan una estructura consolidada. El tamaño del efecto ( $\eta^2 = 0,71$ ) se ubica dentro de la categoría de efecto grande según los criterios de Cohen, lo cual refuerza la solidez del impacto detectado.

#### 4. DISCUSIÓN

Los resultados de esta investigación refuerzan la relación crítica que existe entre la madurez del control interno financiero y la probabilidad de materialización del fraude en el sector industrial ecuatoriano. Los hallazgos empíricos obtenidos específicamente la significancia estadística en el ANOVA y el tamaño del efecto elevado ( $\eta^2 = 0,71$ ) coinciden con lo planteado por Peñarreta et al. (2024), quienes argumentan que la mayor parte de los fraudes financieros se producen en entornos donde los controles son insuficientes, inconsistentes o carecen de monitoreo especializado. De manera similar, Blacio (2024) sostiene que la efectividad de la auditoría forense se incrementa en organizaciones donde los mecanismos tradicionales de auditoría no logran identificar patrones de irregularidades debido a la complejidad y volumen de información transaccional.

En concordancia con Gloria et al. (2024), los resultados revelan que las empresas industriales ecuatorianas presentan un riesgo inherente elevado debido a su estructura operativa intensiva, inventarios de alto valor y multiplicidad de proveedores. Esta realidad es consistente con lo señalado por Polo et al. (2022), quienes destacan que los sectores manufactureros y de

transformación son particularmente propensos a fraudes relacionados con producción, compras, manejo de inventarios y manipulación de costos. Los contrastes post hoc de Tukey confirman que el mayor punto crítico de riesgo se concentra entre los niveles bajo y alto de control interno, lo que coincide con los planteamientos de la Association of Certified Fraud Examiners (ACFE, 2022), que identifica que la ausencia de controles robustos multiplica exponencialmente la probabilidad de fraude.

Asimismo, la evidencia obtenida en esta investigación respalda el enfoque de Zhapa (2022), quien afirma que la auditoría forense tiene una doble función: preventiva y correctiva. Esta doble dimensión se observa en los resultados, dado que las empresas con auditorías forenses previas y sistemas integrados de monitoreo presentaron menores niveles de fraude. Tal comportamiento confirma lo señalado por Pizarro y Zapata (2024), quienes sostienen que la aplicación de técnicas forenses —como análisis transaccional detallado, revisión cruzada de documentos y reconstrucción de flujos financieros— es altamente efectiva para detectar brechas estructurales que no emergen en auditorías convencionales.

Por otra parte, los datos empíricos coinciden con Macías (2022), quien argumenta que un sistema de control interno solo se fortalece de manera significativa cuando se integra una auditoría forense continua que retroalimente los procesos internos mediante hallazgos verificables. La similitud con autores internacionales respalda la solidez de los resultados y demuestra que el comportamiento del fraude en el sector industrial ecuatoriano sigue patrones globales, pero con manifestaciones propias derivadas de su contexto normativo, cultural y operativo.

En conjunto, la discusión confirma que la presencia de auditoría forense no solo reduce la probabilidad de fraude, sino que se constituye en un factor clave para afianzar mecanismos de gobernanza financiera. De esta manera, la investigación aporta evidencia robusta sobre la importancia de institucionalizar la auditoría forense como parte del sistema integral de control interno en organizaciones industriales que operan en entornos altamente vulnerables a prácticas ilícitas.

## 5. CONCLUSIONES

Los resultados de esta investigación permiten concluir que la auditoría forense se configura como un componente estratégico esencial para la prevención, detección y mitigación del fraude financiero en las empresas del sector industrial ecuatoriano. La evidencia empírica demuestra que el control interno financiero, cuando se encuentra débilmente estructurado, incrementa de manera significativa la exposición al fraude, lo que afecta directamente la transparencia operativa, la confiabilidad de los estados financieros y la sostenibilidad organizacional. La incorporación de procedimientos forenses, por su parte, fortalece los mecanismos de supervisión y permite identificar patrones de comportamiento anómalos que no emergen mediante procesos de auditoría tradicionales.

Se concluye que el nivel de madurez del control interno financiero influye de manera

determinante en la incidencia de irregularidades, explicando más del 70,00% de la variabilidad en los casos de fraude analizados. Esto evidencia que los esfuerzos centrados únicamente en controles operativos no son suficientes; se requiere la integración de metodologías forenses, análisis detallado de transacciones y evaluación continua de riesgos. Las diferencias estadísticas entre los niveles bajo, medio y alto de control interno confirman que solo las organizaciones con control interno robusto logran mitigar efectivamente el riesgo de fraude.

Además, los hallazgos confirman que la auditoría forense no debe considerarse un mecanismo reactivo implementado únicamente después de la detección de irregularidades, sino una herramienta preventiva capaz de anticipar brechas de control, fortalecer la gobernanza interna y promover una cultura organizacional orientada a la ética y la transparencia. Su aplicación sistemática permite generar evidencia con validez jurídica, mejorar la trazabilidad de los procesos y reducir la incertidumbre en la toma de decisiones gerenciales y financieras.

Finalmente, esta investigación contribuye al conocimiento científico al evidenciar que la combinación de sistemas sólidos de control interno y auditoría forense representa la estrategia más efectiva para enfrentar los crecientes desafíos asociados al fraude organizacional en el sector industrial. La relevancia de estos hallazgos trasciende el ámbito empresarial, aportando criterios técnicos para formuladores de políticas, organismos reguladores y profesionales de auditoría que buscan fortalecer la integridad y la sostenibilidad financiera en contextos de alta complejidad operativa.

## 6. AGRADECIMIENTO

Investigación derivada del proyecto titulado “auditoría forense como herramienta esencial en el control interno financiero en empresas del sector industrial ecuatoriano.” mismo que es patrocinado por el Instituto Superior Tecnológico Central Técnico (con condición de universitario). Quito – Ecuador.

## 7. REFERENCIAS

- Association of Certified Fraud Examiners. (2022). *Report to the Nations: 2022 Global Study on Occupational Fraud and Abuse*. ACFE. <https://www.acfe.com/-/media/files/acfe/pdfs/rtnn/2022/2022-report-to-the-nations.pdf>
- Amaguaya, M. N. (2025). *Estrategias de auditoría forense preventiva en el área de gestión de cartera de la EMPRESA Eléctrica Riobamba SA para el año 2024*. Obtenido de: <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/14976>
- Alvarado, J. C. D., & Mora, C. A. F. (2022). Análisis de la Teoría del fraude aplicado al caso Carabineros de Chile. *Revista Summa de Arithmetica*, (5), 5-19. <https://doi.org/10.11565/sda.v1i5.3>
- Arcila, R. (2019). *Auditoría forense-1ra edición*. Obtenido de Ecoe Ediciones.: <https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=IhhGEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA11&dq=>

Dentro+de+cada+empresa,+la+auditor%C3%ADa+forense+se+vincula+estrechamente+c  
on+los+componentes+del+control+interno+financiero+definidos+por+el+marco+COSO,  
+que+incluyen+ambiente+de+

- Barreto, D. F. P. (2023). Control interno y la gestión administrativa. Una revisión sistemática del 2020 al 2022. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), 6697-6712. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v7i1.4918](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4918)
- Blacio, J. H. A. (2024). El Rol de la Auditoría Forense en la Detección de Fraudes Corporativos. *Revista Científica Zambos*, 3(2), 74-96. <https://doi.org/10.69484/rcz/v3/n2/18>
- Castillo, H. A. C., Morales, L. O. S., & Espinoza, N. J. T. (2023). La importancia del control interno contable en la gestión efectiva de las empresas. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 1635-1647. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v7i4.6981](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.6981)
- Catagua Briones, M. L., Pinargote Macías, M. F., & Mendoza Vines, M. E. (2023). Control interno y modelo COSO en la gestión administrativa y financiera empresarial. *Podium*, (44), 151-166. <https://doi.org/10.31095/podium.2023.44.10>
- Cum, R. L. O. (2025). Aplicación de analítica de datos en auditoría forense: revisión bibliográfica sobre detección de fraudes financieros. *Revista Enfoques*, 9(36), 348-368. <https://orcid.org/0000-0002-9244-5191>
- Duchitanga-Plasencia, Á. E., & Zapata-Sánchez, P. E. (2024). La auditoría forense: un análisis integral desde una perspectiva conceptual y metodológica. *Revista Metropolitana De Ciencias Aplicadas*, 7(2), 129-141. <https://doi.org/10.62452/jpibrs16>
- Escobar Zurita, H. W., Surichaqui Carhuallanqui, L. M., & Calvanapón Alva, F. A. (2023). Control interno en la rentabilidad de una empresa de servicios generales-Perú. *Visión de futuro*, 27(1), 160-181. <https://www.scielo.org.ar/pdf/vf/v27n1/1668-8708-vf-27-01-00160.pdf>
- Gil, C. K. (2025 ). *Análisis Comparativo de Métodos Avanzados para la detección y prevención de fraudes contables mediante la auditoría Forense en Multinacionales*. Obtenido de: <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/19121>
- Gloria-Robles, E., Avalos-Sánchez, A., Quiquia-Herrera, L., Sarmiento-Gutierrez, E., & Gutiérrez-Flores, J. (2024). La auditoría forense y la prevención contra la corrupción en ESSALUD, Lima 2022. *Revista Científica Empresarial Debe-Haber*, 2, 19-19. <https://doi.org/10.62939/debehaber202419>
- Harper, J. I. R., & Marín, E. E. M. (2025). Auditoría forense antifraude: ciencia aplicada e independiente frente a las limitaciones del control interno tradicional. *CPA Panamá*, 3(2), 70-83. <https://doi.org/10.48204/2953-3147.7822>
- Henriquez, J. A. S., Cortés, P. N., & González, P. S. (2022). Fraude: Una mirada global a su desarrollo conceptual. *Revista Venezolana de Gerencia: RVG*, 27(99), 884-910. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8890708>

- Inga, S. M., & Tristán, O. M. (2022). Corrupción organizacional: Una propuesta de marco teórico. *RIO: Revista Internacional de Organizaciones*, (28), 113-136. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8472285>
- Macías, A. I. R. (2022). Control interno en empresas comerciales nacientes en Ecuador. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 7(9), 336-360. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9401538>
- Merino, A. G., & Reyes, B. J. (2014). *Los procesos de auditoría forense como método de prevención y detección del fraude en la provincia de Pichincha en las empresas industriales manufactureras de textiles*. Obtenido de: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6839>
- Moreno, L. E., & Quijano, M. O. (2022). Formación en auditoría forense como mecanismo de prevención del fraude en una sociedad y cultura Digital. *EducaT: Educación virtual, Innovación y Tecnologías*, 3(2), 27-47. <https://doi.org/10.22490/27452115.6440>
- Orellana, I. M., & Orellana, I. F. (2024). *Aplicación de auditoría gubernamental para optimizar el control interno de los gobiernos autónomos descentralizados*. *MQRInvestigar*, 8(3), 4291-4305.: <http://www.investigarmqr.com/ojs/index.php/mqr/article/view/1679>
- Peña, R. M. (2025). *Función y acción del perito en casos de enriquecimiento ilícito no justificado en el Ecuador*. Obtenido de: <https://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/18188>
- Peñarreta-Angamarca, M. T., Torres-Palacios, M. M., & Moreno-Narváez, V. P. (2024). Efectividad de la auditoría financiera en la prevención del fraude en pequeñas y medianas empresas [Analysis of the Effectiveness of financial and tax auditing in fraud prevention]. *Revista Multidisciplinaria Perspectivas Investigativas*, 4(especial), 26-35. <https://doi.org/10.62574/rmpi.v4iespecial.106>
- Pinto, J. J., & Romero, O. B. (2025). *Evaluación de la efectividad de las técnicas de auditoría en la detección de fraudes en las empresas colombianas*. Obtenido de Repositorio UTS: <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/19856>
- Pizarro-Davis, J. V., & Zapata-Sánchez, P. E. (2024). Fraudes corporativos: explorando estrategias y desafíos en la auditoría forense. *CIENCIAMATRIA*, 10(1), 975-990. <https://elibrary.ru/item.asp?id=74439050>
- Polo, O. C. C., Ochoa, J. A. V., Posada, G. I. A., & Arcila, J. O. S. (2022). La auditoría forense¿ Un instrumento esencial de control interno en las entidades públicas?. *Administración & Desarrollo*, 52(1), 95-112. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8706463>
- Portilla, C. M. E., Zambrano, J. A. R., Quiñonez, L. M. C., & Flores, M. C. B. (2024). Auditoría forense y su impacto en las organizaciones públicas del Ecuador. *Revista de ciencias sociales*, (30), 410-421. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9645078>
- Quiroz, J. I. P., Soque, B. J. L., Muñoz, L. D. Q., & Chasi, H. M. A. (2025). Incidencia del crimen organizado en el cometimiento de fraude financiero en el sector textil ecuatoriano. *Magazine de las Ciencias: Revista de Investigación e Innovación*, 10(2), 101-



137. <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/magazine/article/view/3350>

Salazar, B. J. (2024). *Procedimiento de compras en el área de adquisición de insumos de producción para la línea de enlatados de la empresa SALICA del Ecuador*. Obtenido de: <https://repositorio.uleam.edu.ec/handle/123456789/5865>

Vargas, D. D. (2024). *Análisis Forense para la Detección de Irregularidades*. Obtenido de Repository.unad.: <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/69477>

Veiga, L. (2021). *Hacia una infraestructura digital para la internacionalización de las pequeñas y medianas empresas*. Obtenido de Repositorio.cepal.org: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/fcbfa60e-1a82-49f9-9932-2d44585e6224/content>

Yerrén, R. H. (2022). El sistema de control interno y la gestión pública: Una revisión sistemática. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(2), 2316-2335. [https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v6i2.2030](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i2.2030)

Zhapa-Amay, E. M., & Añazco-Narváez, M. E. (2022). Auditoría forense y fraudes financieros. *Polo del Conocimiento*, 7(5), 1010-1021. <https://www.polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/4008>

## Data traffic analysis for the detection of organizational financial fraud in SMEs in the Ecuadorian real estate sector

### Análisis del tráfico de datos para la detección del fraude organizacional financiero en PYMEs del sector inmobiliario ecuatoriano

Quiroz Peña Jaime Iván<sup>1</sup>[0000-0001-8268-1169], Chango Pilaluisa Irma Elizabeth<sup>2</sup>[0009-0003-0557-4193], Salvador  
Funes Mercedes Fabiola<sup>3</sup>[0000-0001-9769-2485], Guerrero Clerque Evelyn Alexandra<sup>4</sup>[0009-0007-9547-5840], Quila  
Muñoz Lady Diana<sup>5</sup>[0009-0002-9744-2237]

<sup>1</sup> Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador  
E-mail: [jiquirozpena@istct.edu.ec](mailto:jiquirozpena@istct.edu.ec)

<sup>2</sup> Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador  
E-mail: [ichango@istct.edu.ec](mailto:ichango@istct.edu.ec)

<sup>3</sup> Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador  
E-mail: [fsalvador@istct.edu.ec](mailto:fsalvador@istct.edu.ec)

<sup>4</sup> Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador  
E-mail: [equerrero@istct.edu.ec](mailto:equerrero@istct.edu.ec)

<sup>5</sup> Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador  
E-mail: [ldquilamunoz@istct.edu.ec](mailto:ldquilamunoz@istct.edu.ec)

Recibido: 25/09/2025

Aceptado: 10/12/2025

Publicado: 30/12/2025

#### RESUMEN

El fraude organizacional constituye una de las principales amenazas para la estabilidad financiera y la sostenibilidad de las pequeñas y medianas empresas (PYMES), especialmente en sectores caracterizados por procesos operativos complejos y elevados flujos financieros, como el sector inmobiliario. El objetivo de esta investigación fue analizar el impacto del fraude organizacional en la gestión financiera de las PYMES del sector inmobiliario ecuatoriano. Para ello, se adoptó un enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental, de carácter descriptivo y de corte transversal. La población de estudio estuvo conformada por pequeñas y medianas empresas del sector inmobiliario, de las cuales se obtuvo información mediante encuestas estructuradas aplicadas a los responsables de las áreas administrativa y contable, complementadas con el análisis de los estados financieros. Los resultados evidenciaron que las modalidades de fraude más recurrentes fueron la apropiación indebida de recursos económicos y la ejecución de pagos

a proveedores inexistentes. También, el análisis de los indicadores financieros permitió identificar una relación significativa entre la ocurrencia de fraudes y el deterioro del desempeño financiero, reflejado en una reducción del 15,00% en la liquidez corriente, del 46,00% en el margen de rentabilidad neta y del 40,00% en el rendimiento sobre los activos. Adicionalmente, se evidenciaron efectos adversos en la reputación empresarial, tales como la pérdida de confianza de los clientes, la disminución de las ventas y la terminación de contratos comerciales. Se puede concluir que el fraude organizacional incide de manera directa y significativa en la gestión financiera y en la sostenibilidad de las PYMES del sector inmobiliario ecuatoriano, lo que pone de manifiesto la necesidad de fortalecer los sistemas de control interno e implementar estrategias preventivas orientadas a mejorar la transparencia, la eficiencia financiera y la confianza organizacional.

**Palabras clave:** fraude organizacional; gestión financiera; control interno; sector inmobiliario.

## ABSTRACT

Organizational fraud is one of the main threats to the financial stability and sustainability of small and medium-sized enterprises (SMEs), especially in sectors characterized by complex operational processes and high cash flows, such as the real estate sector. The objective of this research was to analyze the impact of organizational fraud on the financial management of SMEs in the Ecuadorian real estate sector. A quantitative approach was adopted, with a non-experimental, descriptive, and cross-sectional design. The study population consisted of small and medium-sized enterprises in the real estate sector, from which information was obtained through structured surveys administered to those responsible for the administrative and accounting areas, supplemented by an analysis of the financial statements. The results showed that the most recurrent forms of fraud were the misappropriation of funds and the execution of payments to nonexistent suppliers. Furthermore, the analysis of financial indicators revealed a significant relationship between the occurrence of fraud and the deterioration of financial performance, reflected in a 15.00% reduction in current liquidity, a 46.00% decrease in net profit margin, and a 40.00% decrease in return on assets. Additionally, adverse effects on corporate reputation were evident, such as loss of customer trust, decreased sales, and the termination of commercial contracts. It can be concluded that organizational fraud has a direct and significant impact on the financial management and sustainability of SMEs in the Ecuadorian real estate sector, highlighting the need to strengthen internal control systems and implement preventive strategies aimed at improving transparency, financial efficiency, and organizational trust.

**Index terms:** organizational fraud; financial management; internal control; real estate sector.

## 1. INTRODUCCIÓN.

En el contexto económico contemporáneo, las organizaciones se enfrentan a un entorno caracterizado por una creciente complejidad operativa, derivada de la globalización de los mercados, la intensificación de la competencia y la incorporación acelerada de tecnologías

digitales en los procesos financieros y administrativos (Inga, 2022). Estos cambios han permitido optimizar la eficiencia, mejorar la trazabilidad de las operaciones y ampliar las oportunidades de crecimiento empresarial; sin embargo, también han incrementado de manera significativa la exposición a riesgos asociados con el fraude organizacional, la manipulación de información financiera y las debilidades estructurales en los sistemas de control interno (Henriquez et al., 2022). En este escenario, la capacidad de las empresas para gestionar de forma adecuada dichos riesgos se ha convertido en un factor determinante para su estabilidad financiera y sostenibilidad a largo plazo.

Las pequeñas y medianas empresas (PYMEs) representan un componente fundamental del tejido productivo en economías emergentes como la ecuatoriana, al contribuir de manera significativa a la generación de empleo, el dinamismo económico y el desarrollo sectorial (Silveira, 2023). No obstante, la literatura especializada coincide en señalar que este tipo de organizaciones presenta mayores niveles de vulnerabilidad frente a prácticas fraudulentas, debido a limitaciones en recursos financieros, tecnológicos y humanos, así como a la ausencia de estructuras formales de gobierno corporativo y control interno (Peñarreta et al., 2024). Estas restricciones dificultan la implementación de mecanismos efectivos de prevención, detección y respuesta ante el fraude, incrementando el riesgo de pérdidas económicas y deterioro organizacional.

Dentro de este contexto, el sector inmobiliario adquiere particular relevancia debido a las características propias de su actividad económica. Las empresas que operan en este sector gestionan transacciones de elevado valor, administran contratos complejos y mantienen relaciones financieras con múltiples actores, tales como clientes, inversionistas, proveedores y entidades financieras (Leal et al., 2022). Estas condiciones incrementan la probabilidad de ocurrencia de fraudes organizacionales, especialmente en ámbitos relacionados con la apropiación indebida de recursos, la manipulación de registros contables, la simulación de operaciones y la evasión de obligaciones tributarias. En el caso ecuatoriano, diversos estudios evidencian que el sector inmobiliario se encuentra entre los más expuestos a prácticas fraudulentas, lo que representa un desafío significativo para la gestión financiera y la credibilidad empresarial (Alvarado y Mora, 2022).

El fraude organizacional constituye una amenaza directa para la liquidez, la rentabilidad y la continuidad operativa de las PYMEs inmobiliarias. Sus efectos no se limitan a pérdidas económicas inmediatas, sino que se extienden a la distorsión de la información financiera utilizada en la toma de decisiones estratégicas, incrementando el riesgo operativo y financiero de las organizaciones (Trindade et al., 2025). La presencia de información contable poco confiable debilita la capacidad de planificación, afecta la evaluación del desempeño y limita la identificación oportuna de riesgos, generando un entorno propicio para la adopción de decisiones ineficientes o erróneas (Quiroz et al., 2025).

Adicionalmente, el impacto del fraude organizacional trasciende el ámbito financiero, afectando de manera significativa la reputación corporativa y la confianza de los grupos de interés. La pérdida de credibilidad ante clientes, inversionistas y entidades bancarias restringe el acceso al

financiamiento, reduce las oportunidades de expansión y debilita la posición competitiva de las empresas en el mercado (Bustillos et al., 2025). En el caso de las PYMEs ecuatorianas, estas consecuencias pueden resultar particularmente críticas, dado que su capacidad de recuperación frente a crisis financieras suele ser limitada y altamente dependiente de la confianza del entorno (Bustillos et al., 2025).

Diversas investigaciones han puesto de manifiesto que una de las principales causas de la persistencia del fraude organizacional en las PYMEs es la debilidad de los sistemas de control interno (Amay y Narváez, 2022). La inexistencia de políticas y procedimientos formalizados, la insuficiente segregación de funciones, la ausencia de auditorías internas periódicas y la escasa capacitación del personal en temas de control y ética organizacional incrementan la probabilidad de ocurrencia de irregularidades financieras (Moreno & Quijano, 2022). Esta situación se ve agravada por un entorno normativo y tributario cada vez más exigente, que demanda mayores niveles de transparencia, cumplimiento y rigor en la gestión contable y financiera.

Bajo este marco conceptual, la presente investigación tiene como objetivo evaluar el impacto del fraude organizacional en la gestión financiera de las pequeñas y medianas empresas del sector inmobiliario ecuatoriano, analizando sus efectos sobre indicadores financieros clave como la liquidez, la rentabilidad y la estabilidad empresarial. El estudio busca aportar evidencia empírica relevante que contribuya al desarrollo del conocimiento académico en el ámbito de la contabilidad y las finanzas, así como ofrecer insumos prácticos para directivos, profesionales contables y responsables de la gestión financiera interesados en fortalecer los sistemas de control interno, mitigar riesgos y promover prácticas organizacionales basadas en la transparencia, la ética y la sostenibilidad en un entorno económico cada vez más complejo y competitivo.

### **El fraude organizacional en el sector inmobiliario**

El fraude organizacional es un conjunto de conductas intencionales e ilícitas realizadas al interior de una organización con el fin de obtener beneficios indebidos, ya sean económicos o estratégicos, mediante el uso de recursos, información o posiciones de confianza (Portela et al., 2023). Estas prácticas incluyen la alteración de registros contables, la apropiación indebida de activos, la falsificación documental y la manipulación de transacciones financieras, que afectan directamente la transparencia y fiabilidad de la información empresarial.

En el caso de las PYMEs, el fraude organizacional adquiere particular relevancia debido a la limitada segregación de funciones, la concentración de responsabilidades y el bajo nivel de formalización de los procesos administrativos (Ríos, 2023). Estas condiciones generan escenarios propicios para la materialización de prácticas fraudulentas, especialmente en sectores con elevados flujos de efectivo y operaciones complejas, como el inmobiliario. La recurrencia del fraude no solo ocasiona pérdidas económicas directas, sino que también debilita la estructura financiera y operativa de las empresas, comprometiendo su sostenibilidad a mediano y largo

plazo (Zhapa y Añazco, 2022).

En el sector inmobiliario, el fraude organizacional adquiere particular relevancia debido al elevado valor monetario de las transacciones, la participación de múltiples actores clientes, intermediarios, proveedores y entidades financieras y la gestión de contratos de largo plazo. Estas características incrementan la probabilidad de prácticas fraudulentas como la apropiación indebida de recursos, la alteración de registros contables, la simulación de operaciones, los pagos a proveedores inexistentes y la manipulación de ingresos y costos, afectando directamente la transparencia financiera de las empresas (Pilamunga y González, 2025).

### **Gestión financiera en las PYMEs del sector inmobiliario**

La gestión financiera se encarga de planificar, organizar, controlar y evaluar los recursos financieros de una empresa, para asegurar su eficiencia, rentabilidad y sostenibilidad. En las PYMEs, la gestión financiera se encarga de determinar la capacidad de la organización para cumplir con sus obligaciones, invertir en nuevas oportunidades y enfrentar riesgos (Vergara et al., 2023). Indicadores como la liquidez, la rentabilidad y el retorno sobre los activos permiten evaluar el desempeño financiero de las empresas y constituyen herramientas fundamentales para la toma de decisiones gerenciales. No obstante, cuando la gestión financiera se ve afectada por prácticas fraudulentas, dichos indicadores se distorsionan, dando lugar a decisiones erróneas y a un mayor nivel de riesgo financiero (Sarmiento y Álvarez, 2021). En este contexto, el fraude organizacional representa una amenaza directa a la calidad de la gestión financiera, especialmente en empresas que carecen de estructuras formales de control.

En el sector inmobiliario, la gestión financiera adquiere un carácter estratégico debido a la necesidad de administrar grandes volúmenes de inversión, flujos de efectivo variables y compromisos financieros de largo plazo. La correcta asignación de recursos, el control de costos, la gestión del endeudamiento y el cumplimiento de obligaciones tributarias constituyen elementos clave para el desempeño financiero de las empresas del sector (Tustón y Macías, 2025). La gestión financiera eficiente depende, en gran medida, de la calidad de la información contable, la existencia de controles internos sólidos y la capacidad de anticipar riesgos financieros (Árias et al., 2023). En este sentido, la presencia de prácticas fraudulentas deteriora significativamente la gestión financiera, al generar información distorsionada, pérdidas económicas y desconfianza entre los grupos de interés.

### **Control interno y prevención del fraude**

El control interno se define como el conjunto de políticas, procedimientos y prácticas diseñadas para proteger los activos, garantizar la confiabilidad de la información financiera y asegurar el cumplimiento de la normativa vigente (Pilaguachi y Torres, 2025). Un sistema de control interno eficaz permite identificar y mitigar riesgos asociados al fraude, errores contables e irregularidades operativas. En las PYMEs, la implementación de controles internos suele verse limitada por la escasez de recursos, la informalidad administrativa y la falta de capacitación del

personal.

Diversos estudios señalan que la debilidad de los controles internos incrementa significativamente la probabilidad de ocurrencia de fraude organizacional. La ausencia de segregación de funciones, la falta de supervisión continua y la inexistencia de auditorías internas facilitan la ejecución de prácticas fraudulentas (Nivelo y Flores, 2025). En contraste, la adopción de controles adecuados contribuye a la detección temprana de anomalías, reduce las pérdidas económicas y fortalece la transparencia organizacional. En el sector inmobiliario, donde se gestionan contratos, pagos y activos de alto valor, el control interno adquiere una relevancia estratégica en la prevención del fraude.

### **Relación entre fraude organizacional y gestión financiera**

La relación entre el fraude organizacional y la gestión financiera es directa y bidireccional. Por un lado, una gestión financiera deficiente, caracterizada por controles internos débiles y una supervisión insuficiente, facilita la ocurrencia de fraudes (Aros et al., 2022). Por otro, la presencia de fraude deteriora la calidad de la gestión financiera, afectando la toma de decisiones y el desempeño económico de la empresa. Esta interacción pone de manifiesto la necesidad de abordar el fraude organizacional desde una perspectiva integral, que combine acciones de prevención, detección y control (Henriqueriz et al., 2022). En este contexto, el fortalecimiento de los sistemas de control interno y la implementación de prácticas de gestión financiera transparentes se convierten en elementos clave para reducir la vulnerabilidad de las PYMEs frente al fraude. El análisis teórico de esta relación permite sustentar la importancia de diseñar estrategias orientadas a minimizar los riesgos financieros y promover la sostenibilidad empresarial en el sector inmobiliario ecuatoriano.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS / DESARROLLO**

La investigación se llevó a cabo mediante un estudio cuantitativo, con un alcance descriptivo y analítico, empleando un diseño no experimental y transversal. Este enfoque permitió analizar de manera objetiva la incidencia del fraude organizacional en la gestión financiera de las pequeñas y medianas empresas (PYMEs) del sector inmobiliario ecuatoriano, mediante el estudio de indicadores financieros y administrativos relacionados con la liquidez, la rentabilidad y el control interno. El diseño no experimental se adoptó porque las variables no fueron objeto de manipulación, sino observadas y evaluadas dentro de su entorno real, mientras que el carácter transversal facilitó la recolección de información correspondiente a un periodo específico de análisis.

La población de estudio estuvo conformada por pequeñas y medianas empresas del sector inmobiliario ecuatoriano, dedicadas a actividades de construcción, comercialización y arrendamiento de bienes inmuebles. La muestra estuvo integrada por 50 PYMEs inmobiliarias de las áreas de construcción, arrendamientos, y ventas de bienes inmuebles ubicadas en las ciudades de Quito, Gualaquiza, Cuenca y Ambato, lo que permitió obtener una visión



representativa del comportamiento del fraude organizacional en este sector.

Como técnica principal se utilizó una encuesta estructurada dirigida a gerentes, administradores y responsables del área contable y financiera de las empresas participantes. El instrumento incluyó preguntas cerradas y de opción múltiple orientadas a identificar la existencia de fraudes organizacionales, las modalidades más frecuentes y las principales debilidades en los sistemas de control interno. La confiabilidad del cuestionario fue evaluada mediante el coeficiente alfa de Cronbach, obteniéndose un índice de confiabilidad de 0,87, valor que evidencia una adecuada consistencia interna del instrumento. El contenido del cuestionario fue sometido a un proceso de validación por juicio de expertos, en el cual participaron cuatro especialistas del área contable y financiera.

De manera complementaria, se realizó un análisis documental de los estados financieros correspondientes a los periodos fiscales 2023 y 2024, así como de informes contables y registros administrativos relevantes. Este procedimiento permitió contrastar la información proporcionada por las empresas con los datos financieros disponibles, identificando variaciones, inconsistencias y posibles efectos del fraude en los indicadores de gestión financiera.

Los datos recolectados fueron organizados y procesados mediante herramientas informáticas SPSS V16, utilizando hojas de cálculo y software estadístico para el análisis descriptivo y comparativo. Se aplicaron estadísticas descriptivas como frecuencias, porcentajes y promedios, con el fin de identificar las modalidades de fraude más recurrentes y su incidencia en las PYMEs del sector inmobiliario. Se realizaron comparaciones entre escenarios con y sin presencia de fraude para evaluar las variaciones en los indicadores financieros analizados.

### 3. RESULTADOS

A continuación, se presentan los principales resultados de la asociación del fraude y su impacto en la gestión financiera de las pymes del sector inmobiliario ecuatoriano

**Tabla 1.**  
*Tipos de Fraude Reportados en el Sector Inmobiliario*

Tipo De Fraude	Frecuencia	Porcentaje
Desvío De Fondos	18,00	36,00 %
Manipulación De Estados Financieros	9,00	18,00%
Pagos A Proveedores Ficticios	12,00	24,00%
Fraude En Ventas Y Contratos	7,00	14,00%
Otros	4,00	8,00%

La Tabla 1, expone un análisis detallado de las principales modalidades de fraude identificadas

en las pequeñas y medianas empresas del sector inmobiliario en Ecuador. Los resultados evidencian una alta incidencia de determinadas prácticas fraudulentas dentro de estas organizaciones, destacándose que el 36 % de los casos corresponde a la apropiación o desvío de fondos. Este tipo de fraude se caracteriza por el uso indebido de los recursos de la empresa para fines personales o no autorizados, lo que representa una seria amenaza para la estabilidad financiera de las organizaciones debido a su impacto inmediato. Además, la desviación de fondos es considerada una de las prácticas más difíciles de detectar, ya que suele camuflarse dentro de operaciones aparentemente legítimas, especialmente en empresas que presentan debilidades en sus sistemas de control interno.

Por otro lado, el 24 % de los fraudes detectados está relacionado con pagos efectuados a proveedores inexistentes o irregulares, lo cual refleja deficiencias en los procesos de supervisión, contratación y verificación de facturas. En el sector inmobiliario, donde se trabaja con numerosos proveedores y contratistas, estas condiciones facilitan la manipulación de registros contables, la emisión de facturas falsas o la sobrevaloración de bienes y servicios. Este tipo de fraude no solo genera pérdidas económicas inmediatas, sino que también puede afectar negativamente la reputación y las relaciones comerciales de la empresa. La implementación de controles más estrictos en la selección y evaluación de proveedores permitiría reducir significativamente este riesgo.

Asimismo, la manipulación de la información financiera, con una incidencia del 18 %, representa un problema relevante, ya que altera los estados financieros con el propósito de proyectar una imagen más favorable de la situación económica de la empresa. Esta práctica resulta especialmente peligrosa, dado que puede inducir a error a inversionistas, instituciones financieras y otros actores externos, quienes podrían tomar decisiones basadas en información distorsionada. Aunque este tipo de fraude puede ser detectado mediante auditorías externas, muchas PYMEs no cuentan con los recursos suficientes para realizarlas de forma periódica. Por ello, la ejecución de auditorías regulares y la capacitación del personal en la detección de irregularidades constituyen medidas clave para disminuir su ocurrencia.

La Tabla 2, presenta una estimación del impacto económico del fraude organizacional en las pequeñas y medianas empresas del sector inmobiliario ecuatoriano. Los resultados evidencian que las empresas analizadas registran ingresos anuales promedio de USD 350.000,00, de los cuales aproximadamente el 6,00 % se ve afectado por prácticas fraudulentas, lo que representa una pérdida económica anual estimada de USD 21.000,00.

**Tabla 2**

*Estimación del impacto económico del fraude organizacional en las PYMEs del sector inmobiliario ecuatoriano*

Concepto	Valor absoluto (USD)	Indicador porcentual (%)	Descripción / Alcance
Ingresos anuales promedio	\$ 350.000,00	100,00%	Promedio de ingresos brutos anuales reportados por las PYMEs inmobiliarias analizadas
Incidencia promedio de fraude organizacional	\$ 21.000,00	6,00%	Proporción de ingresos afectados por prácticas fraudulentas detectadas o percibidas
Pérdida económica anual estimada por fraude	\$ 21.000,00	6,00%	Impacto financiero directo atribuible a eventos de fraude organizacional
Ingresos netos después del fraude	\$ 329.000,00	94,00%	Ingresos ajustados luego de descontar las pérdidas económicas generadas por fraude
Margen de afectación financiera	\$ -	6,00%	Nivel de deterioro financiero anual provocado por el fraude organizacional

Este nivel de afectación resulta significativo para las PYMEs, considerando su limitada capacidad financiera y operativa. La reducción de los ingresos netos a USD 329.000,00 evidencia cómo el fraude organizacional incide de manera directa en la liquidez y en la rentabilidad empresarial, limitando la disponibilidad de recursos para inversión, crecimiento y cumplimiento de obligaciones financieras. Asimismo, el margen de afectación financiera del 6,00 % pone de manifiesto la necesidad de fortalecer los mecanismos de control interno y de prevención del fraude, con el fin de mitigar pérdidas económicas que comprometen la sostenibilidad de las empresas del sector inmobiliario.

La tabla 3, evidencia el impacto del fraude organizacional sobre la liquidez corriente de las pequeñas y medianas empresas del sector inmobiliario ecuatoriano. Los resultados muestran que las empresas que reportaron la ocurrencia de fraudes presentan una razón de liquidez corriente de 1,20, mientras que aquellas que no registraron prácticas fraudulentas alcanzan un indicador superior de 1,41.

**Tabla 3**

*Efecto del fraude organizacional sobre la liquidez corriente de las PYMEs del sector inmobiliario ecuatoriano*

Condición empresarial	Liquidez corriente (razón)	Diferencia absoluta	Variación porcentual (%)	Interpretación financiera
Empresas con presencia de fraude	1,20	-	-	Capacidad limitada para cubrir obligaciones de corto plazo
Empresas sin presencia de fraude	1,41	0,21	17,50%	Mayor solidez financiera y mejor gestión del capital de trabajo
Variación atribuible al fraude	-	-0,21	-15,00%	Deterioro de la liquidez corriente asociado a prácticas fraudulentas

La diferencia absoluta de 0,21 puntos, equivalente a una reducción del 15,00%, revela que el fraude organizacional afecta de manera directa la capacidad de las empresas para cumplir oportunamente con sus obligaciones financieras de corto plazo. Este deterioro en la liquidez puede generar tensiones en el flujo de efectivo, incrementar la dependencia de financiamiento externo y elevar el riesgo de incumplimiento frente a proveedores y entidades financieras. En consecuencia, los resultados refuerzan la necesidad de implementar mecanismos efectivos de control interno y prevención del fraude como estrategias clave para preservar la estabilidad financiera y la sostenibilidad de las PYMEs del sector inmobiliario.

La reducción del 15,00 % en el índice de liquidez corriente evidencia un deterioro significativo en la capacidad de las empresas para atender sus compromisos financieros de corto plazo. Esta situación resulta especialmente preocupante en las pequeñas y medianas empresas del sector inmobiliario, las cuales suelen operar con márgenes de rentabilidad limitados y requieren administrar elevados movimientos de efectivo derivados de las transacciones inmobiliarias. La disminución de la liquidez puede afectar la continuidad operativa de las organizaciones, ya que la insuficiencia de recursos financieros podría dificultar el cumplimiento oportuno de pagos a proveedores, la incorporación de personal o la inversión en la adquisición de nuevos inmuebles.

La tabla 4, presenta el efecto del fraude organizacional sobre el margen de rentabilidad neta de las pequeñas y medianas empresas del sector inmobiliario ecuatoriano. Los resultados evidencian que las empresas afectadas por prácticas fraudulentas registran un margen neto promedio del 7,10 %, mientras que aquellas que no reportaron la ocurrencia de fraude alcanzan un margen significativamente superior del 13,10 %.

**Tabla 4**

*Impacto del fraude organizacional en el margen de rentabilidad neta de las PYMEs del sector inmobiliario ecuatoriano*

Condición empresarial	Margen de rentabilidad neta (%)	Diferencia absoluta (p.p.)	Variación porcentual (%)	Implicación financiera
Empresas con presencia de fraude	7,10	—	—	Rentabilidad reducida y menor generación de utilidades
Empresas sin presencia de fraude	13,10	6,00	84,50%	Mayor eficiencia operativa y mejor control de costos
Variación atribuible al fraude	—	-6,00	-46,00%	Deterioro significativo del desempeño financiero

La diferencia absoluta de 6 puntos porcentuales representa una disminución relativa del 46,00 % en la rentabilidad neta, lo que pone de manifiesto el impacto sustancial del fraude sobre la capacidad de generación de utilidades. Este comportamiento sugiere que los recursos económicos desviados o mal gestionados como consecuencia de prácticas fraudulentas afectan directamente la eficiencia operativa, incrementan los costos no productivos y reducen el resultado neto del ejercicio. En este sentido, el fraude organizacional no solo constituye una pérdida económica directa, sino también un factor que debilita la competitividad y la sostenibilidad financiera de las PYMEs del sector inmobiliario.

La reducción del 46,00 % en el margen de rentabilidad neta evidencia de manera directa el efecto negativo que el fraude ejerce sobre los costos operativos y la eficiencia financiera de las empresas. En este contexto, las prácticas fraudulentas generan un incremento de los gastos, ya sea por la apropiación indebida de recursos o por los costos adicionales derivados de la detección, corrección de irregularidades y la adopción de acciones correctivas. Esta contracción en la rentabilidad limita de forma significativa la capacidad competitiva de las empresas dentro de un sector tan dinámico como el inmobiliario, en el cual mantener márgenes financieros adecuados resulta fundamental para asegurar el crecimiento sostenido y los procesos de expansión.

**Tabla 5**

*Comparación del impacto del antes y después del fraude organizacional.*

Indicador	Sin Fraude	Con Fraude	Variación
Liquidez Corriente	1,41	1,20	-15,00%
Margen Neto	13,10%	7,10%	-46,00%
ROA	8,40%	5,00%	-40,00%

La Tabla 5, expone un análisis comparativo de tres indicadores financieros clave en las pequeñas

y medianas empresas del sector inmobiliario, evaluando su comportamiento antes y después de haber sido afectadas por hechos fraudulentos: liquidez corriente, margen de rentabilidad neta y retorno sobre los activos (ROA). Estos indicadores permiten valorar la situación financiera de las empresas y evidencian el impacto significativo que el fraude puede generar sobre su equilibrio económico.

Los resultados del estudio muestran que la liquidez corriente disminuye en un 15,00% tras la ocurrencia de fraude, lo cual indica un deterioro en la capacidad de las empresas para cumplir oportunamente con sus compromisos financieros de corto plazo. Esta situación resulta particularmente crítica en el sector inmobiliario, donde la operatividad exige la administración de elevados volúmenes de efectivo y flujos constantes de recursos para la ejecución de proyectos. La reducción de la liquidez incrementa el riesgo de problemas de solvencia e incluso de insolvencia, especialmente cuando las organizaciones no cuentan con reservas financieras suficientes.

Respecto al margen de rentabilidad neta, se evidencia una contracción del 46,00%, reflejando que las pérdidas derivadas del fraude afectan de manera profunda la capacidad de generación de utilidades. Esta disminución representa una señal de alerta, ya que la rentabilidad constituye un elemento esencial para la permanencia y el crecimiento sostenido de las empresas, más aún en un sector que demanda importantes inversiones de capital. Las organizaciones impactadas por prácticas fraudulentas no solo ven reducidos sus ingresos, sino que también enfrentan un aumento de sus costos operativos, producto de la necesidad de implementar auditorías, fortalecer los controles internos y corregir las deficiencias detectadas.

Finalmente, el retorno sobre los activos (ROA) presenta una reducción del 40,00% posterior al fraude, lo que evidencia una menor eficiencia en el uso de los recursos disponibles para la generación de beneficios. Esta caída significativa sugiere que las pérdidas ocasionadas por el fraude afectan no solo los resultados financieros, sino también la productividad y la eficiencia operativa de la empresa. En consecuencia, la recuperación se vuelve más compleja y la capacidad de obtener rendimientos positivos de los activos se ve comprometida. Ante este escenario, las empresas inmobiliarias afectadas podrían verse obligadas a replantear sus estrategias operativas, incorporando mejoras en tecnología y programas de capacitación del personal que permitan fortalecer la eficiencia y restablecer la rentabilidad.

La tabla, 6 indica que un efecto negativo es la desconfianza de los clientes debido al fraude organizacional, porque el 55,00% de las empresas que fueron encuestadas han dado como resultado este mayor impacto. El fraude debilita la credibilidad de la organización frente a sus clientes, un aspecto determinante en el sector inmobiliario, donde las relaciones comerciales sostenidas en el tiempo son esenciales. Dado que las decisiones de compra, arrendamiento o inversión inmobiliaria se basan en gran medida en la confianza, un evento de fraude puede provocar que los clientes opten por otras alternativas. Esta desconfianza no solo se refleja en una reducción de la demanda, sino también en un deterioro prolongado de la reputación empresarial. El efecto negativo se da más en las pequeñas y medianas empresas, las cuales dependen en mayor medida del prestigio, la recomendación y las relaciones personales.

**Tabla 6.**

*Impacto del fraude organizacional en la percepción del mercado y relaciones comerciales de las PYMEs del sector inmobiliario ecuatoriano*

Consecuencia asociada al fraude	Empresas afectadas (n)	Porcentaje (%)	Nivel de impacto percibido	Implicación estratégica
Desconfianza de los clientes	17,00	55,00%	Alto	Deterioro de la imagen corporativa y reducción de fidelización
Pérdida de ventas	9,00	30,00%	Medio	Disminución de ingresos operativos y menor participación de mercado
Cancelación de contratos comerciales	7,00	22,00%	Medio	Afectación directa a la continuidad de proyectos inmobiliarios
Dificultades en la relación con entidades financieras	5,00	18,00%	Bajo-medio	Restricciones de crédito y mayores costos de financiamiento

El 30,00 % de las empresas ha experimentado una disminución en sus niveles de ventas como consecuencia del fraude, y esto afecta directamente a todos sus ingresos. La ocurrencia de fraude deteriora la imagen corporativa y reduce la disposición de los consumidores a concretar operaciones relevantes, como la compra o el arrendamiento de inmuebles. Este impacto resulta especialmente perjudicial para las empresas inmobiliarias, ya que muchas de ellas dependen de ciclos de ventas de alto valor para sostener su actividad operativa. Para las PYMEs del sector inmobiliario, la reducción en las ventas puede desencadenar efectos negativos en cadena sobre la liquidez, rentabilidad y la estabilidad financiera a largo plazo.

El termino de contratos como consecuencia de prácticas fraudulentas afecta al 22,00% de las empresas inmobiliarias que han sido analizadas. En este sector, los contratos representan la base de las operaciones, ya que formalizan acuerdos de compra, alquiler y otros compromisos que garantizan flujos de ingresos futuros. La cancelación de estos acuerdos afecta negativamente a la empresa y genera una pérdida de confianza en la empresa o en sus procedimientos internos, que conlleva a pérdidas económicas inmediatas y un daño significativo a la imagen de la empresa. Adicionalmente, las organizaciones pueden enfrentar conflictos legales derivados del incumplimiento contractual, lo que implica costos adicionales por asesoría jurídica o indemnizaciones. El termino de contratos también incrementa la percepción de inseguridad jurídica, al evidenciar la vulnerabilidad de las relaciones comerciales frente a fallas internas. Para reducir estos riesgos, resulta fundamental que las empresas inmobiliarias adopten políticas orientadas a la confianza y la transparencia, así como la implementación de sistemas de gestión de relaciones con clientes que faciliten la comunicación y aseguren el cumplimiento de los acuerdos establecidos.

Como punto final, tenemos las dificultades de las empresas en su relación con las entidades



financieras; se ha detectado un 18,00 % de empresas afectadas. En el sector inmobiliario, donde el acceso al crédito es esencial para financiar proyectos de construcción o adquisición de bienes raíces, este tipo de afectación resulta especialmente crítica. Al conocer que una empresa ha sido víctima de fraude, las instituciones bancarias pueden percibir un mayor nivel de riesgo crediticio, lo que se traduce en una postura más restrictiva. Como resultado, las entidades financieras pueden rechazar solicitudes de financiamiento, incrementar las tasas de interés aplicadas a productos vigentes o imponer condiciones más estrictas para futuros créditos, y esto no permitirá que la empresa siga creciendo y se verá afectada en un futuro.

#### 4. DISCUSIÓN

Los resultados del presente estudio evidencian que el fraude organizacional constituye un factor de riesgo significativo para la estabilidad financiera de las pequeñas y medianas empresas del sector inmobiliario ecuatoriano. La identificación de la apropiación indebida de recursos (36,00 %) y de los pagos a proveedores inexistentes (24,00 %) como las modalidades fraudulentas más recurrentes coincide con la literatura especializada, que señala que los esquemas de fraude interno suelen concentrarse en áreas con alta discrecionalidad operativa y debilidades en los mecanismos de supervisión (Cando et al., 2023). Estos hallazgos sugieren la existencia de deficiencias estructurales en los sistemas de control interno, particularmente en los procesos de gestión del efectivo, autorización de pagos y validación de transacciones, lo que incrementa la exposición de las PYMEs inmobiliarias a prácticas ilícitas.

Desde la perspectiva financiera, el hecho de que el 40,00 % de las empresas haya reportado pérdidas económicas directas asociadas al fraude, con un promedio anual aproximado de USD 21.000,00, pone de relieve la magnitud del problema en un segmento empresarial caracterizado por limitaciones de liquidez y acceso restringido a financiamiento. Si bien el monto de la pérdida puede parecer moderado en términos absolutos, su impacto relativo resulta considerable para las PYMEs, dado que compromete su capacidad de reinversión y su sostenibilidad operativa. En este sentido, la disminución del 15,00 % en la liquidez corriente observada en las empresas afectadas confirma que el fraude deteriora la capacidad de cumplimiento de obligaciones de corto plazo, lo cual coincide con lo señalado por Moreno y Quijano (2022), quienes destacan que la ocurrencia de irregularidades financieras suele traducirse en tensiones de caja y en una mayor vulnerabilidad frente a riesgos financieros adicionales.

En cuanto a la rentabilidad, los resultados muestran reducciones sustanciales del 46,00 % en el margen de rentabilidad neta y del 40,00 % en el retorno sobre los activos (ROA) en las empresas que presentaron prácticas fraudulentas. Estas variaciones reflejan un deterioro significativo en la eficiencia financiera y en la capacidad de generar beneficios a partir de los recursos disponibles. Estudios previos, como el de Palaguachi y Torres (2025), sostienen que el fraude no solo provoca pérdidas económicas inmediatas, sino que también distorsiona los procesos de toma de decisiones, afecta la asignación eficiente de los recursos y compromete el desempeño financiero en el mediano y largo plazo. En este sentido, los resultados obtenidos refuerzan la idea de que el fraude organizacional actúa como un factor estructural que debilita la sostenibilidad financiera de las empresas inmobiliarias.

Adicionalmente, los efectos del fraude trascienden el ámbito estrictamente financiero y se extienden al plano reputacional y comercial. La pérdida de confianza de los clientes, reportada por el 55 % de las empresas, junto con la reducción de ventas (30 %) y la cancelación de contratos (22 %), evidencia que el fraude afecta directamente la credibilidad empresarial y la percepción del mercado. Estos hallazgos son consistentes con lo planteado por Portela et al. (2023), quienes destacan que, en sectores intensivos en confianza, como el inmobiliario, las irregularidades financieras generan un impacto negativo en las relaciones comerciales, limitan la captación de nuevos clientes y restringen el acceso a alianzas estratégicas y financiamiento externo.

En conjunto, la evidencia empírica obtenida confirma que el fraude organizacional incide de manera directa y significativa tanto en la gestión financiera como en la reputación empresarial de las PYMEs del sector inmobiliario ecuatoriano. Estos resultados refuerzan la necesidad de fortalecer los sistemas de control interno, implementar mecanismos de supervisión continua y promover una cultura organizacional orientada a la transparencia y la ética empresarial. De este modo, la prevención del fraude debe concebirse no solo como una medida de control, sino como una estrategia integral para mejorar la eficiencia financiera, preservar la confianza del mercado y garantizar la sostenibilidad de las organizaciones en un entorno económico cada vez más exigente.

## 5. CONCLUSIONES

Los resultados de la investigación permiten concluir que el fraude organizacional ejerce un impacto significativo y multidimensional sobre la gestión financiera de las pequeñas y medianas empresas del sector inmobiliario ecuatoriano. La evidencia empírica demuestra que la ocurrencia de prácticas fraudulentas se asocia directamente con el deterioro de indicadores financieros clave, particularmente la liquidez, la rentabilidad y la eficiencia en el uso de los recursos, lo que compromete la estabilidad financiera y la continuidad operativa de las organizaciones. En este sentido, el fraude debe ser comprendido como un riesgo estructural y sistémico que exige una gestión administrativa y financiera sólida, orientada a la prevención y mitigación de irregularidades.

Asimismo, se concluye que las modalidades de fraude más recurrentes en las PYMEs inmobiliarias están estrechamente vinculadas a debilidades en los sistemas de control interno. La falta de procedimientos formalizados, la escasa segregación de funciones, la insuficiente supervisión de los flujos financieros y la limitada aplicación de auditorías periódicas incrementan la vulnerabilidad de las empresas frente al fraude, confirmando la relación directa entre controles internos deficientes y una mayor incidencia de prácticas fraudulentas.

De igual manera, los hallazgos evidencian que el impacto del fraude organizacional trasciende las pérdidas económicas inmediatas, generando consecuencias indirectas de alto impacto en el ámbito reputacional y comercial. La pérdida de confianza de clientes, la reducción de ventas, la cancelación de contratos y las dificultades en la relación con entidades financieras afectan la posición competitiva de las PYMEs inmobiliarias y limitan su acceso a financiamiento, inversión y oportunidades de crecimiento, comprometiendo su viabilidad a mediano y largo plazo.

Finalmente, se concluye que el fortalecimiento de los sistemas de control interno constituye una

estrategia fundamental para reducir la incidencia y los efectos del fraude organizacional en la gestión financiera de las PYMEs del sector inmobiliario. La implementación de controles preventivos y correctivos, la adopción de mecanismos de supervisión continua, la capacitación permanente del personal en temas de ética y control, y la realización sistemática de auditorías internas se identifican como acciones clave para promover una gestión financiera más transparente, eficiente y sostenible. En este contexto, los resultados del estudio aportan evidencia relevante para el diseño de políticas y estrategias empresariales orientadas al fortalecimiento institucional, la sostenibilidad financiera y la competitividad de las PYMEs inmobiliarias en el entorno económico ecuatoriano.

## 6. AGRADECIMIENTO

Investigación derivada del proyecto titulado “Impacto del fraude organizacional en la gestión financiera de las pymes del sector inmobiliario Ecuatoriano” mismo que es patrocinado por el Instituto Superior Tecnológico Central Técnico (con condición de universitario). Quito – Ecuador.

## 7. REFERENCIAS

- Alvarado, J. C. D., & Mora, C. A. F. (2022). Análisis de la Teoría del fraude aplicado al caso Carabineros de Chile. *Revista Summa de Arithmetica*, (5), 5-19. <https://doi.org/10.11565/sda.v1i5.3>
- Amay, E. M. Z., & Narváez, M. E. A. (2022). Auditoría Forense y Fraudes Financieros. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 7(5), 57. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9042657>
- Aros, L. H., Sanabria, A. V. J., Viña, J. A. L., & Portela, F. G. (2022). La Prospectiva de los mecanismos en la detección de fraudes financieros. *Revista Decisión Gerencial*, 1(1), 31-41. <https://doi.org/10.26871/rdg.v1i1.6>
- Bermeo-Giraldo, M. C., Grajales-Gaviria, D., Valencia-Arias, A., & Palacios-Moya, L. (2021). Evolución de la producción científica sobre el fraude contable en las organizaciones: análisis bibliométrico. *Estudios Gerenciales*, 37(160), 492-505. <https://doi.org/10.18046/j.estger.2021.160.4000>
- Bustillos, J. E. Z., Quimbata, E. C. G., & Ascazubi, C. D. L. M. R. (2025). El rol de los Contadores en la prevención de fraudes financieros en las empresas ecuatorianas. *Revista Científica y Tecnológica VICTEC*, 6(10), 41-59. <https://istvicenteleon.edu.ec/victec/index.php/revista/article/view/200>
- Cando-Morejon, I. A., Guanoluisa-Salazar, J. B., & Villacis-Yanez, D. P. (2023). Casos de fraudes financieros en ecuador: una revisión breve. *ISTE SCIENTIST*, 2(01). <https://revistas.iste.edu.ec/index.php/reviste/article/view/15>
- Gil, J. (2025). De la burbuja inmobiliaria a la generación inquilina: Propiedad, alquiler y rentismo tras la crisis de 2008. *Papers. Revista de Sociologia*, 110(4), e3372-e3372.

<https://doi.org/10.5565/rev/papers.3372>

- Gómez, V. M., & Saltos, M. M. (2022). La auditoría forense y su aporte en la investigación del fraude financiero. 593 *Digital Publisher CEIT*, 7(6), 397-414. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9124131>
- González-Martin, J. M., & Salas-Suárez, A. A. (2023). Evidencias internacionales de fraude fiscal y blanqueo de capitales a través de paraísos fiscales. *ANDULI, Revista Andaluza de Ciencias Sociales*, (24), 27-56. <https://doi.org/10.12795/anduli.2023.i24.02%20>
- Henriquez, J. A. S., Cortés, P. N., & González, P. S. (2022). Fraude: Una mirada global a su desarrollo conceptual. *Revista Venezolana de Gerencia: RVG*, 27(99), 884-910. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8890708>
- Monrroy Aime, J., Hernández-Celis Vallejos, J. P., Rueda Peves, J., Cruz Gonzáles, W. E., Hernández Celis, D., & Perea Haya, P. (2025). Evaluación del impacto de la auditoría financiera en la gestión económica, patrimonial y financiera empresarial. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, 29(128), 62-72. <https://doi.org/10.47460/uct.v29i128.987>
- Moreno, L. E., & Quijano, M. O. (2022). Formación en auditoría forense como mecanismo de prevención del fraude en una sociedad y cultura Digital. *EducaT: Educación virtual, Innovación y Tecnologías*, 3(2), 27-47. <https://doi.org/10.22490/27452115.6440>
- Nivelo-Morejón, M. A., & Flores-Flores, M. E. (2025). Control interno y prevención del lavado de activos en cooperativas de ahorro y crédito [Internal control and prevention of money laundering in savings and credit cooperatives]. *Revista Multidisciplinaria Perspectivas Investigativas*, 5(economica), 171-187. <https://doi.org/10.62574/rmpi.v5ieconomica.346>
- Peñarreta-Angamarca, M. T., Torres-Palacios, M. M., & Moreno-Narváez, V. P. (2024). Efectividad Palaguachi-Quito, M. M., & Torres-Palacios, M. M. (2025). Control interno y ética empresarial mecanismos para prevenir lavado de dinero y fraude corporativo [Internal control and business ethics mechanisms to prevent money laundering and corporate fraud. *Revista Multidisciplinaria Perspectivas Investigativas*, 5(economica), 261-272. <https://doi.org/10.62574/rmpi.v5ieconomica.360>
- Pilamunga, A. J. A., & González, I. P. A. (2025). Evaluación de la vulnerabilidad en los sectores no financieros frente al lavado de activos. *Esprint Investigación*, 4(2), 4. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10303268>
- Portela, F. G., Cárdenas, S. R., Ospina, L. P. P., & Aros, L. H. (2023). Estudio de la prevención y detección de fraudes financieros a través de técnicas de aprendizaje automático. *CAFI*, 6(1), 77-101. <https://doi.org/10.23925/cafi.v6i1.58372>
- Prince, A. (2023). Rol del gobierno corporativo ante el fraude financiero. *Aula Virtual*, 4(10), 126-133. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8132454>
- Quiroz, J. I. P., Soque, B. J. L., Muñoz, L. D. Q., & Chasi, H. M. A. (2025). Incidencia del crimen organizado en el cometimiento de fraude financiero en el sector textil ecuatoriano. *Magazine de las Ciencias: Revista de Investigación e Innovación*, 10(2), 101-

137. <https://revistas.utb.edu.ec/index.php/magazine/article/view/3350>

Sarmiento, F. G. R., & Álvarez, J. C. E. (2021). Claves de una buena gestión financiera para mitigar los efectos por pandemia en pequeñas organizaciones. *Cienciamatria*, 7(2), 567-596. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8318863>

Silveira, A. D. M. D. (2023). Cultura antiética y desempeño corporativo según las evaluaciones de los empleados. *Revista de Administração de Empresas*, 63, e2020-0926. <https://doi.org/10.1590/S0034-759020230206>

Trindade, G. H., dos Santos, G. M., de Oliveira Pistolato, R., & Boreli, D. (2025). A IMPORTÂNCIA DOS CONTROLES INTERNOS NA MITIGAÇÃO DE ERROS E FRAUDES CONTÁBEIS NAS ORGANIZAÇÕES. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, 11(11), 9988-10004. <https://doi.org/10.51891/rease.v11i11.22665>

Vaca, C., Martínez, D., & Toasa, R. M. (2022). Análisis OSINT aplicado a la investigación de Fraudes Financieros. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*, (E49), 80-91. <https://www.proquest.com/openview/d16347cbac65fced95b9fa3ff9951207/1?pq-origsite=gscholar&cbl=1006393>

Vergara Arrieta, J. J., Puerta Guardo, F. A., & Huertas Cardozo, N. C. (2023). Implementación de las normas internacionales de información financiera (NIIF) para las pequeñas y medianas empresas (Pymes) en Colombia. *Contaduría y administración*, 68(2). [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0186-10422023000200113&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0186-10422023000200113&script=sci_arttext)

Zhapa-Amay, E. M., & Añazco-Narváez, M. E. (2022). Auditoría forense y fraudes financieros. *Polo del Conocimiento*, 7(5), 1010-1021. <https://doi.org/10.23857/pc.v7i5.4008>

## Statistical Analysis of the Quality of the Physical and Mechanical Properties of Wood Plastic Composites.

### Análisis Estadístico de Calidad de las Propiedades Físicas y Mecánicas de los Compuestos de Madera Plástica.

Daniel Casaliglia Gordón<sup>1[0000-0002-6964-3384]</sup>, Jarvis Montúfar Molina<sup>2[0009-0005-5056-0836]</sup>, José Ávila Brito<sup>3</sup>,  
Leonardo Beltrán Venegas<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador  
E-mail: [cdcasaliglia@istct.edu.ec](mailto:cdcasaliglia@istct.edu.ec)

<sup>2</sup> Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador  
E-mail: [jrmontufarmolina@istct.edu.ec](mailto:jrmontufarmolina@istct.edu.ec)

<sup>3</sup> Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador  
E-mail: [javila@istct.edu.ec](mailto:javila@istct.edu.ec)

<sup>4</sup> Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador  
E-mail: [lbeltran@istct.edu.ec](mailto:lbeltran@istct.edu.ec)

Recibido: 25/10/2025

Aceptado: 10/12/2025

Publicado: 30/12/2025

#### RESUMEN

Este artículo compara la calidad de dos maderas plásticas comerciales en Quito: madera plástica de origen virgen (WPC) y reciclada (WPCR). Se fabricaron probetas según ISO 2818 y se realizaron ensayos de compresión (ASTM D6108), humedad (BS EN 322) y absorción (ASTM D570). Para humedad y absorción se usaron  $n = 3$  por material; compresión con  $n = 1$ . WPC mostró mayor resistencia a compresión (38.342 MPa) y módulo de elasticidad (1,280.900 MPa) frente a WPCR (22.024 MPa; 742.910 MPa), mientras que WPCR presentó fallas más dúctiles, menor variabilidad en absorción (CV 4.29% vs 39.17%) y humedad (CV 17.18% vs 21.21%). Debido al bajo tamaño muestral en compresión, las conclusiones mecánicas son preliminares. Se recomienda aumentar réplicas y priorizar la consistencia (CV) en control de calidad.

**Palabras clave:** WPC; WPCR; ASTM D6108; Calidad; Materiales compuestos; Coeficiente de variación.

#### ABSTRACT

This study evaluates the quality of two commercial plastic woods in Quito: virgin plastic wood (WPC) and recycled plastic wood (WPCR). Test specimens were prepared in accordance with ISO



2818, and compression (ASTM D6108), moisture (BS EN 322), and water absorption (ASTM D570) tests were performed. For moisture and absorption,  $n = 3$  specimens per material were tested, while for compression only  $n = 1$  was used. Results indicate that WPC exhibited higher compressive strength (38.342 MPa) and modulus of elasticity (1,280.900 MPa) compared to WPCR (22.024 MPa; 742.910 MPa). In contrast, WPCR displayed more ductile failure behavior and lower variability in absorption (CV 4.29% vs. 39.17%) and moisture (CV 17.18% vs. 21.21%). Given the limited sample size in the compression tests, the mechanical findings should be regarded as preliminary. It is therefore recommended to increase the number of replicates and to emphasize consistency (CV) as a key parameter in quality control.

**Index terms:** WPC; WPCR; ASTM D6108; Quality; Composite materials; Coefficient of variation.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los materiales compuestos de madera plástica (WPC, por sus siglas en inglés Wood-Plastic-Composite) han experimentado un crecimiento significativo como alternativa sostenible en la industria de la construcción, combinando fibras lignocelulósicas con matrices termoplásticas para crear productos con propiedades mecánicas competitivas y menor impacto ambiental (Mital'ová et al., 2024). Esta tecnología representa una solución innovadora al problema de la gestión de residuos plásticos y la reducción de la explotación sobre los recursos forestales naturales, aspectos cada vez más críticos en el contexto urbano actual.

El Distrito Metropolitano de Quito, como una de las principales ciudades del Ecuador, genera volúmenes considerables de residuos plásticos que requieren alternativas de aprovechamiento más allá de la disposición tradicional en vertederos (Jijón, 2023). La transformación de estos desechos en insumos útiles de construcción, como la madera plástica, ha demostrado ser una estrategia de economía circular con potencial técnico y comercial en diversas aplicaciones (Burgstaller et al., 2023). Sin embargo, para lograr una ejecución efectiva de estos materiales en proyectos constructivos, se requiere el establecimiento de sistemas de control de calidad que garanticen la consistencia y confiabilidad de sus propiedades.

Estudios recientes indican resultados sorprendentes en el comportamiento de materiales WPC de origen reciclado comparados con fabricados a partir de materias primas vírgenes. Oliveros et al. (2024) concluyen que un buen proceso de reciclaje mejora la calidad de la matriz polimérica, por otra parte, Jian et al. (2022) destacan la importancia de la consistencia de las propiedades físicas y mecánicas por medio de indicadores de calidad, estableciendo así una mayor importancia sobre los valores absolutos de resistencia mecánica. Estos hallazgos ponen en duda las percepciones tradicionales sobre la calidad de materiales reciclados y sugieren la necesidad de desarrollar metodologías de evaluación más completas.

El problema central radica en la falta de sistemas estandarizados de control de calidad para materiales WPC disponibles comercialmente en el mercado ecuatoriano. Khoaele et al. (2023) señalan que las propiedades de los materiales compuestos varían de tal manera que representan



un obstáculo para su uso general en aplicaciones estructurales. Esta situación empeora por la falta de bases de evaluación que tomen en cuenta la consistencia estadística de las propiedades de los materiales alternativos.

El control de calidad en materiales compuestos va más allá de la simple verificación de valores mínimos de resistencia, requiriendo un enfoque integral que evalúe la homogeneidad y predictibilidad del comportamiento del material (Ramesh et al., 2022). Los coeficientes de variación se han convertido en herramientas estadísticas fundamentales para cuantificar la consistencia, permitiendo establecer criterios objetivos de aceptación y rechazo de lotes de producción. La implementación de este método estadístico en el contexto de ensayos para materiales compuestos reciclados representa una contribución significativa al desarrollo de la industria ecuatoriana de construcción.

La relevancia de esta investigación se fundamenta en la necesidad urgente de establecer marcos técnicos de referencia que permitan incorporar de manera segura y confiable la madera plástica a proyectos de construcción locales. Sommerhuber et al. (2020) demostraron que los materiales compuestos producidos a partir de materiales reciclados pueden ofrecer ventajas ambientales y técnicas superiores, pero su adopción requiere sistemas de control de calidad que garanticen su desempeño a largo plazo. Esta investigación contribuye al llenar esta brecha de conocimiento mediante la evaluación rigurosa de materiales disponibles comercialmente y la propuesta de metodologías de control adaptadas al contexto local.

El objetivo principal de este estudio consiste en desarrollar un sistema de evaluación de calidad para materiales de madera plástica mediante análisis de consistencia basado en coeficientes de variación, utilizando ensayos físicos y mecánicos normalizados aplicados a materiales comerciales disponibles en el Distrito Metropolitano de Quito. Esta investigación se propone establecer parámetros cuantitativos de control que permitan distinguir entre materiales de calidad aceptable y aquellos que requieren ajustes en sus procesos de fabricación o composición.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1. Metodología**

La presente investigación se desarrolló mediante un método experimental con enfoque mixto (cualitativo y cuantitativo) de tipo correlacional, aplicando un diseño experimental que permite el análisis de las propiedades físicas y mecánicas de la madera plástica bajo condiciones controladas de laboratorio de temperatura  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  y humedad  $50 \pm 5\%$ . Se empleó un muestreo no aleatorio intencional, seleccionando deliberadamente especímenes de dos tipos de materiales compuestos: madera plástica (WPC) y madera plástica de origen reciclado (WPCR). La metodología contempla la preparación de probetas según ISO 2818:2018, seguida de la ejecución de ensayos mecánicos de compresión bajo la norma ASTM D6108-24 y ensayos físicos de humedad y absorción según BS EN 322-94 y ASTM D570-22 respectivamente. Los datos obtenidos fueron procesados mediante análisis estadístico, permitiendo la determinación de parámetros

críticos como la resistencia a la compresión, módulo de elasticidad, contenido de humedad y capacidad de absorción, con el objetivo de establecer un sistema de control de calidad que garantice estándares técnicos apropiados para la aplicación de estos materiales en la industria de la construcción.

## 2.2. Materiales

Se trabajó con madera plástica fabricada a partir de materias primas vírgenes (WPC) y fabricada a partir de material reciclado (WPCR), esta última está compuesta por un 70% de plásticos polímeros como polietileno (PE), polipropileno (PP) y PVC. El porcentaje restante contempla fibras vegetales o lignocelulósicas como harina de madera, aserrín y cascara de arroz. Se desconoce la composición exacta del material WPC, pero en base a diversas investigaciones se estima un 30% de matriz polimérica con polietileno de alta y baja densidad (PEAD, PEBD), PP y tereftalato de polietileno (PET), un 50% de aserrín como fibra de refuerzo y un 20% de materiales aglutinante o aditivos (López et al., 2014).

**Figura 1.**

*Materiales compuestos empleados: WPC (izquierda) y WPCR (derecha).*



## 2.3. Preparación de las probetas

El dimensionamiento y tolerancia de cada probeta dependerá del ensayo a realizar, el método de preparación viene regido por la norma ISO 2818:2018 “Plásticos – Preparación de especímenes de prueba por maquinado”. El material utilizado fue adquirido directamente del fabricante y se cortó en secciones para fabricar las probetas de los distintos ensayos, para el ensayo de compresión se utilizó el punto 6.5 de la norma “acabado de extremos”, establece el uso de máquinas como fresadoras, tornos y cepilladoras de preferencia con cuchillas o fresas de un solo filo de corte de acero rápido (HSS), acero templado o diamante. Para los ensayos físicos no se requiere probetas con medidas específicas según sus normas respectivas, por ello se utilizó el punto 6.2 de la norma para preparación de especímenes rectangulares por aserrado. Parámetros y condiciones de mecanizado se especifican en la Tabla 1.

**Tabla 1.***Parámetros de mecanizado según ISO 2818:2018*

Material	Método de maquinado	Geometría	Número de dientes (z)	Parámetros de corte		
		Diámetro  (mm)		Velocidad de corte  (m/min)	Velocidad de avance  (m/min)	Refrigerante
Termoplásticos	Aserrado	-	-	3 a 15	Mediano	Ninguno
Termoestables	Fresado	60 a 80	1	50 a 250	0.07 a 2	Aire o agua

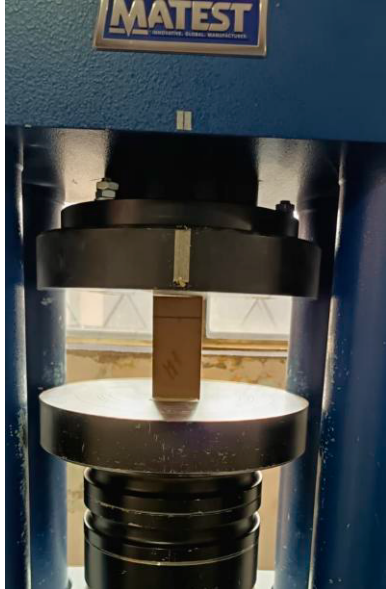
## 2.4. Ensayo de compresión

La evaluación de la madera plástica para usos estructurales se realizó mediante el ensayo de compresión tomando en cuenta la norma ASTM D6108-24 como guía de procedimientos para determinar la resistencia y el comportamiento elástico-plástico del material. Se trabajó con probetas en su estado original de manufactura siendo perfiles de sección circular o cuadrada, únicamente se mecanizarán los extremos para cumplir con una tolerancia de 1/300 veces la longitud total de la probeta. Esta longitud viene determinada por el área transversal del material manufacturado, estableciendo una relación del doble de su ancho o diámetro tal como se menciona en el apartado 6.2 de la norma. Ambos materiales presentaron geometría prismática tal como se evidencia en la Figura 1, con un espesor mínimo medio de 52.50 mm para la madera plástica elaborada con materias vírgenes (WPC) y de 67.95 mm para la madera plástica de origen reciclado (WPCR).

Se trabajó con una máquina universal de compresión (MATEST C170PN214) calibrada a una velocidad de 0.03 mm/min durante un periodo estimado de 5 minutos tal como lo indica el apartado 9.2 de la norma, la máquina cuenta con compresómetro y un sistema de recolección de datos. La norma establece dos métodos para realizar el ensayo, el primer método para determinar la fuerza de compresión o esfuerzo en un punto de deformación dada y el segundo método para determinar la gráfica esfuerzo-deformación, para nuestro estudio se procederá con el segundo método. El procedimiento empezó midiendo el ancho, espesor o diámetro con una precisión del 1 % en varios puntos para calcular el valor del área de sección transversal, de igual manera medir la longitud inicial en varios puntos. Luego se colocará la probeta en la línea de centro de los platos de compresión asegurándose de estar ambos en paralelo, de igual manera se colocó el compresómetro para empezar a aplicar carga con la velocidad mencionada anteriormente hasta que la probeta falle o se alcance el porcentaje de deformación del 3 %.

**Figura 2.**

*Máquina de ensayo universal de compresión Matest*



Se registraron datos como carga máxima, resistencia máxima, umbral de deformación, gradiente y área. El primer valor a determinar será la resistencia a la compresión, siendo el punto de mayor esfuerzo y punto de fractura en la probeta. El esfuerzo se calculó de la siguiente manera.

$$\sigma = \frac{\text{Carga (N)}}{\text{Área (mm}^2\text{)}} \quad (1)$$

Para estimar la rigidez del material en un rango específico de carga, se calcula el módulo secante, definido como la pendiente de la recta entre el 0 % y el 1 % de deformación en la gráfica esfuerzo-deformación. El módulo secante es un parámetro especialmente útil para materiales con zonas elásticas no lineales, como lo es la madera plástica, este parámetro permite cuantificar la rigidez promedio del material en un rango inicial de carga.

$$\text{Módulo secante} = \frac{\sigma_{1\%} - \sigma_{0\%}}{\varepsilon_{1\%}} \quad (2)$$

A diferencia del módulo secante, el módulo de elasticidad toma la región inicial de deformación para determinar la rigidez en la zona elástica. Debido a inconformidades al momento de realizar el ensayo como alineamiento de platos o holguras en las probetas, la recopilación de datos empieza con una carga elevada en una deformación del 0 %. Esto representa un problema analítico para determinar el módulo de elasticidad y es por ello que la norma ASTM D6108-24 establece un concepto de *TOE compensation*, graficando una recta tangente al segmento constante de la curva entre las deformaciones del 0 % y 1 %, se toma la relación entre el esfuerzo y la deformación como módulo de elasticidad.

$$\text{Módulo de elasticidad} = \frac{\sigma_{n\%}}{\varepsilon_{n\%}} \quad (3)$$

## 2.5. Ensayos de humedad y absorción

La humedad presente y la capacidad de absorción del material compuesto fueron determinados por las normas BS EN 322-94 "Determinación de contenido de humedad para compuestos derivados de madera" y la norma ASTM D570-22 "Método de prueba estándar para la absorción de agua de plásticos". Para ambos ensayos se utilizó un horno industrial capaz de ser controlado a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  y  $50 \pm 3^\circ\text{C}$ , para el enfriamiento se utilizó un desecador con gel de sílice capaz de absorber la humedad presente en el ambiente. Se pesó antes y después de cada fase con una balanza analítica de precisión 0.01 gr.

**Figura 3.**

*Horno industrial de laboratorio con termostato*



Como establece el punto 5.2 de la BS EN 322-94 no se requiere probetas con dimensiones específicas, únicamente deben cumplir con un peso mínimo de 20 gr y estar libre de rebabas o polvos. El procedimiento empezó con un pesaje de las probetas antes del secado en horno, una vez dentro se calentaron hasta llegar a la temperatura designada, posteriormente se enfriaron en un desecador hasta llegar a temperatura ambiente para ser pesadas nuevamente, todo este proceso se repitió hasta alcanzar un punto de masa constante donde su peso no difirió más del 0.1 % en intervalos de 6 horas.

Durante el ensayo de humedad se registraron los pesos de las probetas en las diferentes fases, obteniendo un peso inicial antes del secado y un peso final después del enfriado calculando así el porcentaje de humedad presente.

$$H = \frac{m_{inicial} - m_{final}}{m_{final}} \times 100 \quad (4)$$

El ensayo de absorción de agua se realizó de acuerdo a la norma ASTM D570-22. Las probetas fueron sumergidas completamente en agua destilada durante un periodo de 24 horas  $\pm$  30 minutos, transcurrido dicho periodo se eliminó el exceso de agua superficial con un paño y se efectuó el primer pesaje. El acondicionamiento posterior a la inmersión se realizó de acuerdo al punto 6.1.2 de la norma, para muestras cuyos valores de absorción no se ven afectados por temperaturas de 110 °C se secarán en un horno a dicha temperatura durante 1 hora. Acabado el acondicionamiento se enfriaron en un desecador hasta llegar a la temperatura ambiental y se realizó el segundo pesaje. Se determinó el incremento de peso de la siguiente manera.

$$\text{Incremento (\%)} = \frac{m_{\text{húmeda}} - m_{\text{acondicionado}}}{m_{\text{acondicionado}}} \times 100 \quad (5)$$

Durante la inmersión de las probetas en agua, parte de la materia puede disolverse o desprenderse, lo que genera variaciones en la masa y puede afectar la precisión de los resultados. Esta fracción del material que se disuelve se conoce como materia soluble, y su determinación permite evaluar la estabilidad de la probeta frente a la acción del agua. Según la norma ASTM D570, el reacondicionamiento consiste en someter las probetas al mismo tiempo y temperatura del secado original, enfriarlas en un desecador y volver a pesarlas, de modo que la diferencia nos permita cuantificar la materia soluble y ajustar el cálculo de absorción de agua.

$$\text{Materia soluble (\%)} = \frac{m_{\text{acondicionado}} - m_{\text{reacondicionado}}}{m_{\text{acondicionado}}} \times 100 \quad (6)$$

## 2.6. Análisis de la calidad

La evaluación de la calidad de ambos materiales compuestos se realizó mediante un análisis de consistencia basado en herramientas estadísticas de control de calidad, aplicando el coeficiente de variación (CV) como indicador principal de la homogeneidad y reproducibilidad de las propiedades físicas y mecánicas obtenidas. Para los ensayos de compresión, debido al tamaño limitado de la muestra ( $n=1$ ), se implementó un análisis comparativo directo entre WPC y WPCR, evaluando las diferencias porcentuales en resistencia, módulo de elasticidad y módulo secante, complementando con el análisis cuantitativo de las curvas esfuerzo-deformación para determinar el comportamiento mecánico de cada material. Se entiende el coeficiente de variación como la proporción entre la desviación estándar sobre la media.

$$CV (\%) = \frac{s}{\bar{x}} \times 100 \quad (7)$$

En los ensayos de humedad y absorción, con un tamaño de muestra  $n=3$  por material, se aplicó un análisis de consistencia utilizando criterios de clasificación basados en el coeficiente de variación como se observa en la Tabla 2, permitiendo evaluar la variabilidad interna de cada material y establecer parámetros de control de calidad. Estos umbrales se adoptaron siguiendo investigaciones en compuestos poliméricos, que consideran  $CV < 10 \%$  como alta reproducibilidad,  $10 - 25 \%$  como buena/aceptable y valores  $> 25 \%$  como indicativos de variabilidad relevante (Azizan et al., 2021; Brito et al., 2019; Taheri et al., 2025).

**Tabla 2.***Índices CV*

<b>CV</b>	<b>Descripción</b>
< 10 %	Excelente
10 – 15 %	Muy consistente
15 – 25 %	Consistente
> 25 %	Poco consistente

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Caracterización física de los materiales

Los materiales compuestos presentaron diferencias notables en sus características físicas y dimensionales. El material WPC mostró una coloración uniforme con acabado homogéneo, mientras que el material WPCR mostró características típicas de materiales reciclados. Ambos materiales mantuvieron geometría prismática rectangular según se observa en la Figura 1.

Las dimensiones de las probetas utilizadas para el ensayo de compresión se presentan en la Tabla 3. El material WPC presentó dimensiones de 53.00 x 32.70 x 105.00 mm, mientras que el WPCR mostró dimensiones de 68.00 x 67.20 x 135.90 mm. La diferencia en el área transversal fue significativa, siendo de 1733.10 mm para WPC y 4569.60 mm para WPCR, representando un incremento del 163.60 % en el área de sección transversal del material reciclado.

**Tabla 3.***Dimensiones generales probetas ensayo de compresión*

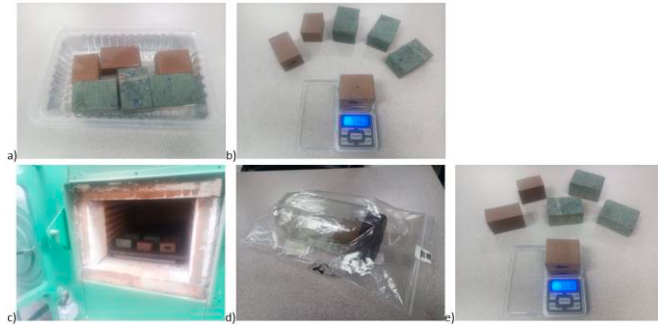
<b>Material</b>	<b>Largo (mm)</b>	<b>Ancho (mm)</b>	<b>Altura (mm)</b>	<b>Área transversal (mm)</b>	<b>Masa (kg)</b>	<b>Densidad (kg/m3)</b>
<b>WPC</b>	105.00	53.00	32.70	1733.10	0.148	813.30
<b>WPCR</b>	135.90	68.00	67.20	4569.60	0.528	850.23

Las probetas para el ensayo de humedad y absorción fueron preparadas como especímenes rectangulares con peso mínimo de 20 gramos según las especificaciones normativas, manteniendo superficies libres de rebabas y contaminantes que pudiera afectar los resultados experimentales.



**Figura 4.**

*Proceso del ensayo de humedad a (inmersión), b (pesaje inicial), c (secado), d (deseccando) y e (pesaje final).*



### 3.2. Ensayo de compresión

Los ensayos de compresión se realizaron bajo la norma ASTM D6108-24, obteniendo curvas de esfuerzo deformación completas para ambos materiales durante 5 minutos. Se generaron dos representaciones gráficas: la Figura 3 enfocada en determinar el módulo secante y el módulo de elasticidad entre el 0 % y el 3 % de deformación, y la Figura 4 representa el comportamiento completo del material hasta la finalización del ensayo. Los resultados se presentan en la Tabla 4.

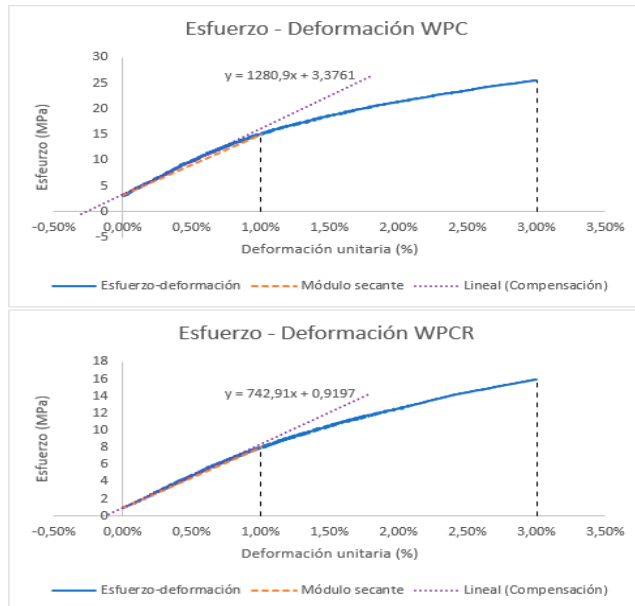
**Tabla 4.**

*Propiedades mecánicas obtenidas del ensayo de compresión*

Material	Resistencia a la compresión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Módulo secante (MPa)
WPC	38.342	1280.900	1187.641
WPCR	22.024	742.910	704.569

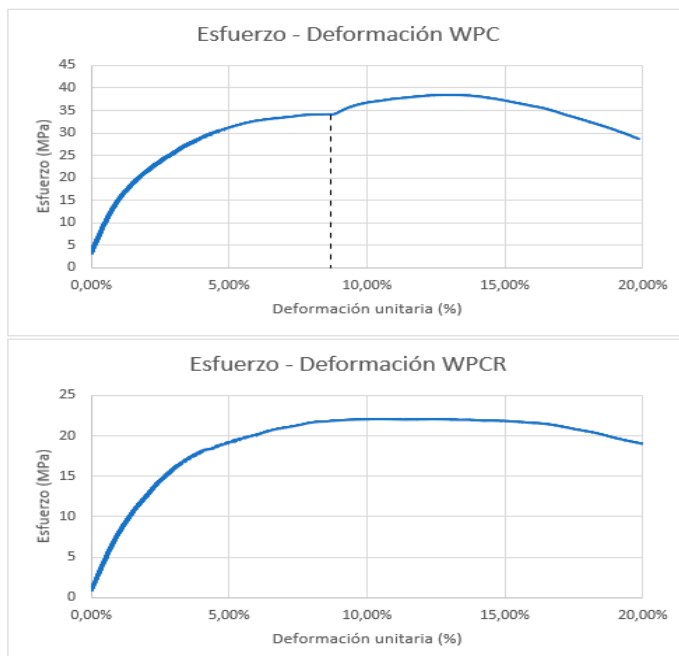
**Figura 3.**

*Curvas esfuerzo-deformación hasta el 3 % de deformación para el cálculo de módulos elástico y secante*



**Figura 4.**

Curvas esfuerzo-deformación completas durante 5 minutos de ensayo



La resistencia máxima de compresión registrada fue 38.342 MPa para el material WPC y

22.024 MPa para el WPCR, representando una diferencia del 42.56 % entre ambos materiales. En las curvas esfuerzo deformación completas mostraron que el WPC alcanzó su resistencia máxima y posteriormente experimentó falla súbita, mientras que el WPCR mantuvo capacidad de carga residual después del punto de resistencia máxima. El cálculo de módulos de elasticidad y secante se realizaron aplicando los conceptos de TOE compensation de la norma ASTM D6108-24 para compensar holguras iniciales en el montaje de la probeta al inicio del ensayo.

### 3.3. Ensayo de humedad

En la Tabla 5 se muestran los valores de masa inicial y masa final registrados en el ensayo de contenido de humedad por cada muestra WPC y WPCR, así mismo el porcentaje de humedad presente (H). Todas las muestras presentaron valores bajos de humedad entre el 0.05 % y el 0.08 %, con una media de 0.07 % para el material WPC y un 0.06 % para el WPCR.

**Tabla 5.**

*Datos obtenidos del ensayo de contenido de humedad*

Valor	WPC			WPCR		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3
<b>M inicial</b>	59.79	52.47	55.36	91.75	80.18	85.46
<b>M final</b>	59.76	52.43	55.32	91.69	80.14	85.40
<b>H (%)</b>	0.05%	0.08%	0.07%	0.07%	0.05%	0.07%

### 3.4. Ensayo de absorción de agua

Los resultados de absorción de agua por inmersión de 24 horas, acondicionamiento y reacondicionamiento de materia soluble se muestran en la Tabla 6. Para el material WPC, el porcentaje total de absorción varía entre 0.34 % y 0.77 % por muestra, con un aumento promedio inferior a 0.55 %. En el material WPCR, los incrementos por inmersión se dieron entre el 0.63 % y el 0.69 % con un promedio de 0.66 %, nótese que no se registró materia soluble perdida en dicho material.

**Tabla 6.**

*Datos obtenidos del ensayo de absorción de agua*

Valor	WPC			WPCR		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3
<b>M húmeda</b>	60.24	52.61	55.60	92.36	80.73	85.96
<b>M acondicionada</b>	59.82	52.44	55.32	91.73	80.19	85.42
<b>M reacondicionada</b>	59.78	52.43	55.31	91.73	80.19	85.42

<b>Incremento (%)</b>	0.70%	0.32%	0.51%	0.69%	0.67%	0.63%
<b>Materia soluble (%)</b>	0.07%	0.02%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%
<b>Total (%)</b>	0.77%	0.34%	0.52%	0.69%	0.67%	0.63%

### 3.5. Evaluación de calidad

La evaluación de la calidad para los ensayos de humedad y absorción se realizó mediante el análisis de consistencia utilizando los coeficientes de variación (CV) como indicador de homogeneidad, aplicando los criterios de clasificación establecidos en la Tabla 2. Los resultados estadísticos se muestran en la Tabla 7.

**Tabla 7.**

*Factores de confiabilidad para ensayos físicos*

VALOR	HUMEDAD		ABSORCIÓN	
	WPC	WPCR	WPC	WPCR
<b>s</b>	0.00014055	0.00010632	0.00213657	0.00028471
<b><math>\bar{x}</math></b>	0.00066267	0.00061869	0.00545482	0.00664123
<b>CV (%)</b>	21.21 %	17.18 %	39.17 %	4.29 %

En el ensayo de humedad, ambos materiales se clasificaron como “Consistente” según los criterios establecidos, con coeficientes de variación de 21.21 % para WPC y 17.18 % para WPCR. El material WPCR mostró menor variabilidad interna en este parámetro.

Para el ensayo de absorción, se observaron comportamientos contrastantes; el material WPC presentó un CV de 39.17 %, clasificándose como “Poco consistente”, mientras que el WPCR registró un CV de 4.29 %, alcanzando la clasificación “Excelente” en términos de homogeneidad.

Los resultados indican que el material WPCR presenta mayor consistencia en ambas propiedades físicas evaluadas, especialmente en la capacidad de absorción, donde demostró comportamiento homogéneo entre las probetas ensayadas. El material WPC mostró mayor variabilidad, particularmente en la absorción de agua, lo que podría indicar heterogeneidad en su composición o proceso de fabricación.

## 4. DISCUSIÓN

### 4.1. Evaluación de propiedades mecánicas de compresión como indicadores de calidad

Los resultados obtenidos revelan diferencias significativas entre ambos materiales, con implicaciones directas en la evaluación de calidad. El material WPC registró una resistencia a la

compresión de 38.342 MPa, superior en un 42.56 % al material WPCR que alcanzó 22.024 MPa. Esta diferencia, aunque notable en términos absolutos, debe analizarse desde la perspectiva de control de calidad considerando que la consistencia y predictibilidad de las propiedades son tan importantes como los valores máximos alcanzados. Los módulos de elasticidad obtenidos (WPC 1280.900 MPa y WPCR 742.910 MPa) y los módulos secantes (WPC 1187.641 MPa y WPCR 704.569 MPa) muestran una tendencia similar a la resistencia, con el material virgen presentando mayor rendimiento.

El análisis de los modos de falla observados en la Figura 5 proporciona información valiosa sobre la calidad y el comportamiento estructural de ambos materiales. El material WPC presentó falla por lateral buckling, caracterizada por pandeo lateral sin deformación significativa del área transversal, lo que indica un comportamiento frágil con falla súbita una vez alcanzada la carga crítica. Este tipo de falla, aunque alcanza valores de resistencia superiores, representa menor predictibilidad desde la perspectiva de control de calidad.

**Figura 5.**

*Tipo de falla después del ensayo de compresión: WPC (izquierda) y WPCR (derecha).*



Por el contrario, el material WPCR experimentó falla por barreling, evidenciada por el ensanchamiento lateral y posterior agrietamiento central de la probeta. Este modo de falla indica un comportamiento más dúctil que permite deformaciones progresivas antes del colapso total, manteniendo capacidad de carga residual como se observó en las curvas esfuerzo deformación. Desde la perspectiva de control de calidad, el barreling representa un comportamiento más predecible y seguro para aplicaciones estructurales, ya que proporciona indicios visuales de falla inminente antes del colapso súbito.

#### **4.2. Análisis de consistencia en las propiedades físicas**

Los ensayos de humedad y absorción de agua proporcionan los indicadores más confiables de control de calidad debido al tamaño de muestra utilizado ( $n=3$ ), permitiendo un análisis estadístico completo mediante coeficientes de variación.

En el ensayo de contenido de humedad, ambos materiales demostraron comportamiento “Consistente” según los criterios de clasificación establecidos, con coeficientes de variación de 21.21 % para WPC y 17.18 % para WPCR. Los valores absolutos de humedad fueron significativamente bajos entre 0.06 % y 0.07 %, indicando estabilidad dimensional adecuada para ambos materiales. El material WPCR mostró ligeramente menor variabilidad, sugiriendo un mejor control de los procesos de fabricación.

El ensayo de absorción de agua demostró la diferencia más significativa en términos de control de calidad. El material WPCR alcanzó la clasificación “Excelente” con un coeficiente de variación de apenas 4.29 %, demostrando homogeneidad excepcional entre las probetas ensayadas. En contraste, el material WPC presentó un comportamiento “Poco consistente” con CV de 39.17 %, indicando alta variabilidad que compromete la predictibilidad del material en aplicaciones donde la absorción de agua es crítica.

La ausencia total de materia soluble en las probetas de WPCR (0.00 %) frente a las pequeñas pero variables pérdidas en WPC (0.02 – 0.07 %) constituye un indicador adicional de calidad superior del material reciclado. Esta característica sugiere mayor estabilidad química y cohesión interna de la matriz polimérica en el material WPCR, lo que se traduce en mayor durabilidad y resistencia a la degradación por exposición al agua.

Los resultados contradicen la percepción de que los materiales vírgenes presentan mayor homogeneidad que los reciclados, evidenciando que el material WPCR ofrece mayor consistencia en propiedades físicas críticas para el control de calidad.

#### **4.3. Sistema de evaluación de calidad basado en coeficientes de variación**

La implementación de coeficientes de variación como herramienta de control de calidad ha demostrado ser efectiva para evaluar la homogeneidad de los materiales compuestos estudiados. Los criterios de clasificación establecidos en la Tabla 2 proporcionan una base cuantitativa para la toma de decisiones en control de la calidad industrial, permitiendo categorizar objetivamente el desempeño de cada material.

Los resultados obtenidos indican un contraste significativo en cuanto a la calidad de los materiales de origen plástico, el material de origen reciclado (WPCR) supera considerablemente al material virgen (WPC) en términos de homogeneidad y confiabilidad. Esta superioridad se evidencia en el ensayo de absorción, donde WPCR alcanza clasificación de “Excelente” mientras que el material WPC se clasifica como “Poco consistente”. Este hallazgo desafía las percepciones tradicionales sobre la calidad de materiales reciclados y sugiere que los procesos de reciclado pueden contribuir inesperadamente a una mayor homogenización del producto final.

Este análisis crítico puede atribuirse a varios factores propios de los procesos de fabricación. En los materiales reciclados, el procesamiento térmico múltiple y la mezcla intensiva durante el reciclado pueden resultar en una distribución más uniforme de los componentes polímeros y las

fibras de refuerzo. Adicionalmente, la estandarización de la composición en procesos de reciclado industrial, donde se conoce exactamente el contenido de polímeros (70 %) y fibras vegetales (30 %), puede contribuir a un mejor control de las propiedades finales comparado con materiales vírgenes cuya composición puede presentar mayor variabilidad en el suministro de materias primas.

La aplicación del sistema de calidad basado en coeficientes de variación (CV) presenta ventajas considerables para establecer límites de aceptación cuantitativos, facilitando la comparación objetiva entre diferentes lotes de producción. Crea una base de retroalimentación para determinar la efectividad y competencia de los procesos de fabricación.

#### **4.4. Implicaciones para el control de calidad industrial**

Los resultados obtenidos en esta investigación proponen marcos sólidos para determinar un sistema de control de la calidad específico para materiales compuestos derivados de la madera. En base a los resultados obtenidos, se propone una metodología que priorice la consistencia de las propiedades sobre los valores absolutos, priorizando así la predictibilidad del comportamiento del material a largo plazo.

El ensayo de absorción de agua se establece como el parámetro crítico de control de calidad más efectivo, presentando la mejor capacidad de detectar variaciones en la homogeneidad del material. Basado en los criterios utilizados se recomienda establecer un límite máximo de variabilidad del 15 % para esta propiedad, los materiales que superen estos valores como se observó con el WPC (39.17 %), deberán ser rechazados o pasar por un reproceso de producción antes de su aceptación final.

Para un control rutinario de producción, se implementará un sistema de muestreo aleatorio con un número mínimo de 3 especímenes por lote, esto permitirá el cálculo preciso de los coeficientes de variación en los diferentes ensayos. Tomando en cuenta que el ensayo de contenido de humedad también se debe tomar como parámetro adicional con un límite del 25 % para asegurar la capacidad de resistencia a condiciones ambientales.

### **5. CONCLUSIONES**

Se establece un sistema de control de calidad basado en coeficientes de variación que priorice la consistencia sobre valores absolutos, implementando muestreo mínimo de  $n=3$  probetas por lote y utilizando absorción de agua como parámetro crítico de evaluación. Este enfoque contribuirá a la producción de materiales compuestos más confiables y seguros para aplicaciones en la industria de la construcción.

El material de origen reciclado (WPCR) demostró superioridad en términos de variabilidad, alcanzando clasificación "Excelente" en absorción de agua (CV 4.29 %) comparado con la clasificación "Poco consistente" del material virgen WPC (CV 39.17 %). Esta consistencia superior



del material reciclado se atribuye a los procesos de homogenización inherentes al reciclado industrial y al mejor control de composición durante su fabricación.

Los modos de falla observados proporcionaron información valiosa sobre comportamiento estructural: el material WPC presentó falla por lateral buckling con comportamiento frágil, mientras que WPCR experimentó falla por barreling con comportamiento dúctil y capacidad de carga residual. A pesar de que WPC alcanzó mayor resistencia a compresión (38.342 MPa vs 22.024 MPa), la superior predictibilidad del comportamiento de WPCR lo posiciona como opción más confiable para control de calidad industrial. Desde la perspectiva de seguridad estructural, el comportamiento dúctil del material reciclado representa ventajas significativas al proporcionar indicios de falla progresiva.

La presente investigación logró cumplir satisfactoriamente el objetivo planteado de garantizar y controlar la calidad de la madera plástica mediante la implementación de un sistema integral de evaluación basado en normativas ASTM D6108-24, BS EN 322-94 y ASTM D570-22. Los ensayos mecánicos de compresión y físicos de humedad y absorción, realizados bajo estrictos protocolos normalizados, permitieron establecer parámetros cuantitativos de calidad.

## 6. REFERENCIAS

- ASTM International. (2022). *Standard test method for water absorption of plastics* (ASTM D570-22). ASTM International.
- ASTM International. (2024). *Standard Test Method for Compressive Properties of Plastic Lumber and Shapes* (ASTM D6108-24). ASTM International.
- Azizan, A., Johar, M., Karam Singh, S., Abdullah, S., Koloor, S., Petrú, M., Wong, K., & Tamin, M. (2021). An Extended Thickness-Dependent Moisture Absorption Model for Unidirectional Carbon/Epoxy Composites. *Polymers*, 13(3), 440. <https://doi.org/10.3390/polym13030440>
- British Standards Institution. (1994). *Wood-based panels. Determination of moisture content* (BS EN 322:1994). BSI.
- Brito, M., Santos, W., Correia, B., Queiroz, R., Tavares, F., Oliveira, G., & Lima, A. (2019). Moisture Absorption in Polymer Composites Reinforced with Vegetable Fiber: A Three-Dimensional Investigation via Langmuir Model. *Polymers*, 11(11), 1847. <https://doi.org/10.3390/polym11111847>
- Burgstaller, C., & Renner, K. (2023). Recycling of Wood–Plastic Composites—A Reprocessing Study. *Macromol*, 3(4), 754-765. <https://doi.org/10.3390/macromol3040043>
- International Organization for Standardization. (2018). *Plastics — Preparation of test specimens by machining* (ISO 2818:2018). ISO.
- Jalilibal, Z., Amiri, A., Castagliola, P., & Chong, M. (2021). Monitoring the Coefficient of Variation: A Literature Review. *Computers & Industrial Engineering*, 161. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107600>
- Jian, B., Mohrmann, S., Li, H., Li, Y., Ashraf, M., Zhou, J., & Zheng, X. (2022). A Review on Flexural

- Properties of Wood-Plastic Composites. *Polymers*, 14(19), 3942.  
<https://doi.org/10.3390/polym14193942>
- Jijón, P. (2023). Sobre la gestión de residuos sólidos en quito. Una mirada desde y hacia las organizaciones de base. *Revista Cálamo*, 11, 111–113.  
<https://doi.org/10.61243/calamo.11.196>
- Khoele, K., Gbadeyan, O., Chuniwall, V., & Sithole, B. (2023). A review on waste wood reinforced polymer composites and their processing for construction materials. *International Journal of Sustainable Engineering*, 16(1), 104–116.  
<https://doi.org/10.1080/19397038.2023.2214162>
- López, Y., Concepción, R., González, M., Martínez, E., & Álvarez, D. (2014). Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de los tableros de madera plástica producidos en cuba respecto a los tableros convencionales. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 20(3), 227–236.  
<https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2014.02.003>
- Mitařová, Z., Mitař, D., & Berladir, K. (2024). A Concise Review of the Components and Properties of Wood-Plastic Composites. *Polymers*, 16(11), 1556.  
<https://doi.org/10.3390/polym16111556>
- Oliveros, C., Cumbalaza, E., Mina, J., Valencia, M., Suarez, J., & Martinez, N. (2024). Wood Plastic Composite Based on Recycled High-Density Polyethylene and Wood Waste (Sawdust). *Polymers*, 16(22), 3136.  
<https://doi.org/10.3390/polym16223136>
- Ramesh, M., Rajeshkumar, L., Sasikala, G., Balaji, D., Saravanakumar, A., Bhuvaneswari, V., & Bhoopathi, R. (2022). A Critical Review on Wood-Based Polymer Composites: Processing, Properties, and Prospects. *Polymers*, 14(3), 589.  
<https://doi.org/10.3390/polym14030589>
- Taheri, F., Chowdhury, S., & Ghiaskar, A. (2025). Comparison of the Performance of Basalt Fiber-Reinforced Composites Incorporating a Recyclable and a Conventional Epoxy Resin. *Polymers*, 17(10), 1348.  
<https://doi.org/10.3390/polym17101348>
- Sommerhuber, P., Wenker, J., Rüter, S., & Krause, A. (2020). Life cycle assessment of wood-plastic composites: Analysing alternative materials and identifying environmental impact drivers. *Journal of Cleaner Production*, 144, 348-357.  
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.10.012>

# 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](http://www.istct.edu.ec) • [www.investigacionistct.ec](http://www.investigacionistct.ec) • [investigacion@istct.edu.ec](mailto:investigacion@istct.edu.ec)