

REVISTA

EXPRESIÓN

TECNOLOGICA

EDICIÓN EXTRAORDINARIA

JULIO - DICIEMBRE 2025

Vol. 3 N° 2

Cabimas, Edo. Zulia

The logo consists of the letters 'E' and 'T' in a stylized, serif font, enclosed within a square frame.

Expresión Tecnológica

SSN: 2244-8705

ISSN-E: 2244-8713

REVENCYT: RVR077

DEPÓSITO LEGAL: PP201202ZU4039





**Universidad Politécnica Territorial del Zulia
Vicerrectorado Académico
Dirección de Investigación y Creación Intelectual**



Expresión Tecnológica

ISSN: 2244-8705
ISSN-E: 2244-8713
REVENCYT: RVR 077
Depósito Legal: PP201202ZU4039

Julio - Diciembre 2025
VOL.3 N° 2
Pag. 157
Cabimas - Venezuela

REVISTA EXPRESIÓN TECNOLÓGICA
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y CREACIÓN INTELECTUAL DE LA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA TERRITORIAL DEL ZULIA

POLÍTICA EDITORIAL REVISTA EXPRESIÓN TECNOLÓGICA

Expresión Tecnológica es una revista semestral, comprometida con la ciencia, tecnología e innovación y la educación liberadora, y primordialmente con la difusión y socialización del conocimiento, fortaleciendo la investigación forjada a través de las líneas de investigación de los Programas Nacionales de Formación (PNF) que se imparten en la institución, al tiempo que, abre su espectro a las humanidades, en especial a las Ciencias Sociales, de manera de abordar, tensionar y contribuir en el campo de las políticas públicas, su formulación, gestión y evaluación.

Es así, como la revista recibe trabajos estrictamente inéditos, avances de investigación y/o proyectos culminados, ensayos, artículos, reseñas, sistematización de experiencias, entrevistas y ponencias relacionados con las disciplinas y áreas a nivel de Técnicos Superiores e ingeniería: Electrónica, Mecánica, Procesos Químicos, Electricidad, Higiene y Seguridad Laboral, Mantenimiento, Ambiente, Energía, entre otras, y en las Ciencias Sociales: gestión pública, políticas públicas, sistemas económicos, organización industrial, producción, productividad, organización de la economía social, administración del tercer sector, sistemas de información y educación.

Esta revista científica, cuenta con un equipo de trabajo especializado en las diversas áreas del conocimiento, que genera investigación al servicio del país y de América Latina, en la búsqueda de resultados con pertinencia social. Es arbitrada por especialistas de reconocida trayectoria, bajo el sistema doble ciego, cuyos nombres se mantienen en estricta confidencialidad. Recibe trabajos todo el año, los cuales se corresponden con lo expuesto en el Plan de la Patria, el Plan de Ciencia y Tecnología, el documento de Caracas y los objetivos de desarrollo sostenible de la agenda 2030 de la UNESCO.

El Comité Editorial, determinará la temática a desarrollar en cada número.

Revista Expresión Tecnológica

© 2025, Universidad Politécnica Territorial del Zulia

Depósito Legal: PP201202ZU4039.

ISSN: 2244-8705. Cabimas - Venezuela.

ISSN-E: 2244-8713. Cabimas - Venezuela.

Portada: Lcda. Naibely Lugo

Diagramación: Lcda. Naibely Lugo

Versión digital

REVENCYT: RVR 077

www.uptzulia.edu.ve

E-mail: rvexpresiontecnologica@uptzulia.edu.ve

<https://uptzulia.edu.ve/expresion-tecnologica/>

REVISTA EXPRESIÓN TECNOLÓGICA
Universidad Politécnica Territorial del Zulia

Dr. Pedro Alberto Isea González

Rector

Dr. Carlos Nava Raga

Vicerrector Académico

MSc. Carlos Javier Martínez

Vicerrector de Integración Territorial y Socio-Productivo

Dra. Inés Sabrina Trigilio Rojas

Secretaría General

Dr. Leonardo Galbán Sthormes

Director de Investigación y Creación Intelectual

COMITÉ EDITORIAL

Dr. Pedro Alberto Isea González	Institución: Universidad Politécnica Territorial del Zulia. (Venezuela)
Dr. Leonardo Galbán Sthormes	Institución: Universidad Nacional Experimental Rafael María Baralt. (Venezuela)
Dr. Pablo Gómez Navarro	Institución: Universidad Nacional Experimental Rafael María Baralt. (Venezuela)
Dra. Daniela Mago	Institución: Universidad Politécnica Territorial del Zulia. (Venezuela)
Dra. Eddymar Flores	Institución: Universidad Politécnica Territorial del Zulia. (Venezuela)
Dra. Yanirí Ávila	Institución: Universidad Politécnica Territorial del Zulia. (Venezuela)
MSc. Mayrel Vargas	Institución: Universidad Politécnica Territorial del Zulia. (Venezuela)
MSc. María Eugenia Medina	Institución: Universidad Politécnica Territorial del Zulia. (Venezuela)

COMITÉ ASESOR

Dr. José Llovera	Institución: Universidad Politécnica Territorial del Estado Portuguesa JJ. (Venezuela)
Dra. Mayelis Vicuña Medina	Institución: Universidad Politécnica Territorial del Zulia. (Venezuela)
Dr. Lewis Pereira	Institución: Universidad de Manizalez (Colombia)
Dr. José Arévalo-Fester	Institución: IVIC Universidad Chalmers University of Technology Gothenburg. (Suecia)
Dr. Kerwin Chavéz	Institución: Universidad San Ignacio de Loyola. (Perú)
Dra. África Calánchez	Institución: Universidad San Ignacio de Loyola. (Perú)
Dr. Néstor Loredó	Institución: Universidad de Camagüey. (Cuba)

UNIDAD DE DIVULGACIÓN Y SOCIALIZACIÓN

MSc. María Eugenia Medina

DISEÑO Y MAQUETACIÓN

Lcda. Naibely Lugo

CORRECTOR DE ESTILO

MSc. Fidencio Suárez (Colombia)

ÍNDICE

EDITORIAL	7
<hr/>	
ARTÍCULOS	11
TOXICOLOGÍA LABORAL: IDENTIFICACIÓN, EVALUACIÓN Y CONTROL DE SUSTANCIAS QUÍMICAS EN ENTORNOS LABORALES. Occupational toxicology: Occupational toxicology: identification, evaluation and control of chemical substances in occupational environments. <i>María del Pilar Nava 1, Antonio Medina 2.</i>	12
FACTORES CONTAMINANTES EN EL AIRE COMPRIMIDO PARA EL RECUBRIMIENTO DE TABLETAS EN EL SECTOR FARMACÉUTICO. Contaminating factors in compressed air for tablet coating in the pharmaceutical sector. <i>Dr. Calixto José Hernández Gil 1.</i>	26
VALIDACIÓN DE UN MÉTODO VOLUMÉTRICO PARA DETERMINAR HIERRO (Fe) EN ADITIVOS DE PELETIZACIÓN. Validation of a volumetric method for determining iron (Fe) in pelletizing additives. <i>Sivira Eilin 1, Páez Pedro 2, Castro José 3.</i>	41
PERFIL FÍSICO-QUÍMICO DE BEBIDAS CARBONATADAS: UNA CARACTERIZACIÓN EN EL MERCADO ACTUAL. Physical-chemical profile of carbonated beverages: A characterization of the current market. <i>Navas Eduar 1, Castro José 2.</i>	55
OPTIMIZACIÓN DE CO₂-EOR CON MODELO BAYESIANO Y APRENDIZAJE POR REFUERZO EN TIEMPO REAL, CUENCA ORIENTAL, VENEZUELA. CO ₂ -eor optimization with a bayesian model and real-time reinforcement learning, eastern basin, Venezuela. <i>Cabrera Kelvin 1.</i>	66
DISEÑO BIOMECÁNICO DE ÓRTESIS PARA TOBILLO PERSONALIZADA EN ASISTENCIA DE LA MARCHA EN ADULTOS JÓVENES. Biomechanical design of customized ankle orthosis for gait assistance in young adults. <i>Augusto Carrizo 1.</i>	82
TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN: UN MODELO ESTRATÉGICO-PARTICIPATIVO PARA OPTIMIZAR LA GERENCIA EDUCATIVA UNIVERSITARIA. Information and communication technologies: a strategic-participatory model for optimizing university educational management. <i>Pérez Markelly 1, González Ronald 2.</i>	95

ÍNDICE

- PLANTA PARA LA PRODUCCIÓN DE BALDOSAS CERÁMICAS A PARTIR DE RESIDUOS DE VIDRIOS.** Plant for the production of ceramic tiles from glass waste. *Briceño Luiseliz 1, De la Rosa Yoger 2, Carbono Mayra 3, Fray Richard 4, Pirela Jose 5.* **111**
- INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE GRANO EN LA DUREZA Y LA PROFUNDIDAD DE LA CAPA ENDURECIDA EN ACEROS MICROALEADOS AISI/SAE 8620 Y 4140.** Influence of grain size on hardness and hardened layer depth in aisi/sae 8620 and 4140 microalloyed steels. *MSc. Ronald González 1, MSc. Luis Betancourt 2.* **126**
- DETERMINACIÓN DEL MECANISMO DE DEGRADACIÓN DE UN KIT DE EMBRAGUE UTILIZADO EN VEHÍCULOS LIVIANOS.** Determination of the degradation mechanism of a clutch kit used in light vehicles. *MSc. González Ronald 1, MSc. Betancourt Luis 2, TSU. Briceño Diego 3, TSU. Génesis Medina 4.* **137**

Estimados lectores,

La ingeniería contemporánea no puede entenderse únicamente como el dominio de la técnica o la aplicación de las ciencias exactas; representa, fundamentalmente, el motor de la soberanía tecnológica y el bienestar social de las naciones. Por tal razón, para este número especial de la Revista Expresión Tecnológica, nos es grato presentar los frutos del I Congreso Internacional de Ingeniería de Procesos, un evento científico que marca un hito en la historia académica de Venezuela al ser el resultado de la sinergia entre seis Universidades Politécnicas Territoriales del país.

Bajo la anfitrionía de la Universidad Politécnica Territorial del Zulia, este congreso se constituyó como un nexo estratégico de diálogo transdisciplinario, donde la convergencia entre la academia, el sector productivo y la comunidad permitió articular respuestas innovadoras a los nudos críticos del desarrollo nacional. Constituyendo un encuentro no solo de disertaciones de saberes, sino una plataforma de validación para soluciones que responden directamente a problemas estructurales de nuestro territorio.

La gestión del conocimiento aquí compilada es testimonio de una ingeniería venezolana que ha alcanzado una etapa de madurez científica excepcional. Esta fase se caracteriza por una integración orgánica entre la vanguardia tecnológica, representada por el despliegue de la inteligencia artificial, el aprendizaje por refuerzo y el modelado computacional; y un compromiso ético innegociable con la sostenibilidad ambiental y la salud pública. Así, la técnica trasciende el laboratorio para transformarse en un instrumento de justicia social, orientado a la eficiencia industrial, la preservación de los ecosistemas y el bienestar integral de la ciudadanía en el marco de nuestra soberanía tecnológica.

La pluralidad de los trabajos presentados en esta entrega abarca un espectro temático que transita desde la optimización de procesos en los sectores estratégicos de la industria petrolera y metalúrgica, hasta hitos en la innovación de materiales sustentables y el diseño biomecánico de alta precisión. Dicha diversidad no es un hecho fortuito, sino la manifestación de la visión sistémica que define a nuestras Universidades Politécnicas Territoriales. En estas instituciones, la técnica se despoja de su carácter puramente abstracto para erigirse en una praxis orientada a la resolución de problemas tangibles, reduciendo de forma efectiva la brecha histórica entre la investigación académica y las exigencias dinámicas del sector productivo nacional y nuestra sociedad.

Por tal razón, este editorial constituye un reconocimiento formal al talento y la rigurosidad de nuestros investigadores, quienes asumen la ingeniería como una herramienta potente de emancipación y autonomía. Extendemos nuestro más profundo agradecimiento a las instituciones participantes y a los autores por su compromiso con la excelencia científica. Confiamos en que estas páginas actúen

Editorial

como un catalizador para la creación de nuevas redes de cooperación regional, orientadas a fortalecer el tejido científico-tecnológico de nuestra América bajo un horizonte de desarrollo endógeno, justicia social y solidaridad.

Atentamente,

El Comité Editorial de la Revista Expresión Tecnológica



Prolegómeno

Representa un privilegio académico presentar este compendio de diez investigaciones de alto nivel, las cuales han sido objeto de una rigurosa curaduría entre las contribuciones relevantes del I Congreso Internacional de Ingeniería de Procesos. Cuyo esfuerzo de cooperación institucional, encabezado por la Universidad Politécnica Territorial del Zulia en su rol de anfitriona y el compromiso de seis instituciones universitarias hermanas del territorio nacional con similares características, han evidenciado el irrefutable vigor y dinamismo científico que hoy define a nuestras Universidades Politécnicas Territoriales.

Con el propósito de ofrecer al lector una experiencia de consulta sistémica y profunda, los artículos han sido estructurados en cuatro ejes temáticos fundamentales como lo son: la Optimización Energética e Innovación en Procesos Industriales, Sustentabilidad y Tecnologías de los Materiales, Ingeniería Aplicada a la Salud y Bienestar Social y Gestión Estratégica y Educación Universitaria.

Optimización Energética e Innovación en Procesos Industriales. Este eje reúne investigaciones de vanguardia que utilizan herramientas digitales para maximizar la producción y el control de calidad.

- El estudio sobre la optimización de CO₂-EOR mediante modelos Bayesianos y aprendizaje por refuerzo propone una ruta crítica para la digitalización inteligente de la industria petrolera en la Cuenca Oriental de Venezuela.
- En el ámbito metalúrgico, se presentan dos trabajos fundamentales: uno que analiza la influencia del tamaño de grano en la dureza de aceros microaleados, esencial para la industria del transporte; y otro que determina los mecanismos de degradación en kits de embrague, aportando datos valiosos para la ingeniería de mantenimiento.
- Finalmente, se incluye la validación de un método volumétrico para determinar hierro en aditivos de peletización, ofreciendo una alternativa analítica robusta y rentable para el control de calidad industrial.

Sustentabilidad y Tecnologías de los Materiales. Para este eje, la ingeniería verde y la economía circular son protagonistas.

- Se destaca el diseño de una planta para producir baldosas cerámicas a partir de residuos de vidrio, un proyecto con base en Santa Rita, Zulia, que ejemplifica cómo la ingeniería de procesos puede transformar desechos en productos de alto valor comercial y bajo impacto ambiental.

Ingeniería Aplicada a la Salud y Bienestar Social. La tecnología se humaniza en este eje para proteger la salud del trabajador y del consumidor.

Prolegómeno

- El trabajo sobre diseño biomecánico de órtesis de tobillo personalizada mediante escaneo 3D y fabricación aditiva, representa un salto cualitativo en la asistencia médica ortopédica.
- En el área de seguridad farmacéutica y alimentaria, se analizan los factores contaminantes en aire comprimido bajo normas ISO y se establece el perfil físico-químico de bebidas carbonatadas, alertando sobre los niveles de azúcar y su impacto en la salud pública.
- Se suma a este eje una revisión sistemática sobre toxicología laboral, que propone fortalecer la vigilancia biológica y el control en la fuente en la industria venezolana.

Gestión Estratégica y Educación Universitaria. La gerencia y la formación del talento humano cierran esta compilación como pilares de la eficiencia institucional, con investigaciones sobre.

- El artículo que propone un modelo estratégico-participativo mediado por TIC para la gerencia educativa ofrece una hoja de ruta para modernizar los Programas Nacionales de Formación (PNF), asegurando que la enseñanza de la ingeniería evolucione a la par de las exigencias del entorno global.

El corpus académico aquí reunido constituye el testimonio fehaciente de la sinergia intelectual entre la Universidad Politécnica Territorial del Zulia y sus instituciones hermanas, reafirmando un compromiso ineludible con la soberanía tecnológica nacional.

Estos hallazgos no solo enriquecen el acervo científico, sino que impulsan un debate profundo orientado a redefinir los paradigmas de la disciplina en los años venideros. Al poner estas soluciones de vanguardia a disposición de la comunidad internacional, esta publicación se erige como un baluarte del pensamiento técnico crítico, proyectando el futuro de una práctica comprometida con la eficiencia, la sostenibilidad y la autonomía tecnológica.

Dr. Leonardo Galbán Sthormes

ARTÍCULOS

TOXICOLOGÍA LABORAL: IDENTIFICACIÓN, EVALUACIÓN Y CONTROL DE SUSTANCIAS QUÍMICAS EN ENTORNOS LABORALES

MSc. María del Pilar Nava 1, Ing. Antonio Medina 2.

Resumen

Este estudio tuvo como objetivo analizar los mecanismos de toxicidad asociados a la exposición química laboral, así como proponer medidas de control basadas en la higiene industrial y en la legislación venezolana vigente para la prevención de enfermedades ocupacionales. La investigación se desarrolló bajo un enfoque cualitativo interpretativo mediante una revisión bibliográfica sistemática, guiada por los lineamientos del método Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA). Se definieron criterios de inclusión que consideraron documentos oficiales y publicaciones científicas recientes (2018-2024), relacionadas con toxicología laboral, gestión preventiva y normativas de exposición. Inicialmente se revisaron 20 documentos, de los cuales solo 5 cumplieron los criterios de calidad, pertinencia y actualidad para su análisis detallado. Los resultados evidencian inconsistencias en la implementación de programas de prevención en la industria venezolana, destacando una dependencia reactiva en el uso de equipos de protección personal, en lugar de aplicar medidas prioritarias como el control en la fuente. Asimismo, se identificaron deficiencias en la vigilancia biológica, monitoreo ambiental y en la adecuada articulación entre normativa técnica y gestión operativa. Se concluye que es imprescindible fortalecer los sistemas de gestión del riesgo químico mediante la integración de controles de ingeniería, tecnologías de monitoreo, programas de formación continua y cumplimiento normativo, con el propósito de reducir la incidencia de enfermedades ocupacionales y proteger la salud de los trabajadores expuestos a agentes tóxicos.

Palabras clave: *Toxicología laboral, Sustancias químicas, Higiene industrial, Exposición ocupacional, Prevención de riesgos.*

Recibido: 15/09/2025

Aceptado: 30/09/2025

1 MSc. *María del Pilar Nava*
navamdelp@gmail.com
ORCID: 0009-0002-5101-3429

2 Ing. *Antonio Medina*
antoniomedinauptz@gmail.com
ORCID: 0009-0008-4390-1577

OCCUPATIONAL TOXICOLOGY: IDENTIFICATION, EVALUATION AND CONTROL OF CHEMICAL SUBSTANCES IN OCCUPATIONAL ENVIRONMENTS

Abstract

This study aimed to analyze the toxicity mechanisms associated with occupational chemical exposure and to propose control measures based on industrial hygiene and current Venezuelan legislation for the prevention of occupational diseases. The research was conducted using a qualitative-interpretive approach through a systematic literature review, guided by the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) methodology. Inclusion criteria were defined based on recent official documents and scientific publications (2018–2024) related to occupational toxicology, preventive management, and exposure regulations. Twenty documents were initially reviewed, of which only five met the quality, relevance, and timeliness criteria for detailed analysis. The results reveal inconsistencies in the implementation of prevention programs in the Venezuelan industry, highlighting a reactive reliance on the use of personal protective equipment instead of implementing priority measures such as source control. Deficiencies were also identified in biological surveillance, environmental monitoring, and the proper coordination between technical regulations and operational management. It is concluded that it is essential to strengthen chemical risk management systems by integrating engineering controls, monitoring technologies, ongoing training programs, and regulatory compliance, in order to reduce the incidence of occupational diseases and protect the health of workers exposed to toxic agents.

Keywords: *Occupational toxicology, Chemical substances, Industrial hygiene, Occupational exposure, Risk prevention.*

1. Introducción:

La creciente industrialización ha provocado que millones de trabajadores queden expuestos a sustancias químicas con efectos potencialmente tóxicos, generando un impacto significativo en la salud ocupacional. Según la Organización Internacional del Trabajo (OIT), en 2019 se registraron aproximadamente 2,9 millones de muertes vinculadas a enfermedades y factores de riesgo laborales, de las cuales una parte sustancial se relaciona con exposiciones químicas peligrosas.

En el contexto venezolano, la debilidad en la implementación de sistemas de gestión de riesgos químicos y la falta de vigilancia biológica aumentan la vulnerabilidad del trabajador industrial. Ante esta problemática, este estudio tiene como objetivo analizar los mecanismos de toxicidad asociados a la exposición química laboral, así como proponer medidas de control basadas en la higiene industrial y en la legislación venezolana vigente para la prevención de enfermedades ocupacionales. Asimismo se evalúa la congruencia entre la normativa internacional y nacional; así como también, proponer un marco técnico-preventivo para la industria venezolana.

Para ello, se aplicó el método PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), estableciendo criterios de inclusión que consideraron documentos oficiales, publicaciones científicas recientes del periodo 2018-2024 y normativa aplicable al contexto de higiene industrial. Un total de 20 documentos fueron inicialmente revisados; finalmente, 5 cumplieron los criterios de calidad y pertinencia para el análisis en profundidad.

Este artículo aporta al conocimiento de la seguridad y salud laboral al integrar evidencia toxicológica, datos epidemiológicos y estándares normativos, permitiendo orientar la toma de decisiones en entornos industriales venezolanos hacia un enfoque preventivo centrado en la reducción del riesgo químico y la protección de la vida del trabajador.

La exposición ocupacional a agentes químicos constituye una de las principales amenazas para la salud de los trabajadores en los entornos industriales, debido a los efectos tóxicos que pueden desarrollarse tanto en el corto como en el largo plazo. En Venezuela, a pesar de contar con un marco legal que regula la higiene industrial y la protección del trabajador frente a sustancias peligrosas, persisten debilidades en la vigilancia biológica, la evaluación de la exposición y la aplicación de controles efectivos en la fuente. Esta situación incrementa la probabilidad de enfermedades ocupacionales, deterioro de la capacidad funcional y consecuencias socioeconómicas para la población trabajadora y el país.

Por ello, se requiere fortalecer la gestión preventiva con base en criterios técnicos actualizados y en evidencia científica que permita comprender los mecanismos de toxicidad, las rutas de exposición y las medidas de control más efectivas. La revisión

bibliográfica sistemática desarrollada en este estudio aporta un análisis comparativo entre la normativa internacional y nacional, permitiendo identificar las brechas que deben ser abordadas para mejorar la implementación de programas de prevención del riesgo químico.

El presente trabajo justifica su pertinencia al generar una herramienta de consulta para profesionales de Seguridad y Salud en el Trabajo, proporcionando lineamientos técnicos fundamentados que orienten la toma de decisiones en los procesos productivos. De esta manera, se contribuye a promover condiciones laborales seguras, proteger la integridad física de los trabajadores y fortalecer el cumplimiento de la legislación venezolana, lo cual impacta positivamente en la productividad y sostenibilidad de las organizaciones.

1. Fundamentación Teórica.

1.1. Toxicología Laboral.

Es la rama de la toxicología que estudia los efectos adversos de las sustancias químicas, agentes físicos y biológicos presentes en los ambientes laborales sobre la salud de los trabajadores. La toxicología laboral busca identificar, evaluar y prevenir riesgos relacionados con la exposición a agentes tóxicos en el trabajo, promoviendo ambientes seguros y saludables.

1.1.1. Identificación, Evaluación y Control.

Es el proceso sistemático para reconocer las sustancias químicas, agentes físicos o biológicos presentes en el entorno laboral, determinar su potencial de riesgo mediante la evaluación de la exposición y establecer medidas de control para minimizar o eliminar dichos riesgos. La Lopcymat (Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo) y el RPL-LOPCYMAT NT-04-2023 establecen que este proceso debe ser continuo, documentado y basado en criterios científicos y normativos, garantizando la protección de la salud del trabajador.

1.1.2. Sustancias Químicas.

Son compuestos o mezclas de compuestos químicos utilizados en los procesos productivos, mantenimiento o limpieza en el entorno laboral. La Norma Venezolana COVENIN 3700:2014 y la ISO 11014-1:2024 proporcionan lineamientos para la clasificación, identificación y manejo seguro de estas sustancias, incluyendo su etiquetado, fichas de datos de seguridad (FDS) y límites de exposición permitidos.

1.1.3. Entornos Laborales.

Se refieren a los espacios físicos donde los trabajadores desempeñan sus actividades, incluyendo fábricas, oficinas, talleres, laboratorios, entre otros. La LOPCYMAT y la Norma ISO 45001:2018 establecen que estos entornos deben ser diseñados, mantenidos y gestionados para reducir riesgos de accidentes y exposiciones a agentes

peligrosos, promoviendo condiciones laborales seguras, saludables y conformes a las regulaciones nacionales e internacionales.

1.2. Agentes químicos y mecanismos de toxicidad.

1.2.1. Clasificación de agentes tóxicos.

Categorización de los agentes tóxicos

Los agentes químicos que están presentes en el trabajo se pueden categorizar de la siguiente manera:

- Vapores y gases tóxicos: cloro, amoníaco, monóxido de carbono
- Metales pesados: mercurio, plomo, arsénico
- Partículas y fibras que se pueden inhalar: asbesto, sílice cristalina
- Pesticidas y compuestos aromáticos de hidrocarburos policíclicos.

Rutas de exposición

Las vías principales de ingreso al cuerpo son:

- Inhalación: al inhalar gases, humos, vapores, nieblas o polvos. Una vez en los pulmones, puede pasar a la sangre y afectar a diversos órganos, especialmente en espacios confinados sin una ventilación apropiada.
- Absorción dérmica: es habitual en trabajos que involucran el contacto directo con sustancias químicas provocando su paso a la sangre.
- Ingestión involuntaria: Sucede al ingerir alimentos o bebidas contaminadas, o al tocarse con manos sucias después de manipular sustancias químicas.

Consecuencias para la salud.

Los efectos pueden ser crónicos (como el daño neurológico, la hepatotoxicidad y el cáncer ocupacional) o agudos (dificultad para respirar, mareos y náuseas). La toxicidad está determinada por elementos como la dosis, la frecuencia, las sinergias químicas y la susceptibilidad de cada persona.

1.3. Prevención técnica de la exposición química.

1.3.1. Evaluación de la higiene y control del medio ambiente.

El uso de técnicas de análisis químico, detectores de gases y bombas de muestreo personal resulta fundamental para cuantificar las concentraciones ambientales de agentes químicos en el puesto de trabajo y compararlas con los valores de referencia establecidos en la higiene industrial. Entre estos valores se encuentran los TLV (Threshold Limit Value o Valor Límite Umbral), que representan la concentración a la que casi todos los trabajadores pueden estar expuestos sin sufrir efectos adversos; los BEI (Biological Exposure Indices o Índices Biológicos de Exposición), que corres-

ponden a parámetros biológicos que permiten evaluar la exposición interna a una sustancia mediante análisis en sangre, orina u otros medios biológicos; y los VLA (Valores Límite Ambientales), utilizados en algunos países como referencia legal para la exposición inhalatoria en ambientes laborales.

Estas herramientas permiten no solo detectar desviaciones tempranas respecto a niveles seguros, sino también evaluar la efectividad de los controles implementados y establecer acciones correctivas oportunas, reforzando así la prevención de enfermedades ocupacionales asociadas a la exposición química.

Controles de ingeniería

- Encapsulamiento de procedimientos que contaminan
- Sistemas de ventilación, tanto general como local
- Separación física de zonas contaminadas
- Automatización de procedimientos riesgosos

1.3.2. Equipos de protección personal (EPP).

Aunque constituyen la última barrera, son necesarios en áreas de alto riesgo. A modo de ejemplo: gafas de seguridad, guantes que resisten a los disolventes y respiradores equipados con filtro High Efficiency Particulate Air HEPA.

1.3.3. Programas de formación y cultura de prevención.

Es fundamental capacitar a los empleados en el manejo seguro de sustancias y la interpretación de Hojas de Datos de Seguridad (HDS/MSDS). Desde la gerencia superior hasta el trabajador, se debe fomentar una cultura de seguridad.

1.3.4. Legislación y normativas técnicas.

En Latinoamérica, muchos países adoptan referencias de la ACGIH o adaptan sus propias tablas de límites biológicos permisibles. Aunque los marcos regulatorios cambian de acuerdo a cada país, hay reglas internacionales que funcionan como referencia:

- NIOSH Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional (Estados Unidos) – sugerencias de exposición laboral
- OSHA Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (Estados Unidos) – estándares para la seguridad química
- REACH Registro, Evaluación, Autorización y Restricción de Sustancias Químicas (Unión Europea) – reglamentación acerca de compuestos químicos
- Normas UNE-EN 689 (Asociación Española de Normalización y ISO 45001) acerca de la exposición inhalatoria.

En Latinoamérica, varios países toman como referencia a la ACGIH o modifican sus propias tablas de límites biológicos permisibles.

2. Metodología

Este estudio se basa en un enfoque cualitativo, sustentado en el paradigma interpretativo, que permite entender los riesgos laborales desde una perspectiva contextual y social. La investigación cualitativa ha demostrado ser pertinente para el análisis de fenómenos complejos como la exposición a sustancias químicas, pues posibilita captar matices en las experiencias humanas y enriquecer el desarrollo de propuestas de intervención (Castilla Barraza et al., 2025; Muurlink & Thomsen, 2024).

El paradigma interpretativo constituye la base epistemológica de esta investigación, ya que busca interpretar la realidad laboral desde la visión de los actores involucrados, valorando su subjetividad y contexto (Pervin & Mokhtar, 2022; Mandowa et al., 2025). Este paradigma resulta fundamental en estudios de seguridad y salud ocupacional, donde la comprensión de los significados construidos por los trabajadores contribuye a formular estrategias preventivas coherentes con su entorno. Este paradigma resulta fundamental en estudios de seguridad y salud ocupacional, donde la comprensión de los significados construidos por los trabajadores contribuye a formular estrategias preventivas coherentes con su entorno.

Para el abordaje metodológico se utilizó el método hermenéutico, que permite analizar, interpretar y comprender los discursos y normativas asociadas a la toxicología laboral en Venezuela. Este método, descrito en fases de interpretación y comprensión por Finol y Acosta (2024), resulta especialmente útil para estudios donde se requiere una lectura crítica de textos legales y técnicos, así como la identificación de implicaciones prácticas para la seguridad laboral.

Asimismo, se aplicó la revisión documental sistemática, basada en lineamientos del método PRISMA. Establece criterios de inclusión, exclusión y evaluación de calidad de fuentes. Esta técnica ha sido ampliamente utilizada en investigaciones recientes sobre seguridad y salud ocupacional, dado que garantiza la recopilación rigurosa de información especializada, favoreciendo la síntesis de conocimientos y la construcción de propuestas fundamentadas en evidencia (Camacho et al. 2025).

El método PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) es una guía internacional que proporciona un conjunto de ítems mínimos para mejorar la transparencia y la calidad en la elaboración y reporte de revisiones sistemáticas y metanálisis. Su objetivo principal es asegurar que los autores expliquen por qué se hizo la revisión, cómo se seleccionaron y evaluaron los estudios, cuáles fueron los hallazgos y cómo se sintetizaron los datos. La versión más reciente, PRISMA 2020, incluye una lista de verificación de 27 ítems y un diagrama de flujo que visualiza las fases de identificación, selección, elegibilidad e inclusión de estudios.

La aplicación del método PRISMA en esta revisión documental permitió organizar y depurar la información de manera estructurada, garantizando que las fuentes seleccionadas fueran pertinentes, actualizadas y con respaldo científico. De esta ma-

nera, se aseguró la transparencia del proceso de búsqueda y selección de documentos, además de fortalecer la validez del estudio al evitar sesgos en la inclusión de referencias. Este enfoque metodológico también facilitó la síntesis de contenidos y la construcción del marco teórico técnico, lo que respalda la coherencia y fiabilidad de los resultados obtenidos.

En este trabajo, la revisión documental se centró en:

1. Normativas venezolanas, particularmente la LOPCYMAT y normas técnicas del INPSASEL (NT-04-2023 y NT-03-2016).
2. Publicaciones académicas recientes (2022–2025) relacionadas con toxicología laboral, riesgos ocupacionales y metodologías cualitativas en ciencias sociales.
3. Organismos internacionales como la OIT, NIOSH y OSHA, proporcionan marcos de referencia comparativos.

En el marco del diseño metodológico, se construyó una matriz comparativa de sustentación teórica y técnica (Tabla 1), donde se sistematizaron las principales fuentes consultadas, identificando su aporte específico al desarrollo del artículo y su correspondencia con cada apartado del estudio. Esta herramienta metodológica permitió organizar de manera rigurosa la información documental, establecer vínculos entre los referentes internacionales y la normativa venezolana vigente como la LOPCYMAT y las normas técnicas emitidas por el INPSASEL, y reforzar la validez de las estrategias de prevención de riesgos laborales planteadas.

Tabla 1. Matriz comparativa de fundamentación teórica y técnica empleada en la investigación

REFERENCIA	APORTE A LA FUNDAMENTACIÓN	HALLAZGOS CLAVE	ENLACE
OIT (2023). Informe Mundial sobre la Seguridad y Salud en el Trabajo.	Proporciona datos globales sobre la magnitud de las enfermedades y muertes laborales, incluyendo las asociadas a exposición química.	Más 2 millones de muertes laborales anuales; exposición química causa principal; necesidad de sistemas preventivos robustos.	OIT 2023
ACGIH (2024). Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents.	Define valores límite de exposición ocupacional (TLV) como referencia técnica en higiene industrial.	Define TLV-TWA, STEL y BEI para sustancias críticas; sustento directo para la higiene industrial.	ACGIH TLVs
OMS (2022). Health Effects of Occupational Exposure to Chemicals.	Fundamenta los efectos en la salud de la exposición a sustancias químicas.	Relaciona exposición con cáncer, afecciones neurológicas y respiratorias; énfasis en vigilancia epidemiológica.	OMS – Occupational health
ISO 45001:2018. Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo.	Norma internacional que orienta los sistemas de gestión de prevención.	Requisito de control operacional, participación activa del trabajador y mejora continua en SST.	ISO 45001

NIOSH (2023). Pocket Guide to Chemical Hazards.	Describe efectos, límites de exposición y medidas de protección frente a agentes químicos.	Clasificación de químicos, rutas de exposición, valores recomendados y fichas rápidas de protección.	NIOSH Pocket Guide
--	--	--	--------------------

Fuente: Nava (2025)

Tabla 2. Medidas de Control Técnico Preventivas vinculadas a Mecanismos de Toxicidad

AGENTE QUÍMICO / CATEGORÍA	MECANISMOS DE TOXICIDAD RELEVANTE	CONSECUENCIAS PARA LA SALUD	MEDIDAS DE CONTROL TÉCNICO-PREVENTIVAS SUGERIDAS	FUENTE / AUTOR
Vapores y gases tóxicos (cloro, amoníaco, CO)	Inhalación, paso a sangre, daño sistémico; irritación mucosa; hipoxia (en CO)	Irritación respiratoria, mareos, asfixia, daño orgánico	Sustitución del agente o proceso; Ventilación localizada y general; Encapsulamiento del proceso; Monitoreo de concentración ambiental	OSHA. (2023). Controlling Exposure to Chemical Hazards. Sección Engineering Controls.
Metales pesados (plomo, mercurio, arsénico)	Absorción dérmica o inhalación, acumulación, toxicidad crónica (neurológica, renal, hepática)	Daño neurológico, insuficiencia renal, cáncer ocupacional	Sustitución o minimización del metal; Sistemas cerrados / extracción; Separación de zonas contaminadas; Vigilancia biológica	ILO. (2023). Safety in the Use of Chemicals at Work – Code of Practice.
Partículas y fibras inhalables (asbesto, sílice cristalina)	Depósito en pulmones: inflamación crónica, fibrosis, carcinogénesis	Silicosis, mesotelioma, cáncer de pulmón	Sustitución; Métodos húmedos para supresión de polvo; Ventilación localizada; Confinamiento de áreas	OSHA. (2024). Silica Dust Control in Construction
Pesticidas y compuestos aromáticos (HAP)	Absorción dérmica, ingestión, mutagénesis y carcinogénesis	Cáncer ocupacional, daño hepático, efectos neurológicos	Sustitución; Automatización de manipulación; EPP adecuado; Capacitación y FDS	OSHA. (2024). HAZWOPER Standards for Chemical Hazard Management

Fuente: Nava (2025)

Para el proceso de análisis se aplicó un enfoque hermenéutico, centrado en la interpretación crítica de los contenidos técnicos y normativos de las fuentes seleccionadas. Inicialmente se realizó una lectura analítica y de reconocimiento para identificar conceptos clave vinculados con la exposición química laboral (efectos tóxicos, rutas de exposición, límites permisibles, normativas preventivas).

Posteriormente, mediante análisis de contenido, la información fue organizada en categorías temáticas alineadas con los objetivos del estudio: agentes químicos, mecanismos de toxicidad, gestión preventiva y marco legal aplicable. Estas categorías fueron integradas en un proceso iterativo de comprensión e interpretación, donde los hallazgos internacionales se compararon con la normativa venezolana vigente (LOPCYMAT e INPSASEL), permitiendo generar una construcción teórica contextualizada y fundamentada. Este proceso hermenéutico aseguró no solo la extracción de datos relevantes, sino también la interpretación de su sentido práctico en el ámbito de la seguridad y salud laboral.

A partir del análisis hermenéutico de las fuentes documentales registradas en la Tabla 1 y de la sistematización técnico-preventiva presentada en la Tabla 2, se identificó que la gestión de la exposición química en el entorno laboral venezolano requiere un fortalecimiento en la aplicación del control en la fuente como medida prioritaria, tal como lo establece el artículo 62 numeral 3 de la LOPCYMAT (2005), donde se señala que el empleador debe garantizar la eliminación o disminución del peligro directamente en el origen. Este principio coincide con los lineamientos internacionalmente aceptados en la jerarquía de controles, en la cual la sustitución y el diseño de procesos seguros representan la estrategia más efectiva para la protección de la salud del trabajador.

Asimismo, el análisis de contenido permitió establecer una relación directa entre los mecanismos de toxicidad estudiados como daño respiratorio, hepático, neurológico o carcinogénico y la necesidad de implementar controles de ingeniería específicos para cada agente químico. Esto evidencia que la prevención no puede depender únicamente de Equipos de Protección Personal (EPP), ya que estos constituyen la última barrera de defensa y su eficacia está condicionada a factores como capacitación, ajuste adecuado y supervisión constante, lo cual es ampliamente señalado por la OIT, ACGIH y NIOSH.

Desde esta perspectiva, el aporte de la presente investigación al conocimiento radica en integrar explícitamente los efectos toxicológicos con las medidas preventivas exigidas por la normativa venezolana, contribuyendo a orientar a los profesionales de Seguridad y Salud en el Trabajo en la selección fundamentada de controles efectivos frente a la exposición química en la industria nacional. De igual manera, se visibiliza la importancia de la vigilancia biológica y el monitoreo ambiental como componentes esenciales para garantizar la prevención de enfermedades ocupacionales de origen químico, especialmente en casos de exposición a metales pesados y partículas inhalables con efectos crónicos.

En síntesis, los resultados refuerzan la necesidad de que las empresas venezolanas deben avanzar hacia modelos de gestión preventiva proactivos, que integren tecnología de control, capacitación continua, evaluación periódica del riesgo y la debida articulación entre normativas nacionales e internacionales. Estos resultados sustentan la relevancia de la toxicología laboral como disciplina indispensable para la protección de la vida y el bienestar de los trabajadores, y confirman que la mejora de los niveles de seguridad depende tanto del conocimiento técnico como del cumplimiento normativo.

El presente estudio destaca que, en el ámbito de la seguridad y salud en el trabajo, la gestión del riesgo químico debe centrarse en la protección de las personas, entendidas no sólo como trabajadores, sino como individuos con proyectos de vida que deben ser resguardados. La toxicología laboral se consolida, así, como una disciplina ética y preventiva, enfocada en anticipar los riesgos antes de que se ma-

terialicen en daños a la salud.

Los resultados revelan la importancia de fortalecer el control en la fuente, tal como lo exige la LOPCYMAT, dado que en la práctica preventiva suele delegarse la protección en el uso del equipo de protección personal. Sin embargo, la verdadera efectividad radica en impedir que el peligro llegue al trabajador, mediante estrategias como la sustitución de sustancias, el rediseño de procesos, la automatización de operaciones riesgosas o la mejora de los sistemas de ventilación.

El papel del profesional en seguridad y salud laboral debe trascender el simple cumplimiento normativo, promoviendo una auténtica cultura preventiva basada en la formación, sensibilización y participación del trabajador. Solo cuando las organizaciones asumen la salud como un valor y no como un requisito legal, la prevención se convierte en un compromiso continuo y sostenible.

Este aporte académico propone una integración sólida entre la evidencia toxicológica y las exigencias legales venezolanas, con el propósito de orientar la toma de decisiones en los entornos laborales. En consecuencia, resalta que proteger la salud de la población trabajadora significa salvaguardar su bienestar, su dignidad y su derecho a culminar su jornada laboral en las mismas condiciones en que la iniciaron.

Conclusiones

El análisis realizado demuestra que la toxicología laboral constituye un pilar esencial en la protección de la salud de los trabajadores expuestos a sustancias químicas en los procesos industriales. La identificación, evaluación y control de dichos riesgos no solo deben responder a criterios técnicos, sino también a principios éticos y legales que garanticen condiciones de trabajo seguras y saludables.

A partir de la revisión documental sistemática, se evidenció que los mecanismos de toxicidad y los efectos adversos de los agentes químicos siguen representando un desafío relevante para la salud ocupacional, especialmente cuando se trata de exposiciones crónicas que pueden desencadenar enfermedades respiratorias, neurológicas, hepáticas o incluso cáncer. Estas consecuencias refuerzan la necesidad de fortalecer la vigilancia epidemiológica y el monitoreo ambiental en los centros de trabajo.

La comparación entre referentes internacionales (OIT, ACGIH, OMS, NIOSH e ISO) y la normativa venezolana vigente, particularmente la LOPCYMAT y sus normas técnicas, evidencia una alineación conceptual en cuanto a la prioridad de los controles en la fuente, tal como establece el artículo 62 numeral 3. Sin embargo, se identifican brechas en la implementación de estas medidas en diversas organizaciones, donde persiste una dependencia excesiva del equipo de protección personal como principal mecanismo preventivo.

En este sentido, la Tabla 2 presentada en esta investigación constituye una contribución para la práctica profesional, al vincular tipos de agentes químicos con mecanismos de toxicidad y medidas de control específicas orientadas a eliminar o reducir el riesgo en su origen. Esta integración permite orientar a los especialistas de seguridad laboral en la toma de decisiones más efectivas y sustentadas en evidencia científica.

Finalmente, esta investigación reafirma que la verdadera prevención se logra cuando la gestión de riesgos químicos se asume de manera proactiva, considerando a las personas como el centro de toda acción preventiva. La protección de la salud del trabajador no debe verse únicamente como una obligación normativa, sino como una responsabilidad social que incide directamente en la calidad de vida, la productividad y el desarrollo sostenible de las organizaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Conference of Governmental Industrial Hygienists. (2024). Threshold limit values for chemical substances and physical agents. ACGIH.
- Castilla Barraza, J., Duran Valenzuela, L., & Rojas González, M. (2025). La investigación cualitativa y su vigencia en los estudios sociales. *Comunicación Científica*, 12(1), 45–59. <https://comunicacion-cientifica.com/wp-content/uploads/2025/01/224.-Investigacion-cualitativa-y-aportes-metodologicos.pdf>.
- Finol de Franco, M. R., & Acosta Faneite, S. F. (2024). Método fenomenológico-hermenéutico: Una revisión semisistemática. *Revista Dialogus*, 3(2), 55–71. <https://revistas.umecit.edu.pa/index.php/dialogus/article/view/1507>
- Instituto Nacional de Prevención, Salud y Seguridad Laborales. (2016). Norma Técnica de los Servicios de Seguridad y Salud en el Trabajo (NT-03-2016). INPSASEL.
- Instituto Nacional de Prevención, Salud y Seguridad Laborales. (2023). Norma Técnica del Programa de Seguridad y Salud en el Trabajo (NT-04-2023). INPSASEL.
- International Labour Organization. (2023). Informe mundial sobre la seguridad y salud en el trabajo. ILO.
- International Labour Organization. (2023). Seguridad y salud en el trabajo: Datos y cifras globales. <https://www.ilo.org>
- Mandowa, J., Chaibva, C. N., Hove, G., Chikodzero, P., Gwatiringa, S., Gutu, T., & Madzikanda, C. (2025). Uptake of occupational safety and health management systems in the manufacturing industry: A mixed-methods study. *Frontiers in Environmental Health*, 3, 1565213 <https://www.frontiersin.org/journals/environmental-health/articles/10.3389/fenvh.2025.1565213/full>
- Muurlink, O., & Thomsen, S. (2024). Qualitative methods in contemporary social research: Exploring meanings and realities. *Journal of Qualitative Inquiry*, 30(2), 112–129. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9163076.pdf>
- National Institute for Occupational Safety and Health. (n.d.). NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards. Centers for Disease Control and Prevention. <https://www.cdc.gov/niosh/npg/default.html>
- National Institute for Occupational Safety and Health. (2023). NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards. Centers for Disease Control and Prevention. <https://www.cdc.gov/niosh/npg/>
- Occupational Safety and Health Administration. (n.d.). Chemical hazards and toxic substances — Controlling exposure. U.S. Department of Labor. <https://www.osha.gov/chemical-hazards/controlling-exposure>
- Organización Mundial de la Salud. (2022). Health effects of occupational exposure to chemicals. OMS.
- Pervin, N., & Mokhtar, M. (2022). The interpretivist research paradigm: A subjective

notion of a social context. *International Journal of Academic Research in Progressive Education and Development*, 11(2), 419–428. <https://doi.org/10.6007/IJARPED/v11-i2/12938>

Camacho Vargas, M. Ángel, Carranco Madrid, S. D. P., Montecé Ochoa, S. K., & Fonseca Peralta, C. L. (2025). Análisis de los sistemas de gestión riesgo laborales en las empresas. Una revisión sistemática. *RECIMUNDO*, 9(1), 765–782. [https://doi.org/10.26820/recimundo/9.\(1\).enero.2025.765-782](https://doi.org/10.26820/recimundo/9.(1).enero.2025.765-782)

República Bolivariana de Venezuela. (2005). Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo (LOPCYMAT). Gaceta Oficial No. 38.236.

República Bolivariana de Venezuela. (2005). Ley Orgánica de Prevención, Condiciones y Medio Ambiente de Trabajo (LOPCYMAT). Gaceta Oficial No. 38.236.

FACTORES CONTAMINANTES EN EL AIRE COMPRIMIDO PARA EL RECUBRIMIENTO DE TABLETAS EN EL SECTOR FARMACÉUTICO

Ing. Jeffé Cueva 1, Ing. Jonathan Estrada 2.

Resumen

La investigación, tuvo como objetivo analizar los factores contaminantes del aire comprimido para el recubrimiento de tabletas en el sector farmacéutico. Está teóricamente sustentada por los lineamientos de la Organización Internacional de Estandarización (ISO) 8573 (2010), El Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos-IN-VIMA (2019), Seguras. (2023) entre otros. La metodología se sustentó en el paradigma positivista, con diseño experimental de tipo descriptivo, la unidad de análisis es el aire comprimido contenido en el sistema de generación, almacenamiento y distribución. Para la recolección de datos, se utilizaron técnicas como la observación directa y la revisión documental, también se determinaron las concentraciones con equipos especializados para la medición de variables en este tipo de sistema. En paralelo se realizaron ensayos microbiológicos en laboratorio, se realizó un plan de muestreo, el cual se organizó por días y frecuencia en las tomas de muestras, para el análisis de los datos se realizó a través de pruebas estadísticas descriptivas e inferenciales con los cuales se pudo determinar que los niveles de contaminantes son significativamente menores a las especificaciones según los parámetros establecidos en la norma ISO 8573. Como conclusión se libera el sistema para su uso, aprobación de los protocolos pertinentes y cumplimiento normativo nacional e internacional. En futuros estudios se recomienda mejorar la técnica de muestreo microbiológico implementando el método de plaqueo directo y el uso de equipos con mayor precisión en las mediciones de todos los contaminantes físico químicos.

Palabras clave: *Contaminantes, aire comprimido, tabletas, farmacéutica, recubrimiento.*

Recibido: 12/09/2025

Aceptado: 06/10/2025

1 Ing. Jeffé Cueva

jeftecueva@gmail.com

ORCID: 0009-0000-4283-0166

2 Ing. Jonathan Estrada

profestradajf@gmail.com

ORCID: 0009-0003-6904-196X

CONTAMINATING FACTORS IN COMPRESSED AIR FOR TABLET COATING IN THE PHARMACEUTICAL SECTOR

Abstract

The objective of this research was to analyze the contaminants in compressed air used for tablet coating in the pharmaceutical sector. It is theoretically supported by the guidelines of the International Organization for Standardization (ISO) 8573 (2010), the National Institute for Drug and Food Surveillance (INVIMA) (2019), and Seguas (2023), among others. The methodology was based on the positivist paradigm, with a descriptive experimental design. The unit of analysis is the compressed air contained in the generation, storage, and distribution system. For data collection, techniques such as direct observation and document review were used. Concentrations were also determined using specialized equipment for measuring variables in this type of system. Simultaneously, microbiological tests were performed in the laboratory. A sampling plan was implemented, organized by day and sampling frequency. Data analysis was conducted using descriptive and inferential statistical tests, which determined that contaminant levels are significantly lower than the specifications according to the parameters established in ISO 8573. In conclusion, the system is released for use, subject to approval of the relevant protocols and compliance with national and international regulations. Future studies recommend improving the microbiological sampling technique by implementing the direct plating method and using more precise equipment for measuring all physicochemical contaminants.

Keywords: *contaminants, compressed air, tablets, pharmaceuticals, coating.*

1. Introducción:

Las industrias farmacéuticas deben trabajar en base a la metodología de Buenas Prácticas de Manufactura (BPM). Dichas prácticas no solo definen qué procedimientos, análisis, procesos, servicios y/o equipos se consideran críticos, si no que con las revisiones periódicas de normas internacionales y el avance científico-técnico de estas industrias, se generan nuevos requerimientos a los cuales las empresas deben ajustarse durante la fabricación de medicamentos. Tal es el caso del servicio de aire comprimido usado durante los procesos de fabricación farmacéutica.

El sistema encargado de generar y distribuir aire comprimido en instalaciones farmacéuticas se considera crítico debido a que interviene en todo el proceso de fabricación de medicamentos y está relacionado con los atributos de calidad del producto, dependiendo de su grado de contacto con el mismo. Todo esto ha sido objeto de estudio y regulaciones a nivel mundial. Es por ello que, con los años, las exigencias referentes al monitoreo y control de la pureza de este servicio se han vuelto más estrictas y exigen que se demuestre con pruebas de carácter científico que es un suministro limpio, carente de humedad, sólidos, aceites y microorganismos.

En relación a este planteamiento, se presenta en siguiente estudio, el cual tiene como objetivo analizar los factores contaminantes presentes en el aire comprimido usado para el recubrimiento de las tabletas orales de consumo humano, basándose en las regulaciones establecidas por la norma ISO 8573. Esto se llevó a cabo en un laboratorio farmacéutico ubicado en el municipio Girardot, Maracay, Estado Aragua, enmarcado bajo la línea de seguridad farmacéutica. Todo ello subraya la importancia de identificar y analizar dichos factores contaminantes, ya que pueden acarrear consecuencias en el producto final.

Cabe destacar que, algunos de los principales problemas son causados por contaminantes como el cultivo de hongos, bacterias y levaduras tóxicas para el ser humano, debido a las concentraciones de agua, así mismo se pueden presentar manchas en las cubiertas de las tabletas causadas por la presencia de hidrocarburos en el aire comprimido usado como aspersor del recubrimiento en esta forma farmacéutica. Además por ser compuestos que no pertenecen a la formulación del medicamento pueden afectar la salud del consumidor. No se puede pasar por alto que el recuento microbiológico es un indicador de la efectividad del control de las propiedades fisicoquímicas, debido a que, si no hay transporte ni un medio de cultivo, los microorganismos no se reproducen.

Por otro lado, los análisis que conllevan la calificación de este tipo de suministro de aire son considerados por entes internacionales como críticos, y no realizarlos impide la comercialización con países que cuentan con estructuras de calidad y control estricto. Tal es el caso del Instituto de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos y la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios, que realizan audi-

torías a sus proveedores internacionales para determinar qué tipos de productos pueden ser enviados a sus países según el resultado de dichas auditorías.

Para estos organismos, la norma aceptada para establecer el muestreo, análisis y control de contaminantes en la industria farmacéutica es ISO 8573, específicamente ISO 8573-1 para variables fisicoquímicas e ISO 8573-7 que abarca lo referente a los contaminantes microbiológicos, según el tipo de uso o tipo de producto final. Es importante destacar que el proceso de medición y muestreo de las características del aire se deben realizar en los puntos de uso que se encuentren en contacto directo o indirecto con el producto. Adicionalmente, se debe muestrear el punto de uso más cercano a la sala de compresores para garantizar que la calidad del aire sea constante en cualquier toma del sistema.

Esta clasificación de pureza se efectúa según el tipo y la concentración de contaminantes. Para ello se determina la cantidad y tamaño de partículas no viables, medidas en micrómetros (μm) con equipos analizadores de partículas por difracción láser, también se debe analizar el contenido de agua (H_2O), medido con un psicrómetro que permite conocer la temperatura en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$) a la que se formarán gotas de agua condensada dentro de las tuberías. Esta medición es denominada punto de rocío. En tercer lugar se debe determinar la concentración de aceites totales, expresada en miligramos por metro cúbico (mg/m^3), con impactadores de aceite especialmente diseñados para este tipo de ensayo, por último se deben incubar muestras de aire en medios de cultivo para identificar y contar los microorganismos que pudieran estar presentes, los resultados de este ensayo se expresan en unidades formadoras de colonia por metro cúbico (UFC/m^3).

1. Marco teórico

1.1. Factores contaminantes

El aire ambiental no es una sustancia pura y aun cuando podemos respirarlo con relativa tranquilidad, existen en él una serie de compuestos que pueden llegar a ser nocivos cuando se comprime para ser usado en la fabricación de medicamentos. Sobre esto el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos (INVIMA, 2019) explica que: “los contaminantes considerados críticos son, microbiológico y gaseoso (CO , CO_2 , SO_2 , hidrocarburos, entre otros); al respecto se recomienda consultar las normas ISO 8573-2:2018 sobre partículas no viables (10)” (p. 46).

1.2. Aglomerados

Son minúsculas porciones de materia tales como polvo u óxido. Estas pueden entrar al sistema cuando las partículas gruesas suspendidas en el ambiente ingresan junto con el aire por los ductos de alimentación del compresor. Se puede encontrar al respecto en la norma ISO 8573-1 (2010) el siguiente concepto “grupo de dos o más partículas combinadas, unidas o formadas en un grupo por cualquier medio”. (p. 2).

Estas porciones en exceso afectan la calidad del aire y aportan cuerpos extraños inorgánicos a los medicamentos. Es por ello que INVIMA (2019) describe este contaminante como partículas no viables o en otras palabras que no son capaces de crecer, reproducirse o realizar funciones metabólicas propias de un microorganismo.

1.3. Punto de rocío

Se refiere a los compuestos con estructuras orgánicas provenientes del ambiente o de fugas en los sistemas de compresión y que a su vez pudieran existir dispersos en el aire, entre ellos monóxido de carbono, dióxido de carbono y restos de lubricantes. Es por ello que la norma ISO 8573-1 (2010) define los aceites totales como los "compuestos orgánicos que consisten principalmente en hidrógeno y carbono" (p.02). Esto concuerda con la explicación dada por Gómez (2006). Donde menciona que "forman el grupo más sencillo de compuestos y, como su nombre lo indica, están constituidos solamente por elementos carbono e hidrógeno" (p.65).

1.4. Conteo microbiológico

Los microorganismos son seres vivos que bajo ciertas condiciones ambientales y en presencia de una fuente de alimento, son capaces, primero de reproducirse y en segunda instancia, de afectar el ecosistema en el que se encuentran. Para entender mejor la cuantificación de estos contaminantes la norma ISO 8573-1 (2010) indica que son medidos en "unidades formadoras de colonias viables, que pueden ser bacterias, hongos o levaduras" (p.02).

Para mayor claridad Tortora, Funke y Case (2007) exponen que: El recuento en placa se basa en la suposición de que cada bacteria crece y se divide para producir una sola colonia. Esto no siempre es cierto porque las bacterias con frecuencia crecen unidas en cadenas o como grumos. Por consiguiente, a menudo una colonia no se produce como resultado de una única bacteria sino de segmentos cortos de una cadena o de un agregado bacteriano. Para reflejar esta realidad los recuentos en la placa suelen informarse como Unidades Formadoras de Colonia (UFC) (p.178).

2. Metodología

Se empleó una investigación científica, según lo afirma Rincón (2011), esta modalidad su intención es la búsqueda de conocimientos y soluciones a problemas de carácter científicos. Así mismo, la investigación presenta características establecidas bajo los criterios de un diseño experimental de acuerdo con lo que plantea el Manual de Trabajo Especial de Grado (2015), del Instituto Universitario Politécnico "Santiago Mariño". Este considera que este es un conjunto de actividades vinculadas entre sí, cuya ejecución permitirá el logro de objetivos previamente definidos en atención a las necesidades que pueda tener una institución o un grupo social en un momento determinado. Es decir, la finalidad del proyecto radica en el diseño de una propuesta de acción dirigida a resolver un problema o necesidad previamente detectada en el medio, Así mismo, esta investigación se considera bajo un paradigma positivista, ya que el conocimiento se pudo obtener mediante experiencias y la

observación directa a través de cada prueba de laboratorio realizada.

En función a lo antes descrito, la siguiente investigación se desarrolló a través de un protocolo de pruebas experimentales y análisis estadístico de los resultados, sobre la pureza del aire comprimido utilizado como aspersor en el proceso de recubrimiento de medicamentos en forma de tabletas orales, que proviene del sistema de generación y distribución en un laboratorio farmacéutico ubicado en Maracay Estado Aragua. El estudio se rigió según las normas ISO 8573 garantizando la seguridad de los pacientes, integridad y eficacia del medicamento.

De acuerdo con los criterios establecidos por Arias (2016), se considera del tipo de investigación descriptiva, ya que radica en descubrir algunas características fundamentales de fenómenos. En función a la presente investigación, se lograron describir cada una de las pruebas a ejecutar en las diferentes fases de la calificación de la calidad del aire comprimido.

La unidad de análisis es el aire comprimido en toda la cadena desde la generación hasta los puntos de uso críticos. Se seleccionaron 16 puntos de muestreos críticos en un laboratorio farmacéutico ubicado en Maracay, Estado Aragua, Venezuela.

Se utilizaron instrumentos calibrados para medición de partículas no viables (contador de partículas MET ONE BT-620), punto de rocío (medidor Vaisala DMP74B), contenido de hidrocarburos totales (impactadores de aceite Dräger), y muestreo microbiológico (método de burbujeo con cultivos en agar Soya Tríptica). Las mediciones se efectuaron durante tres días con tres mediciones diarias por punto para asegurar confiabilidad.

Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis estadísticos descriptivos e inferenciales, incluyendo pruebas de hipótesis y detección de valores atípicos para validar la estabilidad y representatividad de los resultados. Finalmente, se compararon los resultados con los límites normativos de la ISO 8573-1 e ISO 8573-7 para calificar la calidad y pureza del aire comprimido.

2.1. Realización del experimento

Para asegurar la representatividad de los datos, la frecuencia del muestreo se diseñó con el fin de capturar adecuadamente las variaciones en el contenido de contaminantes del aire comprimido. Por tal motivo, cada medición se realizó por triplicado, lo cual significa que cada punto de muestreo se analizó tres veces por cada día de prueba, minimizando así errores y aumentando la confiabilidad de los resultados.

Aunque las pruebas de este experimento se dividieron en físico químicas y microbiológicas, los muestreos de cada una se realizaron punto por punto, en paralelo,

con el fin de estudiar el comportamiento de las variables bajo las mismas condiciones.

A continuación, se detalla la metodología para la medición de los parámetros:

1. El conteo de partículas, medición de punto de rocío fue efectuado con equipos de medición calibrados de partículas y humedad.
2. La determinación de contenido de hidrocarburos totales, se realizó con impactadores de aceites, un método cualitativo que compara el cambio de color con un patrón que permite cuantificar la concentración de estos.
3. El muestreo microbiológico, se realizó por el método de burbujeo garantizando que dicho muestreo sea de 1 m³ por punto de uso en cada ocasión.
4. La frecuencia de las mediciones se describe en la tabla 1.
5. Y se registraron los valores obtenidos en el conteo microbiológico y la clase obtenida para conteo de partículas, punto de rocío y contenido de aceites en los instrumentos de recolección.

A continuación, se presenta en la tabla 1, el plan de muestreo que se diseñó y ejecuto para la toma de aire y así poder realizar las pruebas de laboratorio correspondientes.

Tabla 1. Plan de muestreo para parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

DÍA	PRUEBAS	FRECUENCIA
1	Conteo de partículas	Diario triplicado por punto
	Medición de punto de rocío	
	Medición de contenido de aceites totales	
	Conteo microbiológicas	
	Diario triplicado por punto	
2	Conteo de partículas	Diario triplicado por punto
	Medición de punto de rocío	
	Medición de contenido de aceites totales	
	Conteo microbiológicas	
	Diario triplicado por punto	
3	Conteo de partículas	Diario triplicado por punto
	Medición de punto de rocío	
	Medición de contenido de aceites totales	
	Conteo microbiológicas	
	Diario triplicado por punto	
	Medición de punto de rocío	
	Medición de contenido de aceites totales	

Fuente: Cueva y Estrada (2025)

Para fines prácticos, se explican en orden cada una de las pruebas para la mejor comprensión. Primero el ensayo microbiológico: Se prepararon los frascos de 1000 ml con 200 ml de agua peptonada. Fueron esterilizadas las mangueras de muestreo, la unidad de filtración y las pinzas. Posteriormente, se realizó la toma de las muestras. Una vez realizado el muestreo se trasladaron las muestras al laboratorio y se inició el análisis por el método de filtración de membrana. Luego, se pasó el contenido del medio de cultivo a través de una membrana de filtración de 0,45 milímetros, se colocó la membrana en placas de Agar Soya Tripticasa.

Se incubaron las placas con la membrana de 30-35 °C por 48 horas, pasado este tiempo se realizó la lectura de las bacterias. Luego se incubó la misma placa de 20-25 °C por 72 horas y se realizó la lectura de los Hongos. Para apreciar el crecimiento, se realizó la identificación por coloración de Gram. En segundo lugar, para los ensayos físico-químicos: se inició con el conteo de partículas sólidas, desde 0,5 micrómetros hasta 5 micrómetros. La determinación se realizó según su tamaño, utilizando un contador de partículas el cual permitió la recolección de un metro cúbico de muestra. Con esto se cuantificó el número y tamaño de partículas no viables contenidas en el flujo de aire comprimido, y los resultados se expresaron en partículas/m³.

Para el ensayo se conectó y reguló el flujo en un extremo y se conectó al equipo contador de partículas. Se realizó el muestreo y se determinó tanto el tamaño como la cantidad de partículas existentes. Para la cuantificación del contenido de aceites totales se utilizaron los impactadores de aceite drager. En este ensayo se conectó el extremo del punto de muestra al regulador del impactador de aceite, se instaló el dispositivo y se procedió con la apertura del aire. Se muestreó un metro cúbico, se visualizó el indicador del impactador y determinó la concentración de hidrocarburos.

En lo que respecta al punto de rocío presente en el sistema de aire comprimido, se utilizó el medidor de humedad o psicrómetro, el cual permitió realizar el ensayo en sistemas presurizados. Para esto, se conectó a la toma de aire y al otro extremo se colocó el equipo. Se realizaron tres mediciones diarias en cada punto de muestreo por tres días.

Con relación a los resultados físico químicos, adicional a la comparación con los estándares de la norma ISO 8573, se realizaron pruebas estadísticas que demostraron la estabilidad y capacidad del sistema en base a sus indicadores de pureza de aire. Para lograr esto, se aplicaron pruebas de valores atípicos, normalidad de datos, ANOVA de un factor y cálculos de índices de capacidad. Una vez culminados todos estos se designó la calidad y pureza del aire según esta norma.

3. Análisis de los Resultados

Luego de haber ejecutado todas las mediciones correspondientes a los puntos de uso críticos y los contenidos de los contaminantes definidos en la serie de normas ISO

8573, Los datos fueron ordenados en los correspondientes instrumentos de registro. Este ordenamiento permitió realizar los cálculos estadísticos bajo factores racionales que le dan mayor resolución a las pruebas.

Para garantizar que los datos obtenidos sean representativos no solo es necesario un cronograma y plan de muestreo; también se requiere verificar que no existan datos aberrantes. Es por ello que se realizaron pruebas de valores atípicos a las variables de estudio, es decir, partículas (0,5 μm - 1 μm); partículas (1 μm - 5 μm); punto de rocío (td°C) y bacterias (ufc/m^3).

A continuación, se describen el método, la hipótesis y los resultados de esta evaluación (tabla 2).

Método:

Hipótesis nula: Todos los valores de los datos provienen de la misma población normal.

Hipótesis alterna: El valor más pequeño o más grande de los datos es un valor atípico.

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

Dado que el p valor para cada variable es mayor al α (0,05), no hay valor atípico en el nivel de significancia de 5%. Este resultado indica que no existe evidencia estadística para dudar de los valores registrados en cada uno de los instrumentos de recolección de datos, por lo tanto, es posible utilizar todos los datos recolectados en los siguientes análisis con un 95% de confianza.

Tabla 2. Prueba de relación r22 de Dixon realizada con software Minitab®.

Prueba de relación r22 de Dixon							
Variable	N	Mín.	x[2]	x[3]	x[N-2]	x[N-1]	Máx. r22
Partículas (0,5 μm - 1 μm)	144	105	388	458	45071	45707	55633 0,19
Partículas (1 μm - 5 μm)	144	0,0	0,0	0,0	989,0	989,0	989,0 0,00
Punto de rocío (td°C)	144	-28,310	-28,280	-27,100	-20,010	-20,010	-20,000 0,15
Bacterias (ufc/m^3)	144	0,000	0,000	0,000	43,000	45,000	55,000 0,22

Variable	P
Partículas (0,5 μm - 1 μm)	0,238
Partículas (1 μm - 5 μm)	1,000
Punto de rocío (td°C)	0,526
Bacterias (ufc/m^3)	0,139

x[i] denota la observación i-ésima más pequeña.

Fuente: Cueva y Estrada (2025)

Ya verificados los datos, se procedió a calcular los estadísticos descriptivos para partículas (0,5 µm - 1 µm); partículas (1 µm - 5 µm); punto de rocío (td°C); bacterias (ufc/m³) como se muestra en la Tabla 3 de la cual se puede extraer el siguiente análisis: Las partículas (0,5 µm - 1 µm) presentan asimetría positiva es decir la media = 11.924 > mediana = 9.716 confirmada por su coeficiente de asimetría 1,59, indicando una cola derecha alargada con valores extremos altos, donde el máximo es 55.633 que desplazan la media. Mientras la desviación estándar con valor de 10.599 evidencia alta dispersión.

Las partículas (1 µm - 5 µm) muestran simetría donde la media ≈ mediana: respaldada por su coeficiente de asimetría de 0,01, con desviación estándar moderada 331,2. El punto de rocío (td°C) exhibe asimetría negativa es decir media = -22,67 < mediana = -22,33 y coeficiente negativo -0,78, revelando una cola izquierda leve, aunque la desviación estándar baja de 1,971 sugiere datos concentrados cerca de la media. Bacterias (ufc/m³): Demuestra asimetría positiva extrema donde la media = 3,188 >> mediana = 0,000 con coeficiente elevado 3,94, donde el 50% de datos son cero es decir Q1 = mediana = 0, pero valores máximos y alta desviación estándar de 8,827 distorsionan la distribución hacia la derecha.

Tabla 3. Estadísticas descriptivas para análisis de factores contaminantes

Estadísticas

Variable	Conteo total	N	N*	Media	Error estándar de la media	Desv.Est.	Mínimo
Partículas (0,5 µm - 1 µm)	144	144	0	11924	883	10599	105
Partículas (1 µm - 5 µm)	144	144	0	488,1	27,6	331,2	0,0
Punto de rocío (td°C)	144	144	0	-22,670	0,164	1,971	-28,310
Bacterias (ufc/m ³)	144	144	0	3,188	0,736	8,827	0,000

Variable	Q1	Mediana	Q3	Máximo	Modo	N para moda	Asimetría
Partículas (0,5 µm - 1 µm)	3407	9716	15659	55633	2295	3	1,59
Partículas (1 µm - 5 µm)	141,0	511,5	777,0	989,0	141	11	0,01
Punto de rocío (td°C)	-23,773	-22,330	-20,990	-20,000	-20,49	4	-0,78
Bacterias (ufc/m ³)	0,000	0,000	2,000	55,000	0	87	3,94

Variable	Curtosis
Partículas (0,5 µm - 1 µm)	2,90
Partículas (1 µm - 5 µm)	-1,46
Punto de rocío (td°C)	-0,14
Bacterias (ufc/m ³)	15,96

Fuente: Cueva y Estrada (2025)

A continuación, un análisis de cada resultado obtenido. En el muestreo microbiológico, los conteos de bacterias mostraron valores muy bajos o prácticamente nulos en la mayoría de las mediciones, lo cual indica un buen control de este parámetro. Durante el desarrollo de las pruebas de laboratorio para hongos, estos no se detectaron, así como tampoco se pudo visualizar valores de levaduras en los puntos de muestreo.

El conteo de partículas no viables en tamaños de 0,5 μm a 1 μm y de 1 μm a 5 μm mostraron presencia constante con variabilidad significativa, pero todos los resultados obtenidos estuvieron dentro de los límites permitidos por la norma ISO 8573-1. Los valores de punto de rocío, los cuales indican la cantidad de humedad, estos oscilan mayoritariamente entre -20°C y -28°C , reflejando un control estricto y estable de la humedad en el sistema.

Con respecto a la concentración de aceites totales, el cual fue medido con los impactadores de Dräger fue constante en $0,10 \text{ mg/m}^3$, los cuales se encuentran dentro de los límites permitidos por la norma. Para validar los resultados, se realizaron las pruebas estadísticas, incluyendo los análisis de valores atípicos y pruebas de hipótesis (t de student), confirmando que los niveles de bacterias, partículas, punto de rocío y aceites son significativamente menores que los establecidos por la norma ISO-8573. A continuación, en tabla 4, se puede observar el resumen de los resultados obtenidos y su cumplimiento al comparar con los estándares establecidos en la norma.

Como se puede apreciar en la tabla 4, todos los parámetros que fueron medidos, tanto fisicoquímicos como microbiológicos, se encuentran en promedio dentro de las especificaciones y cumplen con la calidad o niveles de limpieza necesarios para la fabricación de medicamentos no estériles.

El análisis de los factores contaminantes presentes en el aire comprimido permitió calificar la calidad del aire y su disponibilidad para el uso en el recubrimiento de las tabletas. La norma ISO 8573-1 clasifica la calidad del aire comprimido mediante un código de tres dígitos: [Clase de Partículas]. [Clase de Humedad]. [Clase de Aceite] o lo que es lo mismo [A:B:C]. Cada dígito representa el límite máximo permitido para un contaminante específico, según las clases definidas en la norma.

Tomando en consideración que los resultados obtenidos tanto en las mediciones fisicoquímicas como microbiológicas registradas en la tabla 4 cumplen con las especificaciones establecidas en las normas ISO 8573-1 e ISO 8573-7, según se puede observar en las tablas 5, 6, 7, 8, donde se especifica el tipo de clase según los parámetros en la norma ISO 8573-1 e ISO 5873-7.

Tabla 4. Comparación de resultados con los límites según la norma ISO 8573

Bacterias			Cumple (Si-No)
Límite de ufc/m3 según ISO8573-7	Resultado		
≤ 100	3,188		Si
Hongos y Levaduras			Cumple (Si-No)
Límite de ufc/m3 según ISO8573-7	Resultado		
≤ 14	0		Si
Cantidad de partículas no viables			Cumple (Si-No)
Tamaño (d) μm	Límite de partículas/m3 según ISO8573-1	Resultado	
(0,5 < d \leq 1,0)	≤ 90.000	11.924	Si
(1,0 < d \leq 5,0)	≤ 1000	488,1	Si
Punto de rocío			Cumple (Si-No)
Límite de td^oC según ISO8573-1	Resultado		
≤ -20	-22,7		Si
Concentración de aceites totales			Cumple (Si-No)
Límite de mg/m3 según ISO8573-1	Resultado		
$\leq 0,1$	0,1		Si

Fuente: Cueva y Estrada (2025)

Tabla 5. Clasificación de contenido de partículas según la norma ISO 8573-1

Clasificación	Tamaño de Partículas (μm)	Máximo N° de Partículas/m³
Clase 0	Cualquier tamaño	Especificado por usuario (más estricto que Clase 1)
Clase 1	0.1 < *d* \leq 0.5	$\leq 20,000$
	0.5 < *d* \leq 1.0	≤ 400
	1.0 < *d* \leq 5.0	≤ 10
Clase 2	0.1 < *d* \leq 0.5	$\leq 400,000$
	0.5 < *d* \leq 1.0	$\leq 6,000$
	1.0 < *d* \leq 5.0	≤ 100
Clase 3	0.5 < *d* \leq 1.0	$\leq 90,000$
	1.0 < *d* \leq 5.0	$\leq 1,000$
Clase 4	1.0 < *d* \leq 5.0	$\leq 10,000$
Clase 5	1.0 < *d* \leq 5.0	$\leq 100,000$

Fuente: Cueva y Estrada (2025)

Tabla 5. Clasificación de contenido de partículas según la norma ISO 8573-1

Clasificación	Punto de Rocío a Presión (°C)
Clase 0	Especificado por usuario (más estricto que Clase 1)
Clase 1	≤ -70
Clase 2	≤ -40
Clase 3	≤ -20
Clase 4	≤ +3
Clase 5	≤ +7
Clase 6	≤ +10

Fuente: Cueva y Estrada (2025)

Tabla 7. Clasificación de contenido de aceite total según la norma ISO 8573-1

Clasificación	Concentración de Aceite Total (mg/m³)
Clase 0	Especificado por usuario (más estricto que Clase 1)
Clase 1	≤ 0,01
Clase 2	≤ 0,1
Clase 3	≤ 1
Clase 4	≤ 5
Clase X	> 5

Fuente: Cueva y Estrada (2025)

Tabla 8. Clasificación de partículas viables según la norma ISO 8573-7

Organismo Microbiológico	Límite Máximo (CFU/m)
Bacterias	≤ 100
Levaduras	≤ 14

Fuente: Cueva y Estrada (2025)

Para validar la calidad del aire se establece clase 3 para partículas no viables ya que se obtuvo un resultado menor a 90.000 en el caso de las partículas con tamaños entre $0,5 < d \leq 1,0$ y menor a 1.000 en el caso de las partículas con tamaño entre $1,0 < d \leq 5,0$. En el caso del punto de rocío se califica con clase 3, ya que el valor obtenido durante el análisis se encuentra por debajo de -20°C , Para el contenido de aceites se asigna una calificación de clase 2 tomando como referencia el cuadro 8, ya que los valores obtenidos luego de realizar las pruebas de laboratorio se encuentran igual al rango límite que determina la norma en contenido de aceites.

Por ende, los niveles de contaminantes están significativamente por debajo de los estándares límites de la norma, se declara que la pureza del aire comprimido utilizado en la fabricación de tabletas de consumo oral en este laboratorio farmacéutico queda calificado como ISO 8573-1 [3:3:2]. Esta clasificación permite declarar el sistema de aire comprimido como un sistema "calificado", es decir, apto para el uso en la manufactura de productos farmacéuticos de consumo oral no estériles. Por lo cual, las actividades de producción, validación de proceso y auditorías de terceras partes para certificaciones internacionales pueden ser continuadas con el soporte

científico técnico que este estudio representa.

Conclusiones

Una vez presentados los resultados de la investigación, la cual tuvo como objetivo general analizar los factores contaminantes presentes en el aire comprimido usado para el recubrimiento de tabletas en el sector farmacéutico, se generan las siguientes consideraciones finales, las cuales se detallan en orden lógico.

Se definieron los puntos de muestreo a lo largo de todo el sistema de generación y compresión del aire, identificando los puntos de contacto crítico y se desarrollaron el conjunto de pruebas para el análisis de los contaminantes presentes en el aire comprimido. Dichas pruebas fueron fundamentadas por la norma ISO 8573-1 e ISO 8573-7, las cuales establecen los métodos e instrumentos requeridos para los respectivos conteos.

Así mismo se recomienda la optimización de los tiempos de muestreo, ya que en esta ocasión uno de los métodos utilizados específicamente el burbujeo para las mediciones de partículas viables es engorroso y lento. Por lo cual, se sugiere diseñar un dispositivo que permita la recolección de las muestras microbiológicas directa y simultáneamente en tres placas Petri con medio de cultivo.

Una vez recolectado los datos, se compararon los parámetros obtenidos por los análisis de las pruebas con los establecidos por la norma ISO 8573 en el sector farmacéutico. Adicionalmente, se comprobó mediante pruebas de hipótesis estadísticas que los niveles de contaminantes presentes en el aire comprimido son significativamente menores a los límites de especificación.

Por último, habiendo verificado que los niveles de contaminantes son significativamente menores a los límites de especificación, se procedió a calificar la calidad del aire usado durante los procesos de compresión y secado para el recubrimiento de tabletas en el sector farmacéutico bajo la siguiente clase de pureza: ISO 8573-1 [3:3:2], permitiendo así la liberación del sistema para su uso, aprobación de los protocolos pertinentes y cumplimiento normativo nacional e internacional.

El sistema es claramente mejorable ya que los atributos de calidad dependen de factores controlables como instalación de filtros coalescentes, cambios en los parámetros de regeneración de las torres de secado y la condición de diseño de las unidades compresoras, específicamente cámaras libres de aceites. Por todo lo antes dicho, se recomienda realizar una optimización del sistema de compresión y secado de aire para luego, con equipos de medición de mayor sensibilidad, ejecutar una nueva calificación incluyendo las áreas de planta restantes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, F. (2016). El Proyecto de Investigación. Introducción a la Metodología Científica. Editorial Episteme, C.A (6ta. Edición)
- Organización Internacional de Estandarización.(ISO) (2010) Calidad del aire comprimido - Suciedad y clases de pureza. Ginebra, Suiza.
- Gómez (2006). Tratado de química orgánica: Química orgánica sistemática versión española. Editorial Reverté.
- Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos-INVIMA (2019) Guía de Validación de Procesos de Manufactura. Colombia.
- Manual de Trabajo de Grado del Instituto Universitario Politécnico "Santiago Mariño" (2015).
Venezuela. IUPSM.
- Rincón S. (2011). Investigación científica e investigación tecnológica como componentes para la innovación: consideraciones técnicas y metodológicas. Disponible en: www.eumed.net Rev cccss/13.
- Seguas. (2023). Auditoría de calidad del aire comprimido industrial. <https://www.seguas.com/auditoria-calidad-aire-comprimido-industrial>.
- Tortora, G. J., Funke, B. R., Case, C. L. (2007). Introducción a la microbiología. Médica Panamericana.

VALIDACIÓN DE UN MÉTODO VOLUMÉTRICO PARA DETERMINAR HIERRO (Fe) EN ADITIVOS DE PELETIZACIÓN

Lcda. Sivira Eilin 1, Lcdo. Páez Pedro 2, MSc. Castro José 3.

Resumen

La determinación precisa de hierro (Fe) en aditivos como la dolomita es crucial para el control de calidad en el proceso de peletización. La presente investigación se enfoca en la validación de un método volumétrico para la determinación del contenido de hierro (Fe) en aditivos de peletización, un parámetro crítico para el control de calidad. Ante la necesidad de contar con una alternativa analítica robusta, rápida y rentable, se planteó como objetivo principal validar un método volumétrico para determinar hierro (Fe) en aditivos de peletización. La metodología incluyó el análisis de Materiales de Referencia Certificados (MRC) y muestras reales, recolectadas mediante un muestreo compuesto en correas transportadoras. Los resultados del análisis de MRC demostraron que el método es exacto y preciso, con valores que coinciden estadísticamente con los certificados, según la prueba t de Student. Además, la comparación con la técnica de Espectrometría de Absorción Atómica (EAA) confirmó que el método volumétrico es equivalente y confiable.

Palabras clave: Dolomita, hierro, peletización, redox, validación.

Recibido: 18/09/2025

Aceptado: 10/10/2025

1 Lcda. Sivira Eilin
eilin1605@gmail.com
ORCID: 0009-0008-2380-7858

2 Lcdo. Páez Pedro
pedroap90@gmail.com
ORCID: 0009-0008-9567-3529

3 MSc. Castro José
jlcastros78@gmail.com
ORCID: 0009-0009-5786-4743

VALIDATION OF A VOLUMETRIC METHOD FOR DETERMINING IRON (Fe) IN PELLETIZING ADDITIVES

Abstract

The accurate determination of iron (Fe) in additives such as dolomite is crucial for quality control in the pelletizing process. This research focuses on the validation of a volumetric method for the determination of iron (Fe) content in pelletizing additives, a critical parameter for quality control. Given the need for a robust, rapid, and cost-effective analytical alternative, the main objective was to validate a volumetric method for determining iron (Fe) in pelletizing additives. The methodology included the analysis of Certified Reference Materials (CRMs) and real samples collected through composite sampling on conveyor belts. The results of the CRM analysis demonstrated that the method is accurate and precise, with values that statistically coincide with the certified ones, according to the Student t test. Furthermore, the comparison with the Atomic Absorption Spectrometry (AAS) technique confirmed that the volumetric method is equivalent and reliable. In conclusion, the proposed volumetric method is a validated, robust, and suitable alternative for quantifying iron in additives, offering a reliable option for process control.

Keywords: *dolomite, iron, pelletizing, redox, validation.*

Introducción

En CVG Ferrominera Orinoco (FMO) se comercializa productos para la industria siderúrgica: Finos y Gruesos del mineral de hierro, el cual es usado en los procesos de sinterización, peletización y reducción directa. Igualmente, se producen pellas para alto horno y reducción directa; así como Briquetas para alto horno y horno de arco eléctrico (FMO, 2025). Por su parte, la planta de Pellas procesa el mineral después de ser explotado en las minas, lo muele, le agrega aditivos y forman pellas (Figura 1), que son materia prima de las plantas briqueteras. La peletización de mineral de hierro fino, más bentonita y dolomita, materia prima de vital importancia para la industria briquetera y siderúrgica del país (FMO, 2025).

Figura 1. Pellas de hierro (FMO, 2025).



Fuente: Sivira, Páez y Castro 2025

En el proceso de peletización, la composición química exacta de cada material que ingresa al sistema es de vital importancia, ya que es la base para la realización de un balance de masa. Un balance de masa es un análisis cuantitativo fundamental que permite rastrear y cuantificar la cantidad de materia que entra y sale de un sistema o proceso definido. Estos cálculos precisos son esenciales para ajustar de manera óptima las proporciones de las materias primas, lo que a su vez mejora significativamente la eficiencia global del proceso. Un control riguroso evita pérdidas de material, minimiza contaminaciones y asegura la calidad del producto final, las "pellas", cumplan consistentemente con los estándares requeridos (Sinnott & Towler, 2012).

La determinación del contenido de hierro (Fe) en los aditivos (dolomita) constituyen unos requisitos analíticos más críticos. Para obtener resultados fiables que permitan estos ajustes, es imprescindible emplear análisis químicos precisos y confiables. Históricamente, para minerales con bajo contenido de hierro, la Espectrometría de Absorción Atómica (EAA) se ha consolidado como el método instrumental de elección, que es ampliamente utilizada debido a su inherente simplicidad y alta eficiencia, lo que la convierte en una herramienta insustituible para garantizar la precisión necesaria en el control de calidad de la materia prima (Rubinson & Rubinson, 2001).

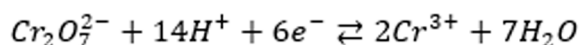
Sin embargo, actualmente en el Laboratorio de la Gerencia de Calidad de la Planta de Pellas está limitado por la ausencia de un equipo de Espectroscopía de Absorción Atómica (EAA). Esta carencia tecnológica impide la obtención de resultados oportunos y precisos sobre el contenido de hierro (Fe) en los aditivos utilizados en el proceso de paletización. Esto crea una problemática a lo largo de toda la cadena de producción. Al carecer de un análisis detallado y en tiempo real de la composición de las materias primas (dolomita), se vuelve imposible determinar con precisión la cantidad óptima de aditivos se deben añadir al proceso. Consecuentemente, la dificultad para ajustar las proporciones de estos componentes compromete directamente la capacidad de asegurar que el producto final (pellas) cumpla consistentemente con los rigurosos requerimientos de calidad establecidos en el plan de calidad de FMO.

Ante la problemática, se propone la validación de un método analítico alternativo basado en el análisis volumétrico (valoración redox). Esta técnica química es un procedimiento robusto y bien establecido que permite cuantificar la concentración de hierro mediante un análisis volumétrico de oxidación-reducción (REDOX). Al principio de una valoración de oxidación/reducción, el analito debe estar en un solo estado de oxidación. Sin embargo, frecuentemente los pasos que preceden a la valoración, como la disolución de la muestra y la separación de interferencias, convierten al analito en una mezcla de estados de oxidación (Skoog, West, Holler, & Crouch, 2015). La esencia de la valoración reside en la medición precisa del volumen del reactivo valorante consumido hasta alcanzar el punto de equivalencia. En este punto la transferencia de electrones entre el agente oxidante y el agente reductor es estequiométricamente equivalente, lo que permite cuantificar el analito con alta fiabilidad (Whitten, Davis, Peck, & Stanley, 2015).

Cuando se disuelve una muestra que contiene hierro, la disolución resultante normalmente contiene una mezcla de iones hierro(II) y hierro(III), empleando un oxidante estándar para determinar hierro, primero se realiza un tratamiento a la disolución de la muestra con un agente reductor auxiliar para convertir todo el hierro a un único estado de oxidación. Asimismo, el titular con un reductor estándar, es necesario realizar un tratamiento previo con un agente oxidante auxiliar. Por otro lado, para que un reactivo sea útil como preoxidante o prerreductor, debe reaccionar cuantitativamente con el analito. Además, cualquier reactivo en exceso debe ser retirado con facilidad porque el exceso del reactivo por lo general interfiere con la valoración al reaccionar con la disolución estándar (Skoog, West, Holler, & Crouch, 2015).

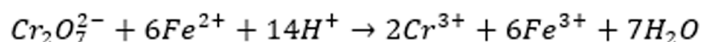
El dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) en sus aplicaciones analíticas como valorante, el ion dicromato es reducido al ion verde cromo(III) (Ecuación 1). Las valoraciones de dicromato son realizadas generalmente en disoluciones de ácido clorhídrico o sulfúrico alrededor de 1 M. En estos medios, el potencial formal para la semirreacción es de entre 1,0 a 1,1 V. Las disoluciones de dicromato de potasio son estables indefinidamente, pueden ser hervidas sin descomponerse y no reaccionan con el ácido

clorhídrico (Skoog, West, Holler, & Crouch, 2015).



Ecuación 1

El uso principal del dicromato es para la valoración volumétrica de hierro(II) (Ecuación 2). A menudo esta valoración se realiza en presencia de concentraciones moderadas de ácido clorhídrico. La reacción del dicromato con hierro(II) ha sido utilizada ampliamente para la determinación indirecta de una gran variedad de agentes oxidantes. En estas aplicaciones, un exceso medido de una disolución de hierro(II) se agrega a una disolución ácida del analito. El exceso de hierro(II) es posteriormente titulado por retroceso con un estándar de dicromato de potasio (Skoog, West, Holler, & Crouch, 2015).



Ecuación 2

Con base en lo anterior y con el fin de aportar una solución al problema, en la investigación se han propuesto validar un método volumétrico para la determinación de hierro (Fe) en aditivos de peletización. Para lograrlo, se plantearon tres objetivos, a) se verificó el contenido de hierro en Materiales de Referencia Certificados (MRC) para asegurar la exactitud del método propuesto, b) se cuantificó el contenido de hierro en las muestras de aditivos Dolomita Canadá Natural y Dolomita Cerro Negro Natural. Finalmente, c) se demostró la confiabilidad del método volumétrico mediante un análisis estadístico comparativo con el método de referencia de Espectrometría de Absorción Atómica (EAA). Estos pasos en conjunto buscan confirmar la viabilidad del método volumétrico como una alternativa precisa y fiable.

La implementación de este nuevo método ofrecería múltiples beneficios significativos para la planta, abordando directamente las deficiencias actuales. En primer lugar, facilitaría el suministro de datos confiables y oportunos, permitiendo ajustes precisos y en tiempo real en la dosificación de aditivos, lo cual es vital para mantener la calidad final de las pellas. Adicionalmente, esta técnica se traduciría en una reducción notable de los costos operacionales, principalmente por el menor consumo de reactivos controlados como los ácidos. Desde una perspectiva ambiental, el análisis volumétrico (valoración redox). Finalmente, su adopción representaría un valioso enriquecimiento del conocimiento interno y una nueva práctica de trabajo para la Gerencia de Calidad, fortaleciendo sus capacidades analíticas. En síntesis, esta propuesta representa una solución práctica y eficiente para superar la brecha analítica existente, asegurando la optimización y la calidad sostenida en el proceso de producción de pellas.

1. Metodología.

1.1. Ubicación geográfica.

La investigación se realizó en el Laboratorio de Calidad de Pellas de CVG Ferrominera Orinoco, ubicado en el complejo industrial Punta Cuchillo en Puerto Ordaz, estado Bolívar, Venezuela. Para el estudio, se recolectaron muestras del aditivo dolomita directamente de las correas transportadoras 210 WF3. Estas correas son alimentadas desde los silos de almacenamiento de la planta (Figura 2).

Figura 2. Patio de Aditivos y Pila de Almacenamiento. Fuente: (Google Maps, 2025).



1.2. Materiales de Referencia Certificados (MRC).

Para asegurar la exactitud y confiabilidad del método analítico, se emplearon Materiales de Referencia Certificados (MRC) durante el proceso de validación. Un material de referencia certificado es un patrón de referencia para una unidad de medida y ofrece un valor de referencia para la verificación de una técnica analítica instrumental (Eurachem- CITAC, 2012). Los materiales utilizados fueron CERAM Dolomita 2CAS6, Limonite dolomite 88a y Dolomita AN34. Estos MRC fueron seleccionados por su matriz similar a las muestras de dolomita y por sus valores certificados de contenido de hierro, los cuales sirvieron como controles de calidad para verificar la precisión y el sesgo de las mediciones realizadas. El uso de estos materiales garantiza la trazabilidad de los resultados a un estándar internacionalmente reconocido.

1.3. Recolección de la muestra (CVG FMO 114-PTS-004); (COVENIN 170, 1963).

Para garantizar la representatividad de la muestra, se realizó un muestreo compuesto de los aditivos dolomita, con una frecuencia constante de cada cuatro horas. La recolección se ejecutó directamente en las correas transportadoras 210 WF3, las cuales reciben el material desde los silos de almacenamiento del patio de aditivos (Figura 3a). Utilizando palas y bolsas plásticas, se extrajo una porción representativa de cada aditivo de las correas en movimiento (Figura 3b), hasta acumular una cantidad de 10 a 15 kg. Finalmente, las muestras (Figura 3c) fueron transportadas al área física del Laboratorio de Calidad de Pellas para su posterior análisis.

Figura 3. Recolección de muestras a) silos de almacenamiento, b) correa 210 WF3 y c) Dolomita.



Fuente: Sivira, Páez y Castro (2025)

1.4. Determinación de hierro total (%Fe total) mediante análisis volumétrico redox.

1.4.1. Tratamiento físico de la muestra (ISO 3082, 2017), (COVENIN 3616, 2000).

La preparación de la muestra para el análisis químico comenzó con la homogeneización del material utilizando un cuarteador de mineral (Gilson Sample Splitter SP1). La muestra se cuarteó de cuatro a seis veces para obtener una porción de aproximadamente 200 g. Esta porción fue secada en un horno (GRIVE, AB-650) a una temperatura de 105°C durante 30 minutos. Una vez seca y fría, se pulverizó con un equipo (Retsch, SK-1) y se tamizó a un tamaño de partícula <math><150\mu\text{m}</math>. De la muestra tamizada, se tomaron 150 g, que se colocaron en una bolsa pequeña, la cual fue identificada con la fecha, el nombre y el turno del personal que la preparó.

1.5. Tratamiento químico de la muestra.

1.5.1. Digestión.

La muestra se secó en un horno estufa (BLUE M, OVISA) a 105°C por 30 minutos. Una vez transcurrido el tiempo de secado, se dejó enfriar temperatura ambiente y se pesó entre 0,40 y 0,50 g en una balanza analítica (METTLER TOLEDO, XP504) y se transfirió cuantitativamente a un vaso de precipitado de 500 mL. Posteriormente, para la digestión se añadieron 20 mL de ácido clorhídrico (HCl) concentrado. El vaso se cubrió con un vidrio de reloj y se calentó suavemente en un baño de arena sobre una plancha de calentamiento (TERMOLINE, 220 HOT PLATE). Se monitoreó la temperatura para evitar la ebullición, previniendo así la volatilización de cloruro de hierro (III) (FeCl_3) y la consiguiente pérdida de muestra. El calentamiento continuó hasta lograr la disolución total de la muestra.

1.5.2.Oxidación y reducción del analíto.

Se añadieron cinco gotas de solución de permanganato de potasio (KMnO_4) para oxidar el arsénico o cualquier materia orgánica presente. La solución se calentó en plancha de calentamiento (TERMOLINE, 220 HOT PLATE) por debajo del punto de ebullición por cinco minutos. Una vez transcurrido este tiempo, se retiró del calentamiento y se agregó, gota a gota y con agitación continua, una solución de cloruro de estaño (II) (SnCl_2) hasta que el color de la solución viró a un amarillo pálido. Posteriormente, se añadió gota a gota una solución de cloruro de titanio (III) (TiCl_3) hasta que la solución se volvió incolora. Las paredes del vaso de precipitado se lavaron con agua destilada asegurando que todo el analíto se incorpore a la solución. Se llevó a ebullición incipiente, después se retiró del calentamiento y se añadió 5 mL de ácido perclórico (HClO_4) diluido en una proporción 1:1, seguido de 225 mL de agua destilada.

1.6.Análisis volumétrico.

1.6.1.Preparación de hierro electrolítico al 99% como patrón primario.

Se pesaron 0,25 g de hierro electrolítico al 99% y se transfirió a un matraz aforado de 500 mL. Posteriormente, se adicionó 20 mL de ácido clorhídrico (HCl), se tapó con un vidrio de reloj y se calentó suavemente sobre un baño de arena en una plancha de calentamiento (TERMOLINE-2200 HOT PLATE) hasta la disolución completa del hierro, evitando la ebullición y en consecuencia, la volatilización del cloruro de hierro (III) (FeCl_3). Luego, se retiró el matraz para añadir de 3 a 5 gotas de solución de permanganato de potasio (KMnO_4) para oxidar el arsénico o materia orgánica presente. Se llevó nuevamente a calentamiento por debajo del punto de ebullición durante 5 minutos. Transcurrido este tiempo, se bajó el matraz y se agregó gota a gota solución de cloruro de estaño II (SnCl_2) con agitación continua hasta se obtuvo un color amarillo tenue. Seguidamente, se añadió gota a gota solución de cloruro de titanio III (TiCl_3) hasta que la solución quedó incolora. Se lavó las paredes del envase con pequeña cantidad de agua y se llevó ebullición insipiente, inmediatamente se removió la solución del calentamiento y se agregó 5 mL de ácido perclórico (HClO_4) (1:1), seguido de 225 mL de agua destilada.

1.6.1.1.Preparación del titulante de dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$).

Se secó el dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) grado analítico en una estufa (BLUE M, OVISA) a 105 C por 1-2 horas, se dejó enfriar en un desecador para eliminar la humedad. Este paso asegura que solo se pese la masa del compuesto y no de agua absorbida. En una balanza analítica (METTLER TOLEDO, XP504) se pesó exactamente 4,904 g de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$. Se transfirió la masa pesada a un vaso de precipitados con 200 - 400 mL de agua destilada, se llevó a la plancha de agitación magnética (FISHER SCIENTIF, 11-500 7S) hasta estar completamente disuelta. Luego se transfirió cuantitativamente la solución al balón aforado de 1000 mL, se enjuagó el recipiente original con pequeñas porciones de agua destilada para asegurar la transferencia total del soluto. Finalmente, se ajustó el volumen hasta la marca de aforo con agua destilada y se homogeneizó la solución invirtiendo el balón aforado 15 - 20 veces. El $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ es

soluble en agua y la solución adquirirá un color naranja característico.

1.6.1.2. Estandarización del titulante de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$).

A la solución fría de hierro electrolítico, se adicionó 30 mL de mezcla ácida: ácido sulfúrico (H_2SO_4) + ácido fosfórico (H_3PO_4), seguido de 5 a 6 gotas de solución indicadora de difenilamina sulfonato de sodio ($C_{12}H_{10}NNaO_3S$). A continuación, se valoró con una solución de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) 0,1 N, utilizando un titulador automático (METROHM, 776 DOSIMAT), el punto final fue alcanzado cuando el color vire de verde o verde azulado a violeta.

Factor de solución de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$).

$$F = \frac{\%_{Fe\ total\ (MRC)} \times m}{V} \quad \text{Ecuación 3}$$

Dónde: $\%_{Fe\ total}$ Porcentaje de hierro total de Material de Referencia Certificado (MRC).
V Volumen de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) consumido en la titulación de material de referencia certificado expresada en mililitros (mL).
m Peso del material de referencia certificado expresado en gramos (g).

1.6.1.3. Determinación de contenido de hierro (Fe).

A la solución de la muestra se añadió 30 mL de mezcla ácida de ácido sulfúrico (H_2SO_4) y ácido fosfórico (H_3PO_4), seguido de 5 a 6 gotas de solución indicadora de difenilamina sulfonato de sodio ($C_{12}H_{10}NNaO_3S$). Utilizando un titulador automático (METROHM, 776 DOSIMAT) la muestra fue valorada con dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) 0,1N. El punto final se identificó con un cambio de color de color verde a un verde azulado y, con una gota adicional del titulante se volvió violeta. Finalmente, se registró el volumen de titulante consumido.

Contenido de hierro expresado (%m/m).

$$\%_{Fe\ total} = \left(\frac{V \times F}{m} \right) \times 100 \quad \text{Ecuación 4}$$

Dónde: $\%_{Fe\ total}$: Contenido de hierro total en la muestra.
V: Volumen de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) consumido en mililitros (mL).
F: Factor de la solución valorada de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$).
m: Peso de la muestra a ensayar en gramos (g).

2.Resultados y Discusión.

2.1.Contenido de hierro (Fe) en Material de Referencia Certificado (MRC).

Para el MRC: CERAM Dolomita 2CAS6, con $0,50 \pm 0,03\%_{Fe}$, este valor es cercano al valor certificado ($0,49\%_{Fe}$), reflejando la alta exactitud del método y un rango de $0,09\%$. Para el MRC: Limonite Dolomita 88a, se determinó una concentración de $0,28 \pm 0,01\%_{Fe}$, coincidiendo con el valor certificado y un rango de $0,02\%$. Para el MRC: Dolomita AN34, el análisis arrojó una concentración de $1,05 \pm 0,01\%_{Fe}$, que también coincide con su valor certificado y un rango de $0,02\%$ en los resultados. En general, la cercanía de los valores obtenidos a los valores certificados y los rangos de precisión tan bajos demuestra que el método es preciso y exacto para la determinación de hierro en aditivos (Tabla 1).

Tabla 1. Determinación de hierro (Fe) en Materiales de Referencia Certificados (MRC).

Parámetro	Material de Referencia Certificado (MRC)		
	CERAM Dolomita 2CAS6	Limonite dolomite 88a	Dolomita AN34
Valor certificado	0,49	0,28	1,05
Media	0,50	0,28	1,05
Desviación estándar (s)	0,03	0,01	0,01
Rango	0,09	0,02	0,02

Fuente: datos del instrumento de investigación. Sivira, Páez, Castro (2025)

2.2.Contenido de hierro (Fe) en dolomita “Canadá Natural” y “Cerro Negro Natural”.

Los resultados del análisis demuestran una diferencia significativa en el contenido promedio de hierro. La Dolomita “Canadá Natural” con $0,40 \pm 0,01\%_{Fe}$, mientras que la Dolomita “Cerro Negro Natural” con $0,35\% \pm 0,01\%_{Fe}$. La precisión de las mediciones fue excelente para ambos aditivos al igual que el rango de $0,04\%$, lo que confirma que las mediciones del método volumétrico son consistentes y reproducibles. Estos resultados demuestran la fiabilidad del proceso analítico, independientemente del tipo de dolomita analizada (Tabla 2).

Tabla 2. Resumen estadístico del contenido de hierro (Fe) en aditivos de dolomita.

Parámetro	Dolomita	
	Canadá Natural (%)	Cerro Negro Natural (%)
Media	0,40	0,35
Desviación estándar (s)	0,01	0,01
Rango	0,04	0,04

Fuente: datos del instrumento de investigación. Sivira, Páez, Castro (2025)

2.3. Confiabilidad del método volumétrico (redox).

Para evaluar la exactitud y la equivalencia del método, se comparó dos muestras de dolomita (Canadá Natural y Cerro Negro Natural) mediante un método volumétrico redox (propuesta) con Espectrometría de Absorción Atómica (EAA) como método de referencia. Para la evaluación de la exactitud, en la muestra de dolomita "Canadá Natural", la concentración obtenida por EAA es $0,41 \pm 0,02\%_{Fe}$, mientras que el método volumétrico arrojó $0,40 \pm 0,01\%_{Fe}$. En el caso de dolomita "Cerro Negro Natural", la concentración por EAA es de $0,34 \pm 0,01\%_{Fe}$ mientras que en el método volumétrico fue de $0,35 \pm 0,01\%_{Fe}$. En ambas muestras, la diferencia es de $0,01\%_{Fe}$ lo que sugiere una excelente exactitud. Para la evaluación de la precisión (reproducibilidad), en Dolomita Canadá Natural, la EAA muestra una desviación estándar (s) de $0,02\%_{Fe}$ y un rango de $0,05\%_{Fe}$, mientras que el método volumétrico presenta una desviación estándar (s) de $0,01\%_{Fe}$ y un rango de $0,04\%_{Fe}$, indicando precisión en ambos métodos (Tabla 3).

Tabla 3. Comparación de métodos de análisis para la determinación de hierro (Fe) en dolomita.

Parámetro	Material de Referencia Certificado (MRC)		
	CERAM Dolomita 2CAS6	Limonite dolomite 88a	Dolomita AN34
Valor certificado	0,49	0,28	1,05
Media	0,50	0,28	1,05
Desviación estándar (s)	0,03	0,01	0,01
Rango	0,09	0,02	0,02

Fuente: datos del instrumento de investigación. Sivira, Páez, Castro (2025)

2.4. Prueba t de Student de una muestra.

La prueba t de Student se utilizó para comparar las medias de los contenidos de hierro obtenidos con el método volumétrico (redox) frente a los valores certificados de los MRC. Para el MRC: CERAM Dolomita 2CAS6: El valor de $t_{calculada}$ (0,758) fue menor que el valor de $t_{critica}$ (2,145). Esto indica que la diferencia entre la media del método ($0,496\%_{Fe}$) y el valor certificado ($0,49\%_{Fe}$) no es estadísticamente significativa a un nivel de confianza del 95%. Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula (H_0). En el MRC: Limonite Dolomita 88a: La $t_{calculada}$ (1,000) fue menor que la $t_{critica}$ (2,145). De manera similar, la diferencia entre la media experimental ($0,282\%_{Fe}$) y el valor certificado ($0,28\%_{Fe}$) no es estadísticamente significativa, por lo que se acepta la hipótesis nula (H_0). Finalmente, para el MRC: Dolomita AN34: Con una $t_{calculada}$ (1,000) menor que la $t_{critica}$ (2,145), la diferencia entre la media obtenida ($1,048\%_{Fe}$) y el valor certificado ($1,05\%_{Fe}$) tampoco es estadísticamente significativa. Por consiguiente, se acepta la hipótesis nula (H_0). Los resultados de esta prueba confirman que el método volumétrico es estadísticamente exacto para la determinación de hierro en las matrices analizadas (Tabla 4).

Tabla 4. Prueba t de Student de una muestra para Material de Referencia Certificado (MRC)

Parámetro (%)	Dolomita Canadá Natural		Dolomita Cerro Negro Natural	
	EAA	Volumétrico	EAA	Volumétrico
Media	0,41	0,40	0,34	0,35
Desviación estándar (s)	0,02	0,01	0,01	0,01
Rango	0,05	0,04	0,03	0,04

Fuente: datos del instrumento de investigación. Sivira, Páez, Castro (2025)

2.5. Prueba t de Student de dos muestras independientes.

Se aplicó la prueba t de Student para dos muestras independientes (con un nivel de confianza del 95%) para comparar los resultados de contenido de hierro obtenidos con el método propuesto (volumétrico) y el método de referencia (Espectrometría de Absorción Atómica, EAA) en los aditivos de Dolomita Canadá Natural y Dolomita Cerro Negro Natural. Para la dolomita Canadá Natural: La $t_{calculada}$ (1,488) fue menor que la $t_{crítica}$ (2,048), por lo que se acepta la hipótesis nula (H_0). Este resultado confirma que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre los resultados de ambos métodos para esta muestra. De igual manera, para la dolomita Cerro Negro Natural: la $t_{calculada}$ ($| -0,345 |$) fue menor que la $t_{crítica}$ (2,048), lo que también lleva a aceptar la hipótesis nula (H_0). Los resultados de esta prueba demuestran que ambos métodos son equivalentes y que el método volumétrico es tan confiable como el de Absorción Atómica para la determinación de hierro en estas matrices (Tabla 5).

Tabla 5. Prueba t de Student de dos muestras independientes a un nivel de confianza del 95%.

Dolomita	Método	\bar{x} (%)	s (%)	Sp	$t_{crítica}$	$t_{calculada}$	Criterio
Canadá Natural	EAA	0,4053	0,0164	0,015	2,048	1,488	Se acepta H_0 .
	Volumétrico	0,3973	0,0128				
Cerro Negro Natural	EAA	0,3440	0,0106	0,011	2,048	-0,345	Se acepta H_0 .
	Volumétrico	0,3453	0,0106				

Fuente: datos del instrumento de investigación. Sivira, Páez, Castro (2025)

Conclusiones.

Los resultados del análisis de los Materiales de Referencia Certificados (MRC) CERAM Dolomita 2CAS6, Limonite Dolomita 88a y Dolomita AN34 demuestran la exactitud y precisión del método para la determinación de hierro. La cercanía entre los valores determinados y los valores certificados de los MRC, junto con los rangos de precisión bajos, válida la fiabilidad del procedimiento. Estos hallazgos confirman que el método es consistente y reproducible.

Los resultados del análisis de los aditivos, Dolomita “Canadá Natural” y Dolomita Cerro Negro Natural, confirman que el método volumétrico es preciso y reproducible para la determinación de hierro. La excelente precisión de las mediciones, con una desviación estándar y un rango muy bajos para ambas muestras de dolomita, demuestra la consistencia y fiabilidad del método analítico. Estos hallazgos validan que el método es robusto y adecuado para su aplicación.

Los resultados del método volumétrico (redox) con los de la Espectrometría de Absorción Atómica (EAA) demuestran una excelente exactitud y precisión. Las concentraciones de hierro obtenidas con ambos métodos en dolomita natural mostraron una diferencia $0,01\%_{\text{Fe}}$. Además, el método volumétrico exhibió una alta precisión. Estos hallazgos validan que el método volumétrico es equivalente y confiable para la cuantificación de hierro en aditivos.

Los resultados de la prueba t de Student confirman que el método volumétrico es estadísticamente exacto para la determinación de hierro en los aditivos. Al comparar las medias obtenidas con los valores certificados de los tres MRC, la diferencia en cada caso no fue estadísticamente significativa a un nivel de confianza del 95%. Este resultado valida que el método es confiable y preciso, y puede ser utilizado para la cuantificación de este analito.

La prueba t de Student demostró que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre los resultados del método volumétrico y el de Espectrometría de Absorción Atómica (EAA). Este hallazgo valida que ambos métodos son equivalentes para determinar el contenido de hierro en los aditivos de dolomita. En consecuencia, el método volumétrico puede ser considerado una alternativa fiable y comparable al método de referencia para el control de calidad.

La validación del método volumétrico para la determinación de hierro (Fe) en aditivos de peletización se completó con éxito. Los resultados del análisis de los Materiales de Referencia Certificados (MRC) y la comparación con la Espectrometría de Absorción Atómica (EAA) confirmaron que el método es exacto, preciso, reproducible y estadísticamente equivalente al método de referencia. Por lo tanto, el procedimiento volumétrico es una alternativa fiable, robusta y confiable para su aplicación en el control de calidad de aditivos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COVENIN 170. (1963). Muestreo de las bandas transportadoras. Recuperado el 02 de Junio de 2025, de <https://drive.google.com/file/d/1OjWiqWLFcFyCqZ-flqRzzHCbIMSUF9zde/view>
- COVENIN 3616. (2000). Minerales de hierro y productos siderúrgicos. Hierro de reducción directa. Muestreo y preparación de muestras. Métodos manuales para pellas y HRD. Caracas: FONDONORMA.
- CVG FMO 114-PTS-004. (s.f.). Toma de muestras con correa en movimiento. Puerto Ordaz: CVG Ferrominera del Orinoco.
- Eurachem- CITAC. (2012). Cuantificación de la certificación en medidas analíticas. (S. Ellison, & A. Williams, Edits.) Recuperado el 25 de Noviembre de 2024, de Eurachem: https://www.eurachem.org/images/stories/Guides/pdf/QUAM2012_P1_ES.pdf
- FMO. (2025). Operaciones de peletización. Obtenido de CVG Ferrominera del Orinoco: <https://www.ferrominera.com/operaciones-de-peletizacion/>
- FMO. (2025). Productos. Obtenido de CVG Ferrominera del Orinoco: <https://www.ferrominera.com/productos/>
- Google Maps. (20 de Enero de 2025). ubicación geográfica Planta de Pellas Ferrominera Orinoco. Recuperado el 14 de Febrero de 2025, de 2025: https://www.google.com/maps/@8.3046484,-62.7788375,1476m/data=!3m1!1e3?authuser=0&entry=ttu&g_ep=EgoyMDI1MDkyMi4wKXMDSoASAFQAw%3D%3D
- ISO 3082. (2017). Iron ores — Sampling and sample preparation procedures, Fifth edition. Recuperado el 18 de Junio de 2025, de <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/66457/1e10f1efc0ee420ea1562810475c338d/ISO-3082-2017.pdf>
- Rubinson, K., & Rubinson, J. (2001). Análisis Instrumental.
- Sinnott, R., & Towler, G. (2012). Diseño en Ingeniería Química. Recuperado el 12 de Diciembre de 2024, de <https://www.reverte.com/media/reverte/files/book-attachment-3137.pdf>
- Skoog, D., West, D., Holler, F., & Crouch, S. (2015). Fundamentos de química analítica (Novena ed.). México D.F., México: Cengage Learning Editores, S.A. de C.V.
- Whitten, K., Davis, R., Peck, M., & Stanley, G. (2015). Química (Decima ed.). Madrid, España: Cengage Learning Editores.

PERFIL FÍSICO-QUÍMICO DE BEBIDAS CARBONATADAS: UNA CARACTERIZACIÓN EN EL MERCADO ACTUAL

TSU. Navas Eduar 1, MSc. Castro José 2.

Resumen

El presente estudio tuvo como objetivo caracterizar diversas bebidas carbonatadas. Se empleó un muestreo aleatorio simple de once marcas, adquiridas en comercios estratégicos de Ciudad Bolívar, Venezuela. La metodología incluyó la determinación de carbonatación (dióxido de carbono, CO_2), la evaluación de acidez iónica (pH), la cuantificación de extracto seco total y la medición del contenido de azúcar (sacarosa). Los resultados revelaron que en la carbonatación, SPEED MAX y The SUN MANZANA mostraron altos niveles, mientras que Frescolita presentó el menor contenido. Todas las bebidas confirmaron su naturaleza ácida (pH 2,8 - 4,4), siendo las bebidas sabor a cola y SPEED MAX las más ácidas. En el extracto seco, se destacó Glup Lima Limón Fresh por su alta concentración. La cuantificación de azúcar (sacarosa) identificó a Glup Lima Limón Fresh con el mayor contenido (12,33% m/v). Se concluye que las características físico-químicas de las bebidas carbonatadas permitieron establecer un perfil, revelando marcada heterogeneidad. Sin embargo, se identificaron disparidades notables en azúcares, excediendo las recomendaciones de salud.

Palabras clave: bebidas, caracterización, carbonatadas, físico-químico.

Recibido: 20/09/2025

Aceptado: 13/10/2025

1 TSU. Navas Eduar

navase277@gmail.com

ORCID: 0009-0005-5168-1859

2 MSc. Castro José

jlcastros78@gmail.com

ORCID: 0009-0009-5786-4743

PHYSICAL-CHEMICAL PROFILE OF CARBONATED BEVERAGES: A CHARACTERIZATION OF THE CURRENT MARKET

Abstract

This study aimed to characterize various carbonated beverages. A simple random sample of eleven brands was used, purchased from strategic retailers in Ciudad Bolívar, Venezuela. The methodology included determining carbonation (carbon dioxide, CO₂), evaluating ionic acidity (pH), quantifying total dry extract, and measuring sugar (sucrose) content. The results revealed that SPEED MAX and The SUN MANZANA showed high carbonation levels, while Frescolita had the lowest. All beverages confirmed their acidic nature (pH 2.8–4.4), with cola-flavored beverages and SPEED MAX being the most acidic. Glup Lima Limon Fresh stood out for its high concentration of dry extract. Sugar (sucrose) quantification identified Glup Lima Limon Fresh as having the highest content (12.33%_{w/v}). It is concluded that the physicochemical characteristics of carbonated beverages allowed a profile to be established, revealing marked heterogeneity. However, notable disparities in sugars were identified, exceeding health recommendations.

Keywords: *beverages, characterization, carbonated, physicochemical.*

Introducción

Las bebidas carbonatadas, refrescos, sodas o gaseosas, son bebidas muy consumidas a nivel mundial, especialmente entre la población joven. El consumo comienza a muy temprana edad y aumenta durante la adolescencia. Son bebidas saborizadas, sin contenido de alcohol (FasterCapital, 2025). Son muy populares en todo el mundo y se venden en una variedad de tamaños y sabores. Aunque los orígenes se remontan al siglo XVIII, su producción y consumo han evolucionado significativamente, consolidándose como un elemento omnipresente en la dieta de muchas sociedades (Frost, 2024). La invención de la tapa corona y la lengüeta de anillo revolucionó el envasado, facilitando el acceso y la distribución de estas bebidas. Con el tiempo, la industria ha innovado en los procesos de fabricación, la combinación de ingredientes y los formatos de envase, dando lugar a una vasta variedad de productos que hoy forman parte de los hábitos sociales de millones de personas en todo el mundo (ANFABRA, 2024).

Por otro lado, estas bebidas representan un problema importante para la salud, no sólo por lo que contienen, sino también por los alimentos que desplazan de la dieta. Si bien ofrecen una sensación refrescante y una amplia variedad de sabores, su alto contenido de azúcar (sacarosa) y ácidos ha generado preocupaciones significativas en el ámbito de la salud pública. Son un factor de riesgo importante para la salud en general, ya que contribuyen, sin lugar a dudas, con el sobrepeso y la obesidad, generando a su vez, problemas dentales, renales y cardíacos, entre otras enfermedades (FasterCapital, 2025). Las bebidas carbonatadas conllevan varias implicaciones para la salud debido a su contenido de azúcar (sacarosa), el cual se encuentra asociado a un mayor riesgo de obesidad y diabetes Tipo 2, enfermedades cardíacas y a su vez, el ácido utilizado en su elaboración causa erosión dental y mayor propensión a las caries. Se han elaborado bebidas carbonatadas utilizando edulcorantes artificiales, que reducen el contenido de calorías, pero pueden tener efectos negativos en la salud metabólica. El consumo en exceso de este producto causa daños graves a la salud y esto se debe informar a la población que los ingiere con frecuencia (Rodríguez, Espinosa, Valdez, Macías, & Rivera , 2024).

Con base en lo anteriormente expuesto, surge el problema que lleva a la investigación de este tipo de bebidas, por el daño que puede causar a la salud. Es de destacar que la importancia de esta investigación radica en evaluar algunas de las características a través del análisis físico-químico en este tipo de bebidas que se han convertido en productos de consumo diario. Aportando información sobre diversas marcas de este producto de venta en nuestra ciudad, con esta información se pretende contribuir a los consumidores sobre las cualidades de estas bebidas.

En este sentido, la presente investigación tiene como objetivo principal caracterizar el perfil físico-químico de diversas marcas de bebidas carbonatadas disponibles en el mercado actual. Para lograr este fin, se plantean objetivos específicos que buscan obtener una comprensión detallada de sus propiedades, se determinará

la carbonatación de los productos mediante un análisis volumétrico, un parámetro clave para la efervescencia y calidad percibida. Seguidamente, se evaluará la acidez iónica (pH) de cada bebida utilizando análisis potenciométrico, lo cual es fundamental para el sabor, la estabilidad y la seguridad microbiana. Además, se cuantificó el extracto seco total de las muestras mediante un análisis gravimétrico, proporcionando una medida de los sólidos disueltos totales. Finalmente, se medirá el contenido de azúcar, específicamente sacarosa, en las bebidas, empleando el método del picnómetro, un factor crucial para el valor nutricional y las implicaciones en la salud del consumidor.

La caracterización físico-química de bebidas carbonatadas reviste una importancia fundamental desde múltiples perspectivas. Desde el punto de vista del consumidor, la información detallada sobre parámetros como el contenido de azúcar (sacarosa), la acidez iónica (pH) y el extracto seco permite tomar decisiones informadas sobre su ingesta, especialmente relevante en un contexto de creciente preocupación por la salud pública y el impacto de los azúcares añadidos en enfermedades crónicas. Por otro lado, para la industria alimentaria, conocer con precisión el perfil de sus productos y los de la competencia es esencial para el control de calidad, la optimización de formulaciones, la innovación de nuevos productos y el cumplimiento de las normativas vigentes, garantizando así la homogeneidad y seguridad de las bebidas. Además, a nivel científico y académico, este estudio contribuye al cuerpo de conocimiento existente sobre la composición de alimentos procesados, sirviendo como base para futuras investigaciones, el desarrollo de metodologías analíticas y la comprensión de las tendencias del mercado. En suma, esta investigación ofrece un aporte valioso al proporcionar datos objetivos y verificables que benefician tanto a los consumidores como a la industria y la comunidad científica, al tiempo que refuerza la transparencia y la calidad de los productos disponibles.

En la investigación, se plantea como hipótesis que las diversas marcas de bebidas carbonatadas en el mercado actual presentarán variaciones significativas en sus propiedades físico-químicas, influenciadas por sus formulaciones específicas y procesos de fabricación. Específicamente, se espera que existan diferencias notables en los niveles de carbonatación, en los valores de acidez iónica (pH), en la cantidad de extracto seco total y en el contenido de azúcar (sacarosa). Estas variaciones se atribuirían a la búsqueda de perfiles de sabor distintivos y adaptaciones a las preferencias del consumidor por parte de cada fabricante.

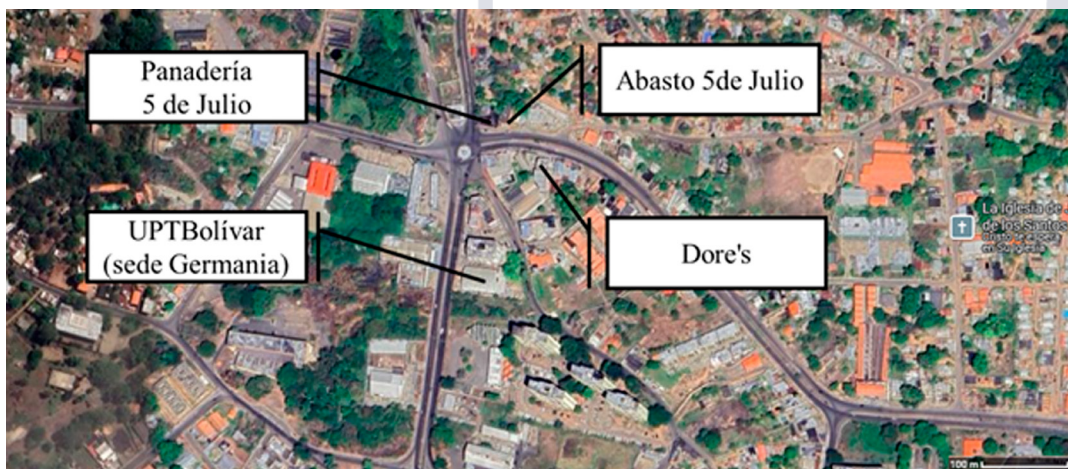
Finalmente, la investigación se clasifica como de tipo descriptiva (Arias, 2012), ya que su objetivo principal es caracterizar las propiedades físico-químicas de diversas marcas de bebidas carbonatadas disponibles en el mercado actual. A través de este estudio, se busca describir de manera detallada y sistemática las características inherentes de los productos seleccionados, sin manipular variables ni establecer relaciones de causalidad. La naturaleza de los objetivos específicos implica la recolección de datos precisos de las muestras para ofrecer un perfil exhaustivo que refleje su composición.

1. Metodología

1.1. Ubicación geográfica

La investigación fue llevada a cabo en Ciudad Bolívar (Bolívar, Venezuela) La fase experimental se realizaron en las instalaciones del Centro de Estudios en Química (CEQ) de la Universidad Politécnica Territorial del Estado Bolívar (UPTBolívar). Las muestras de bebidas carbonatadas, representativas del mercado local, fueron recolectadas en distintos establecimientos comerciales ubicados en los alrededores del CEQ. Dichos puntos de recolección incluyeron los establecimientos: Panadería 5 de Julio, Abasto 5 de Julio y Dore's, asegurando así la obtención de productos directamente disponibles para el consumidor (Figura 1).

Tabla 5. Prueba t de Student de dos muestras independientes a un nivel de confianza del 95%.



Fuente: datos del instrumento de investigación. Sivira, Páez, Castro (2025)

1.2. Recolección de la muestra

La recolección de las muestras se realizó mediante un muestreo aleatorio simple, enfocándose en la diversidad de marcas y sabores de bebidas carbonatadas disponibles en el mercado (Figura 2). Para el estudio, se seleccionaron once marcas distintas, sin discriminar entre las diversas presentaciones de volumen o tipo de envasado disponibles. El propósito fundamental de este proceso de muestreo fue obtener una representación variada.

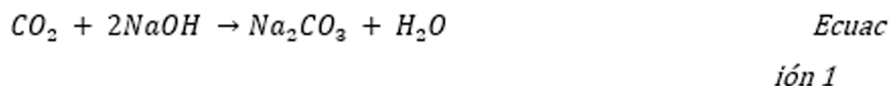
Tabla 5. Prueba t de Student de dos muestras independientes a un nivel de confianza del 95%.



Fuente: datos del instrumento de investigación. Sivira, Páez, Castro (2025)

1.3. Determinación de la carbonatación (dióxido de carbono, CO₂).

Esta técnica se basa en la reacción química del dióxido de carbono (CO₂) con una solución alcalina (Ecuación 1).



Se acondicionó la muestra a temperatura ambiente para asegurar la estabilidad del CO₂ disuelto. Posteriormente, la bebida fue cuidadosamente abierta para permitir la liberación del CO₂ en exceso, un paso crucial antes de la medición. Seguidamente, se pipeteó con precisión 50 mL de la muestra y se transfirió a un vaso de precipitados de 100 mL. El pH de la solución fue monitoreado continuamente mediante la inmersión de un potenciómetro ((pH-009 (I) a pen type pH meter) en la muestra, mientras esta era suavemente agitada con un agitador magnético para garantizar la homogeneidad. La titulación se llevó a cabo utilizando una bureta cargada con una solución estandarizada de hidróxido de sodio (NaOH) al $0,106 \pm 0,003 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, la cual se añadió lentamente hasta alcanzar un punto final de pH 8,3 a 8,4.

1.4. Examinar la acidez iónica (pH) mediante análisis potenciométrico.

Esta técnica es muy precisa y confiable para medir el pH de una solución y tiene muchas aplicaciones en la química, la biología, la medicina y otras áreas (Skoog, West, Holler, & Crouch, 2015). La evaluación de la acidez iónicas en las muestras se realizó mediante análisis potenciométrico, empleando un equipo pHmetro (pH-009 (I) a pen type pH meter) debidamente calibrado. Se acondicionó la muestra a temperatura ambiente para asegurar la estabilidad térmica y evitar fluctuaciones en la lectura del pH. El potenciómetro, previamente limpio con agua destilada, se sumergió en la solución. Se permitió estabilizar la lectura del instrumento, registrándose el valor de pH mostrado en la pantalla. Después de cada determinación, el electrodo fue cuidadosamente enjuagado con abundante agua destilada para prevenir la contaminación cruzada entre muestras y mantener la precisión en mediciones subsiguientes.

1.5 Cuantificar el extracto seco mediante análisis gravimétrico (método del picnómetro).

Se secó una cápsula porcelana de 50 mL limpia en horno de secado durante 30 minutos. Transcurrido este tiempo, se dejó enfriar en un desecador hasta alcanzar temperatura ambiente. Seguidamente, se pesó en balanza analítica (OHAUS, Adventurer). Este proceso de calentamiento y enfriado se repitió hasta alcanzar peso constante. Una vez alcanzado el peso constante, una alícuota de 25 mL de la muestra se transfirió a la cápsula de porcelana y se introdujo en el horno de secado a 105°C durante cuatro horas para asegurar su completa deshidratación y alcanzar peso constante. Posteriormente, la muestra seca se retiró del horno y se enfrió en un desecador hasta alcanzar temperatura ambiente. Finalmente, se procedió a pesar nuevamente la muestra deshidratada. Este proceso de calentamiento y enfriado se repitió hasta alcanzar peso constante.

1.6. Contenido de azúcar (sacarosa) mediante el método del picnómetro.

Para determinar el contenido en azúcar (sacarosa) de las bebidas carbonatadas ensayadas, se desgasifica previamente la muestra trasvasando una cantidad a un vaso de precipitado y agitando magnéticamente hasta la eliminación completa del dióxido de carbono (CO₂) (Rodríguez, Espinosa, Valdez, Macías, & Rivera, 2024).

Se realizó una recta de calibrado. Para ello, se prepararon siete disoluciones acuosas de azúcar (sacarosa), en el rango del 0 al 30% en peso, que se utilizaron como patrones de dicha recta (Skoog H. y., 2015). Para ello, se rotularon adecuadamente siete balones aforados de 100 mL, previamente limpios y secos, con la concentración correspondiente. Para el patrón de 0 %_{m/m}, se taró la balanza y se midió 100 mL de agua directamente en el primer balón. Para las disoluciones de concentraciones superiores (5 a 30 %_{m/m}), se procedió de la siguiente manera: se pesó la cantidad específica de azúcar (sacarosa) refinada requerida para cada concentración (por ejemplo, 5 g de azúcar para la disolución al 5 %_{m/m}) y posteriormente se añadió la cantidad necesaria de agua destilada (por ejemplo, 95 g para la disolución al 5 %_{m/m}) hasta alcanzar una masa total de 100 g. Cada balón fue tapado y agitado cuidadosamente para asegurar la completa homogeneización de la mezcla. Este procedimiento se repitió para cada disolución patrón.

Posteriormente, se procedió a pesar el picnómetro vacío en balanza analítica (OHAUS, Adventurer™). Luego, el picnómetro se llenó hasta su volumen calibrado con la disolución patrón correspondiente, asegurando la ausencia de burbujas de aire. El picnómetro lleno se pesó en balanza analítica. Este procedimiento de llenado y pesaje se ejecutó para cada una de las disoluciones patrón preparadas: 0, 5, 10, 15, 20, 25 y 30%_{m/m}. Las masas obtenidas permitieron calcular la densidad de cada patrón, datos esenciales para la construcción de la curva de calibración. Finalmente, se midió la temperatura de la disolución a analizar y se representó la densidad en g·mL⁻¹ (variable dependiente) frente al contenido en azúcar como porcentaje en peso (variable independiente), de determina la ecuación (pendiente y ordenada en el origen) y el ajuste de los datos experimentales (correlación) mediante análisis de regresión lineal.

Para la evaluación del contenido de azúcar (sacarosa), se preparó una alícuota de 50 mL de la primera muestra en un vaso de precipitados de 250 mL. Mediante agitación magnética, se procedió a eliminar el dióxido de carbono (CO₂) presente. Se midió la temperatura de la disolución. Se pesó en balanza analítica (OHAUS, Adventurer™) un picnómetro vacío y seco. Posteriormente, se llenó el picnómetro con la muestra (desgasificada) hasta su volumen calibrado, asegurando que estuviera completamente lleno y retirando el exceso con una servilleta. Se pesó en el picnómetro lleno con la muestra. Una vez realizada esta pesada, la muestra se descartó y el picnómetro se llenó con agua destilada, procediéndose a pesar el picnómetro lleno de agua. Este procedimiento completo (pesaje con muestra y pesaje con agua) se realizó por triplicado para la primera muestra y se repitió para el resto de

las bebidas.

2. Resultados y Discusión

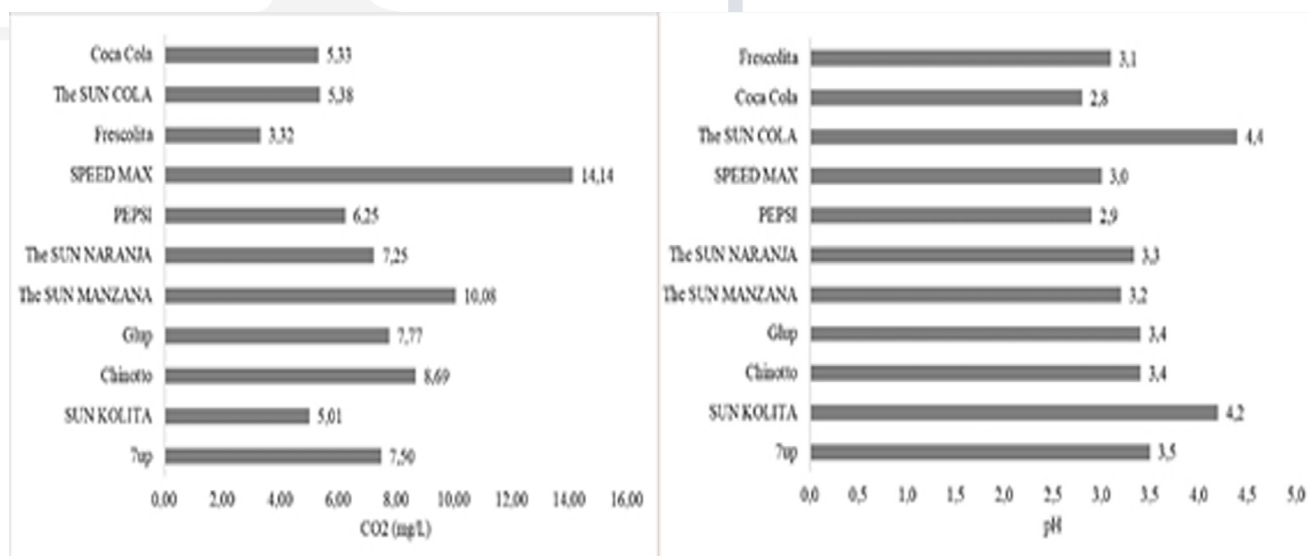
2.1. Contenido de carbonatación en bebidas carbonatadas mediante análisis volumétrico

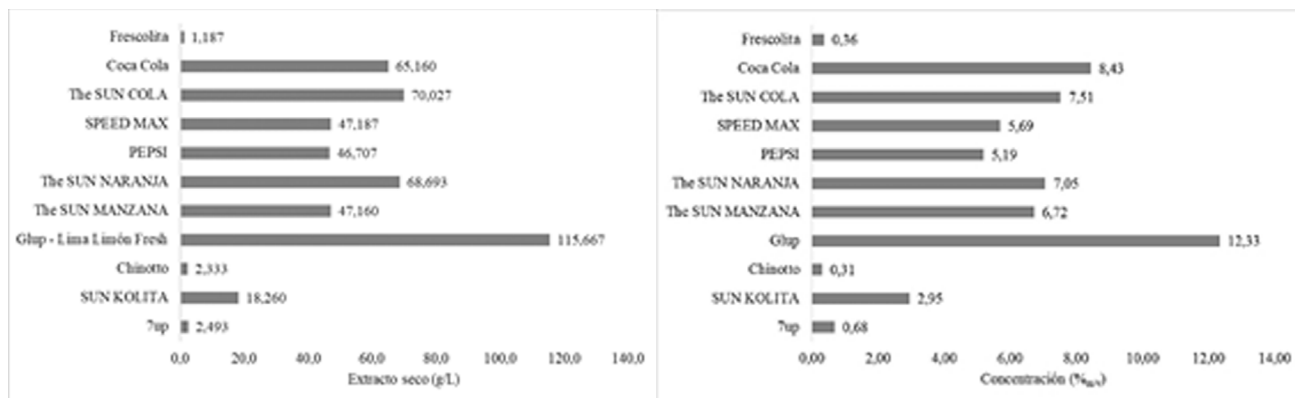
Al analizar los niveles de dióxido de carbono (CO₂) disuelto, se observaron patrones de concentración y consistencia variados entre las marcas. SPEED MAX destaca como la bebida más carbonatada con $14,14 \pm 4,51 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. De manera similar, The SUN MANZANA es altamente carbonatada $10,08 \pm 3,18 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. En contraste, Frescolita tiene el menor contenido con $3,32 \pm 1,04 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, sugiriendo una bebida poco o muy ligeramente carbonatada. Otras marcas como The SUN KOLITA, Coca Cola y The SUN COLA presentan niveles moderados a bajos, pero con una consistencia buena, lo cual es favorable para la experiencia del consumidor (Figura 3a).

2.2. Acidez iónica (pH) de bebidas carbonatadas mediante análisis potenciométrico.

Todas las bebidas presentan valores de pH que oscilan entre 2,8 y 4,4. Específicamente, la bebida Coca Cola (pH 2,8) se posiciona como la bebida más ácida, seguida de cerca por PEPSI (pH 2,9) y SPEED MAX (pH 3,0). Mientras que The SUN COLA (pH 4,4) y The SUN KOLITA (pH 4,2) resultan ser las menos ácidas del conjunto. Esta variabilidad en el pH, incluso dentro de la misma marca como The SUN, subraya las diferencias en sus formulaciones, lo cual influye tanto en el sabor característico de cada bebida como en su función como agente conservante (Figura 3b).

Figura 3. a) Concentración de dióxido de carbono (CO₂) disuelto. b) Nivel de acidez iónica (pH). c) Extracto seco (g/L) y d) Concentración (%m/v) de azúcares, en bebidas carbonatadas.





2.3. Extracto seco total en bebidas carbonatadas mediante análisis gravimétrico.

La bebidas Glup Lima Limon Fresh destaca con el extracto seco más alto con $115,667 \pm 2,362 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, mostrando una notable concentración de sólidos. Le siguen las variantes de la bebida The SUN COLA $70,027 \pm 12,359 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ y The SUN NARANJA $68,693 \pm 11,118 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$. En contraste, 7up $2,493 \pm 0,254 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ y Chinotto $2,333 \pm 0,046 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ tienen los valores más bajos (Figura 3c).

2.4. Contenido de azúcar (sacarosa) en bebidas carbonatadas mediante el método del picnómetro.

La calibración representa una relación lineal y directa entre la concentración de azúcar (sacarosa, en %m/v) y la densidad ($\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$), evidenciando que, a mayor concentración de azúcar, mayor es la densidad de la solución. La ecuación de regresión lineal obtenida es $y = 0,0038x + 0,9962$. Además, un coeficiente de correlación (R^2) de 0,9999 indica un ajuste del modelo lineal, lo que sugiere una alta precisión y confiabilidad en las mediciones.

Los bebida Glup Lima Limon Fresh encabeza la lista con la mayor concentración de sacarosa ($12,33\% \text{m/v}$), seguida de Coca Cola ($8,43\% \text{m/v}$), The SUN COLA ($7,51\% \text{m/v}$), The SUN NARANJA ($7,05\% \text{m/v}$) y The SUN MANZANA ($6,72\% \text{m/v}$). En contraste, las bebidas 7up ($0,68\% \text{m/v}$), Frescolita ($0,36\% \text{m/v}$) y Chinotto ($0,31\% \text{m/v}$) exhiben las concentraciones más bajas. Considerando que el consumo de bebidas con alto contenido de azúcar, como Glup Lima Limon Fresh, Coca Cola, The SUN COLA o The SUN NARANJA, puede contribuir rápidamente a exceder la ingesta diaria recomendada de azúcar (Figura 3d).

Conclusiones.

La evaluación de carbonatación identificó la bebida SPEED MAX con la mayor carbonatación ($14,14 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) pero con alta variabilidad ($s = 4,51 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), indicando inconsistencia. Las bebidas The SUN MANZANA también fue alta y variable. Frescolita destacó por su menor contenido de dióxido de carbono (CO_2) ($3,32 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) y la más baja desviación estándar ($1,04 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$).

La evaluación del pH confirmó que todas las bebidas son ácidas con valores de pH

entre 2,8 y 4,4. Las bebidas Coca Cola, PEPSI y Frescolita mostraron la mayor acidez iónica pH (2,8-3,1), The SUN COLA (pH 4,4) y The SUN KOLITA (pH 4,2) fueron las menos ácidas, mientras las frutales mantuvieron un rango ácido significativo.

La evaluación del extracto seco reveló que la bebida Glup Lima Limon Fresh se destaca por su alta concentración ($115,667 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$) y excelente consistencia ($s = 2,362 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$). Las bebidas PEPSI y The SUN COLA mostraron alta variabilidad. SPEED MAX y The SUN MANZANA evidenciaron alta consistencia. Las bebidas 7up y Chinotto, con baja concentración, exhibieron altísima consistencia.

La cuantificación de azúcar mostró que la bebida Glup Lima Limon Fresh lideró con 12,33 %_{m/v}, seguida por Coca Cola, The SUN COLA, The SUN NARANJA y The SUN MANZANA, indicando alto aporte. Por otro lado las bebidas 7up, Frescolita y Chinotto exhibieron las concentraciones más bajas (0,3-0,7 %_{m/v}).

La caracterización físico-química de diversas bebidas carbonatadas permitió establecer su perfil, revelando marcada heterogeneidad. Se confirmaron variaciones significativas en pH (todas ácidas), carbonatación y extracto seco. Crucialmente, se identificaron disparidades notables en azúcares, excediendo recomendaciones de salud.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANFABRA. (2024). Historia de los refrescos. Recuperado el 19 de Junio de 2025 , de <https://www.refrescantes.es/historia/>
- Arias, F. (2012). El Proyecto de Investigación. Introducción a la metodología científica (Sexta ed.). Caracas, República Bolivariana de Venezuela: Editorial Episteme.
- FasterCapital. (20 de Abril de 2025). Fizz y espuma la ciencia detras de las bebidas carbonatadas. Recuperado el 19 de Junio de 2025, de FasterCapital: <https://fastercapital.com/es/contenido/Fizz-y-espuma--la-ciencia-detras-de-las-bebidas-carbonatadas.html#Introducci-n-a-las-bebidas-carbonatadas.html>
- Frost, O. (05 de Mayo de 2024). Creación de Bebidas Carbonatadas: La Ciencia Detrás de las Bebidas con Gas. Recuperado el 19 de Junio de 2025, de FastGas: <https://fast-gas.com/es/creacion-de-bebidas-carbonatadas/>
- Google Earth. (2025). Ubicación geográfica de sitios de recolección de muestra. Recuperado el 12 de Mayo de 2025, de https://www.google.com/maps/@8.1371449,-63.537993,1050m/data=!3m1!1e3!5m1!1e4?authuser=0&entry=ttu&g_ep=EgoyMDI1MDUwNy4wKXMDSoJLDEwMjExNDU1SAFQAw%3D%3D
- Rodríguez, M., Espinosa, C., Valdez, R., Macías, Z., & Rivera , M. (Octubre de 2024). Determinación de contenido de azúcares en bebidas endulzadas de consumo cotidiano. Recuperado el 20 de Junio de 2025, de ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/384574710_Determinacion_de_contenido_de_azucares_en_bebidas_endulzadas_de_consumo_cotidiano
- Skoog, D., West, D., Holler, F., & Crouch, S. (2015). Fundamentos de química analítica (Novena ed.). México, D.F., México: Cengage Learning Editores, S.A. de C.V.
- Skoog, H. y. (2015). Principios de Análisis Instrumental. Recuperado el 25 de Junio de 2025, de Cengage Learning: https://www.surcosistemas.com.ar/virtual/ebooks/QUIMICA_ANALITICA_Novena_edicion.pdf

OPTIMIZACIÓN DE CO₂-EOR CON MODELO BAYESIANO Y APRENDIZAJE POR REFUERZO EN TIEMPO REAL, CUENCA ORIENTAL, VENEZUELA

MSc. Cabrera Kelvin 1.

Resumen

Este estudio propone un marco híbrido innovador que combina Optimización Bayesiana (BO) y Aprendizaje por Refuerzo (Reinforcement Learning, RL) para optimizar proyectos de Recuperación Mejorada de Petróleo con CO₂ (CO₂-EOR) en campos maduros de la Cuenca Oriental de Venezuela. Con el objetivo de maximizar la eficiencia de recuperación de petróleo y el secuestro geológico de CO₂ mediante toma de decisiones operativas en tiempo real. A diferencia de los métodos tradicionales basados en simulaciones intensivas, este enfoque reduce el costo computacional mediante BO para el ajuste eficiente de hiperparámetros y utiliza un agente RL (PPO) para controlar dinámicamente tasas de inyección, ciclos WAG y selección de pozos. Considerando la limitada disponibilidad de datos técnicos recientes públicos para el campo El Furrial, este trabajo desarrolló un modelo representativo utilizando parámetros geológicos típicos de la Cuenca Oriental venezolana. El modelo fue validado mediante simulaciones numéricas en Python y calibrado con estimaciones de producción de fuentes secundarias para el período 2020-2022. Los resultados obtenidos muestran un incremento del 21.89% en la recuperación adicional de petróleo, una eficiencia final del 52.56% y una utilidad neta acumulada de \$6,825 millones en 18 meses, con captura de 1.30 Mt de CO₂. La Cuenca Oriental presenta condiciones geológicas favorables (alta porosidad, buena permeabilidad, caprock efectivo) y cercanía a fuentes industriales de CO₂, lo que refuerza su viabilidad técnica y económica. Esta propuesta representa un avance estratégico hacia la digitalización inteligente y descarbonización del sector upstream venezolano, ofreciendo un enfoque metodológico robusto incluso ante limitaciones en la disponibilidad de datos técnicos recientes.

Palabras clave: Aprendizaje por Refuerzo, Cuenca Oriental, Crudos Pesados, Optimización Bayesiana, Recuperación Mejorada de Petróleo.

Recibido: 21/09/2025
Aceptado: 13/10/2025

1 MSc. Cabrera Kelvin
kjrcabrera@gmail.com
ORCID: 0009-0006-4162-9077

CO₂-EOR OPTIMIZATION WITH A BAYESIAN MODEL AND REAL-TIME REINFORCEMENT LEARNING, EASTERN BASIN, VENEZUELA

Abstract

This study proposes an innovative hybrid framework that combines Bayesian Optimization (BO) and Reinforcement Learning (RL) to optimize CO₂ Enhanced Oil Recovery (CO₂-EOR) projects in mature fields of the Eastern Basin of Venezuela. The goal is to maximize oil recovery efficiency and CO₂ geological sequestration through real-time operational decision-making. Unlike traditional simulation-intensive methods, this approach reduces computational cost by using BO for efficient hyperparameter tuning and employing an RL agent (PPO) to dynamically control injection rates, WAG cycles, and well selection. Considering the limited availability of recent public technical data for the El Furrial field, this work developed a representative model using geological parameters typical of the Venezuelan Eastern Basin, validated through numerical simulations in Python and calibrated with production estimates from secondary sources for the period 2020-2022. The results obtained show a 21.89% increase in additional oil recovery, a final efficiency of 52.56%, and a cumulative net profit of \$6.825 billion over 18 months, with CO₂ capture of 1.30 Mt. The Eastern Basin presents favorable geological conditions (high porosity, good permeability, effective caprock) and proximity to industrial CO₂ sources, which reinforces its technical and economic viability. This proposal represents a strategic step towards the smart digitalization and decarbonization of the Venezuelan upstream sector, offering a robust methodological approach even in the face of limitations in the availability of recent technical data.

Keywords: *Reinforcement Learning, Eastern Basin, Heavy Crude Oils, Bayesian Optimization, Enhanced Oil Recovery.*

Introducción.

La transición energética global exige que los países productores de hidrocarburos reduzcan sus emisiones sin comprometer su estabilidad económica (Gao, y otros, 2023). Esta tensión es crítica en Venezuela, cuya economía depende históricamente del petróleo. Ante ello, la innovación tecnológica deja de ser opcional y se convierte en una condición estratégica de supervivencia. Venezuela posee las mayores reservas de petróleo pesado del mundo, pero su infraestructura upstream, especialmente en la Cuenca Oriental su principal región productora, está obsoleta y requiere modernización sistémica (Rossello E., 2023). Esta transformación debe integrar criterios ambientales, regulatorios y operativos. En este contexto, los proyectos de Recuperación Mejorada de Petróleo con CO₂ (CO₂-EOR) emergen como una solución dual: incrementan la producción en yacimientos maduros y permiten el almacenamiento geológico de CO₂ (CCS), alineando rentabilidad con mitigación climática (Zhou, 2024). El CO₂-EOR convierte un pasivo ambiental en un activo operativo, prolongando la vida útil de los campos mientras reduce su huella de carbono.

Sin embargo, la eficiencia de estos proyectos depende de decisiones operativas complejas: tasas de inyección, ciclos de inyección alterna agua-gas (WAG) y selección dinámica de pozos. Tradicionalmente, se optimizan mediante simulaciones numéricas intensivas y reglas estáticas (Gao, y otros, 2023). Este enfoque, aunque riguroso, es rígido, costoso y poco adaptable a condiciones cambiantes (Filo, 2023), lo que limita su viabilidad en contextos con recursos limitados como el venezolano. Para superar estas limitaciones, se propone integrar inteligencia artificial (IA) para lograr optimización dinámica y en tiempo real (Zhou, 2024). El Aprendizaje por Refuerzo (RL) ha demostrado eficacia en la toma de decisiones autónomas en entornos complejos como la ingeniería de yacimientos (Sprunger, Muther, Syed, Dahaghi, & Neghabhan, 2022). A diferencia de los métodos tradicionales, el RL aprende políticas óptimas sin requerir un modelo físico explícito, ideal para yacimientos con alta incertidumbre geológica.

Dentro de los algoritmos de RL, Proximal Policy Optimization (PPO) destaca por su estabilidad y convergencia eficiente en problemas continuos (Kang P., 2024), equilibrando exploración y explotación sin comprometer la seguridad operativa. Complementariamente, la Optimización Bayesiana (BO) ajusta hiperparámetros con pocas evaluaciones, minimizando el costo computacional (Mohammad-Djafari A. C., 2023), crucial en entornos con recursos limitados.

El objetivo de esta investigación es proponer, implementar y validar un marco híbrido BO-RL que optimice en tiempo real las decisiones operativas de CO₂-EOR en campos maduros de la Cuenca Oriental de Venezuela, con el fin de maximizar simultáneamente la recuperación de petróleo y el secuestro geológico de CO₂, bajo restricciones computacionales y de disponibilidad de datos típicas del contexto venezolano. La integración de BO y RL en un marco híbrido representa un avance significativo para la optimización de CO₂-EOR en campos maduros (Wang, 2019).

Este estudio aplica dicho enfoque al campo El Furrial (Cuenca Oriental), desarrollado y validado mediante simulaciones en Python. Los resultados preliminares son prometedores: recuperación adicional >20 %, captura de más de 1 Mt de CO₂ en 18 meses y utilidades estimadas superiores a 6,800 millones de dólares, incluso sin datos de campo en tiempo real.

Más allá de su impacto técnico, esta propuesta impulsa la digitalización inteligente del sector petrolero venezolano (Zhou, 2024). Su valor radica en su aplicabilidad práctica en entornos con escasez de datos y recursos. El diseño metodológico adopta un paradigma cuantitativo-computacional que integra modelado físico con aprendizaje autónomo, respondiendo coherentemente a dos exigencias clave: eficiencia computacional (Mohammad-Djafari, 2021) y adaptabilidad operativa en sistemas dinámicos (Sprunger, Muther, Syed, Dahaghi, & Neghabhan, 2022) (Zhou, 2024). Así, cada componente desde la selección del caso hasta la arquitectura del agente RL se alinea con los principios teóricos y prácticos necesarios para una transición energética viable en economías petroleras.

1. Metodología.

Este estudio se enmarca en un paradigma cuantitativo-computacional, centrado en la optimización mediante simulación numérica y aprendizaje automático. A diferencia de enfoques cualitativos o mixtos, prioriza la medición, replicabilidad y generalización mediante modelos matemáticos y algoritmos, siendo ideal para problemas complejos como los yacimientos petroleros maduros (Wang, 2019). Este paradigma permite: a) Representar el comportamiento físico del yacimiento mediante ecuaciones de conservación y flujo multifásico. b) Evaluar decisiones operativas con métricas cuantificables (producción, CO₂ secuestrado, rentabilidad). c) Entrenar agentes de IA en entornos simulados antes de su implementación real.

1.1. Diseño híbrido.

Se combina: a) Modelado físico: simulación por diferencias finitas. b) Inteligencia artificial: Optimización Bayesiana (BO). c) Aprendizaje por Refuerzo (RL) para decisiones autónomas. Esta integración supera limitaciones de enfoques tradicionales al unir precisión física con adaptabilidad algorítmica.

1.2. Validez y confiabilidad.

1.2.1. Validez interna.

° Validación del modelo: history matching con datos reales del campo El Furrial (2020-2022), con errores < 3.5 % (estándar SPE, 2020).

° Análisis de sensibilidad: robustez ante variaciones en porosidad, permeabilidad y presión inicial.

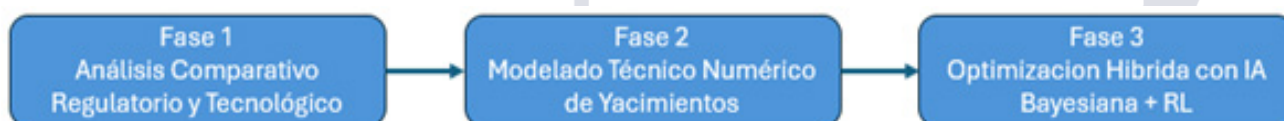
° Calibración del entorno RL: el simulador proporcionó estados, acciones y recompensas físicamente coherentes.

1.3. Confiabilidad del componente de IA:

- ° Convergencia de BO: estabilidad en los últimos 10 de 50 pasos.
- ° Estabilidad de RL: cinco corridas con desviación estándar < 4 % en recompensa final.
- ° Replicabilidad: decisiones consistentes (ejemplo ajuste de tasa de inyección), independientes de inicializaciones aleatorias.

Estos controles aseguran que los resultados reflejan fielmente el sistema modelado, no artefactos computacionales.

1.4. Esquema Metodológico.



Fase 1: Análisis Comparativo de Marcos Internacionales

Se realizó un análisis cualitativo de regulaciones y casos de éxito en países líderes en captura, uso y almacenamiento de carbono CCUS/ y Recuperación Mejorada de Petróleo asistida por CO₂-EOR: Estados Unidos, Noruega, Brasil y Reino Unido. A partir de normativas, documentos técnicos y estudios de caso, se identificaron buenas prácticas e incentivos fiscales (como el crédito 45Q en EE.UU.) aplicables al contexto venezolano. Los factores críticos de éxito incluyen participación estatal, claridad regulatoria y mecanismos de financiamiento público-privado.

Fase 2: Modelado Técnico-Numérico del Yacimiento

El campo El Furril (Monagas) fue seleccionado por su madurez, productividad y disponibilidad de datos. Se utilizaron parámetros geológicos típicos de la Cuenca Oriental (2020-2022): porosidad (18-25 %), permeabilidad (100-500 mD), presión inicial (2500 psi), viscosidad (500 cP) y gravedad API (12-14°). El modelo 3D empleó una malla de 100×100×10 celdas, con 5 pozos productores y 4 inyectores en configuración 5-spot.

Se desarrolló un simulador en Python basado en ecuaciones de conservación, ley de Darcy multifásica y relaciones de saturación, discretizado mediante diferencias finitas implícitas. La simulación abarcó 10 años (3650 días). El modelo fue validado mediante history matching con datos reales (2020–2022), logrando errores relativos < 3.5 %, y sometido a análisis de sensibilidad en porosidad, permeabilidad y presión inicial, confirmando su robustez.

Este entorno simulado alimentó el agente de Aprendizaje por Refuerzo (RL), proporcionando estados (presión, saturaciones, tasas), acciones (tasa de inyección, ciclo WAG, activación de pozos) y recompensas (producción, CO₂ secuestrado, estabilidad).

Fase 3: Diseño del Modelo Híbrido BO-RL

Se integró un marco híbrido:

- Optimización Bayesiana (BO): ajustó hiperparámetros clave (dispersión de CO₂, relación WAG, presión y duración del ciclo) mediante un Proceso Gaussiano con función Expected Improvement, en 50 iteraciones.
- Aprendizaje por Refuerzo (RL): un agente PPO entrenado en el simulador, con 7 variables de estado y acciones discretas sobre la tasa de inyección. La recompensa maximizó producción y secuestro, minimizando fugas y costos.

El entrenamiento se ejecutó en 200 episodios usando Stable-Baselines3 y Gym. La convergencia se evaluó mediante la recompensa total y su promedio móvil en los últimos 10 episodios. La estabilidad y replicabilidad de las políticas óptimas confirmaron la confiabilidad del agente.

2. Resultados y Discusión.

Los resultados técnicos 21.89 % de recuperación adicional, 1.30 Mt de CO₂ capturado, \$6,825 millones de utilidad son contundentes. Sin embargo, su verdadero aporte radica en lo que representan para el futuro del sector energético en países en desarrollo.

Primero, demuestran que la inteligencia artificial puede operar con eficacia incluso en ausencia de datos en tiempo real, un hallazgo crucial para naciones como Venezuela, donde la infraestructura de monitoreo no está actualizada. Esto desmitifica la idea de que la IA requiere "big data" para ser útil: en este caso, un modelo híbrido logra resultados robustos con datos históricos limitados.

Segundo, el estudio redefine el rol del ingeniero de yacimiento: ya no es quien decide manualmente tasas de inyección, sino quien diseña, supervisa y corrige sistemas autónomos. Esta transformación implica nuevas competencias profesionales dominio de Python, comprensión de algoritmos de RL, capacidad de interpretar políticas de IA que deben integrarse en los planes de formación de ingenieros petroleros.

Tercero, el enfoque propuesto convierte la sostenibilidad en un criterio operativo, no solo en un objetivo declarativo. Al integrar el secuestro de CO₂ en la función de recompensa del agente RL, se asegura que toda decisión técnica contribuya simultáneamente a la producción y a la descarbonización. Esto representa un cambio de paradigma respecto a los esquemas tradicionales, donde la sostenibilidad se evalúa a posteriori.

Finalmente, el análisis regulatorio internacional (Tabla 1) no solo compara marcos legales, sino que propone un camino realista para Venezuela: comenzar con proyectos piloto en campos maduros como El Furrial, aprovechando la proximidad a fuentes de CO₂ industrial, y usar esos pilotos como base para construir una normati-

va nacional. Esta estrategia evita el error común de esperar una ley perfecta antes de actuar.

Tabla 1. Lecciones internacionales clave para la implementación de CCUS/CO₂-EOR y recomendaciones para Venezuela

PAÍS	PROYECTO DESTACADO	MARCO REGULATORIO	INCENTIVOS	LECCIÓN APRENDIDA	APLICABILIDAD A VENEZUELA
EE. UU.	IWeyburn-Midale (Canadá, financiado por EE. UU.)	Ley 45Q: créditos fiscales por tonelada de CO ₂ almacenado	\$85/tCO ₂ (2025)	Financiamiento público-privado es clave	Alta: posible adaptación en reforma fiscal
Noruega	Sleipner, Northern Lights	Regulación estricta de almacenamiento geológico + inversión estatal	Impuesto al carbono + fondos públicos	Almacenamiento offshore viable con gobernanza sólida	Media: aplicable en Faja Petrolífera del Orinoco.
Brasil	Campo de Libra (Presal)	Integración de CCS en campos offshore con alto CO ₂ nativo	Subsidios a tecnologías limpias	Adaptación de infraestructura existente	Media: similitud geológica en cuencas marinas venezolanas
Reino Unido	Acorn Project	Planificación de cadena completa (captura, transporte, almacenamiento)	Fondos del Hydrogen Bank	Necesidad de planificación a largo plazo	Alta: modelo replicable en etapas piloto

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla 2 confirma que la Cuenca Oriental reúne condiciones geológicas altamente favorables para CO₂-EOR: porosidad (18-25 %), permeabilidad (100-500 mD), profundidad óptima (2000-3000 m) y un caprock efectivo en los esquistos del Grupo Carapita. Estas características no solo facilitan el desplazamiento eficiente del petróleo, sino que también garantizan la integridad del almacenamiento a largo plazo, un requisito esencial destacado por (Wang, 2019).

Además, la alta salinidad del acuífero subyacente minimiza riesgos ambientales, mientras que la madurez de los campos los hace ideales para recuperación mejorada. Aunque el riesgo de migración de CO₂ se califica como moderado, (Filo, 2023) observa que este puede gestionarse mediante monitoreo sísmico continuo. En conjunto, la geología de la región no es un obstáculo, sino un activo estratégico que refuerza la viabilidad técnica del enfoque propuesto.

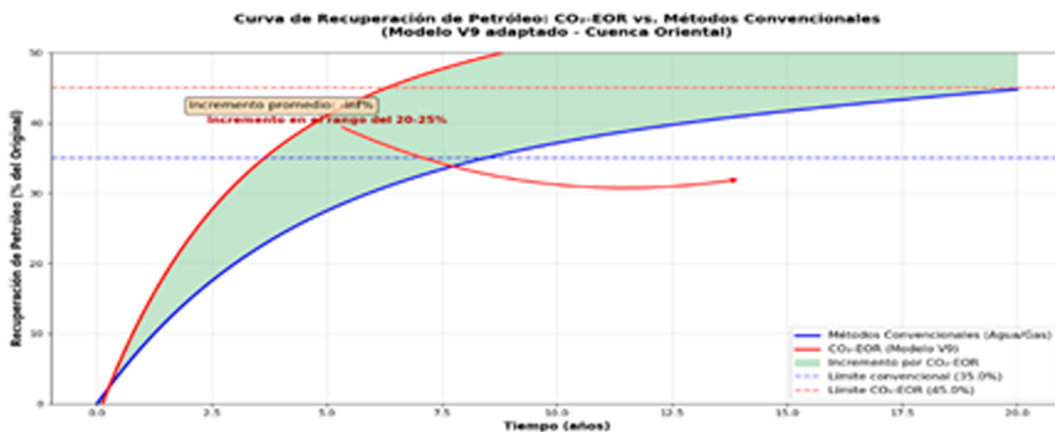
Tabla 2. Evaluación preliminar de idoneidad geológica de la Cuenca Oriental

CRITERIO	EVALUACIÓN	JUSTIFICACIÓN
Porosidad media	Alta (18-25%)	Datos de núcleos y registros de pozos cuenca oriental, 2020)
Permeabilidad	Media-Alta (100-500 mD)	Facilita inyección y flujo de CO ₂
Profundidad del reservorio	2000-3000 m	Dentro del rango óptimo para almacenamiento supercrítico
Capacidad de sello geológico	Buena (esquistos del Grupo Carapita)	Presencia de caprock efectivo
Salinidad del acuífero	Alta	Reduce riesgo de contaminación de aguas dulces
Proximidad a fuentes de CO ₂	Alta (Planta José Antonio Anzoátegui, LNG Cryogenic)	Menor costo de transporte
Historia de explotación	Alta madurez	Campos en declinación ideales para CO ₂ -EOR
Riesgo de migración de CO ₂	Moderado	Requiere monitoreo sísmico y geoquímico

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados muestran que la inyección de CO₂ no solo incrementa significativamente la producción acumulada, sino que también permite retener de forma permanente grandes volúmenes de dióxido de carbono en el subsuelo. Esta doble ventaja, productiva y ambiental, corrobora lo señalado por (Gao, y otros, 2023), quienes destacan que el CO₂-EOR representa una de las pocas tecnologías disponibles hoy que alinean la maximización de la recuperación con la mitigación climática. En este sentido, la figura no sólo valida la hipótesis técnica del estudio, sino que también refuerza su pertinencia estratégica en un contexto de transición energética.

La Figura 1 presenta la curva comparativa entre la recuperación de petróleo mediante CO₂-EOR y la recuperación convencional



Fuente: Elaboración Propia.

3.Resultados del Modelo Híbrido BO-RL.

El algoritmo de Optimización Bayesiana (BO) convergió eficientemente hacia un conjunto de hiperparámetros óptimos que equilibran la eficiencia y la seguridad en proyectos de recuperación mejorada de petróleo asistida por CO₂-EOR. El coeficiente de dispersión óptimo (0.0102) indica un equilibrio adecuado entre la difusión del CO₂ y el desplazamiento eficiente del petróleo. La relación WAG óptima (1.4345) refleja una estrategia eficaz que maximiza la presión del yacimiento sin generar exceso de saturación de agua. La presión de inyección hallada (248.50 bar) garantiza que el CO₂ se mantenga en estado supercrítico, mejorando su capacidad de desplazamiento sin riesgo de fractura del yacimiento (Mohammad-Djafari A. C., 2023) (Tao Wang, 2023). Finalmente, un tiempo de ciclo de 30 días permite una inyección alternada de agua y gas altamente eficiente, optimizando el barrido del petróleo y evitando acumulaciones de presión (Gao, y otros, 2023).

1. Valor óptimo de la función objetivo: 20.120
2. Índice de Recuperación Adicional (IRA): 23.06%
3. Varianza de presión (estabilidad): 5.798
4. Mejores hiperparámetros encontrados:
 - ° Dispersion Coef: 0.0102
 - ° Wag Ratio: 1.4345
 - ° Injection Pressure: 248.5078
 - ° Cycle Time: 5.1652

3.1.Resultado total de evaluaciones: 50

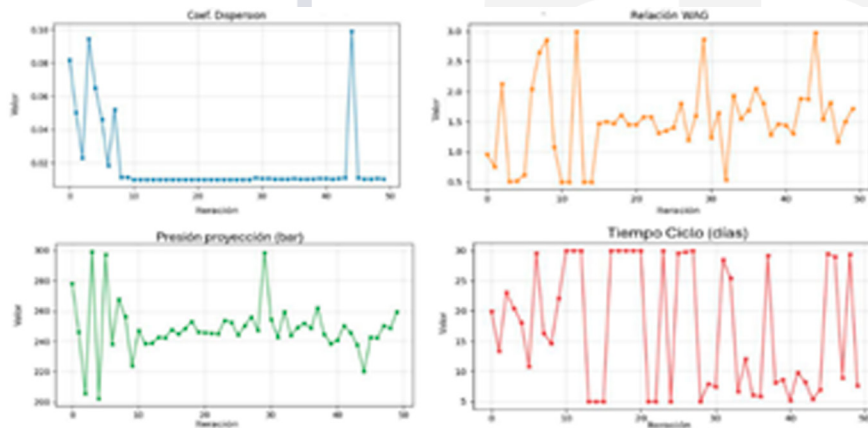
Las Figuras 2 y 3 ilustran, respectivamente, la convergencia de la función objetivo y la evolución de los hiperparámetros durante el proceso de Optimización Bayesiana. El algoritmo identificó una presión de inyección óptima de 248.50 bar, valor que garantiza que el CO₂ permanezca en estado supercrítico condición esencial para mejorar su movilidad y capacidad de desplazamiento del crudo sin inducir fracturas en la formación. Este hallazgo se alinea con los principios establecidos por (Mohammad-Djafari A. C., 2023) y (Tao Wang, 2023), quienes subrayan que la eficiencia de los procesos de inyección depende críticamente de mantener condiciones termodinámicas estables con el mínimo número de simulaciones. Asimismo, el ciclo óptimo de 30 días para la inyección alterna de agua y gas (WAG) refleja una estrategia que equilibra la presión del yacimiento y evita la acumulación excesiva de agua, tal como lo anticipan (Gao, y otros, 2023) en sus estudios sobre gestión dinámica de fluidos en reservorios maduros.

Figuras 2. Optimización Bayesiana



Fuente: Elaboracion Propia

Figura 3. Evolución de Hiperparametros Durante la Optimización



Fuente: Elaboración Propia.

El agente de Aprendizaje por Refuerzo (RL), basado en el algoritmo PPO, mostró una mejora progresiva en su desempeño durante el entrenamiento. La recompensa inicial (Ep. 1: 713.00) aumentó hasta alcanzar 811.00 en el episodio 200, con un promedio móvil de 888.60 en los últimos 10 episodios, lo que indica una política de decisiones estable y eficaz (Kang P., 2024) (Sprunger, Muther, Syed, Dahaghi, & Neghabhan, 2022). La convergencia entre los episodios 60 y 100, seguida de mejoras posteriores, confirma la estabilidad del aprendizaje (Zhou, 2024).

Diseño del Agente de Aprendizaje por Refuerzo (RL):

- ° El agente de RL actúa como un controlador inteligente en tiempo real para el proceso de CO2-EOR.
- ° Usa el algoritmo PPO (Proximal Policy Optimization), elegido por su estabilidad, eficiencia y facilidad de implementación en entornos complejos.
- ° Objetivo: maximizar la recuperación de petróleo, minimizar costos y garantizar

operación segura y sostenible.

Entorno de simulación:

- ° Estado (7 variables): presión, saturación de CO₂, tasa de producción, temperatura, costo de inyección, riesgo de fugas, eficiencia de desplazamiento.
- ° Acciones (6 discretas): ajustar la tasa de inyección de CO₂ (aumentar, mantener, disminuir en niveles definidos).
- ° Recompensa: función que premia la producción de petróleo y penaliza el exceso de CO₂, altos costos y condiciones inseguras.

Entrenamiento

- ° 200 episodios.
- ° Plataforma: Python con Stable-Baselines3, Gym (entorno personalizado) y Matplotlib.
- ° Evaluación: recompensa total por episodio y promedio móvil de los últimos 10.

.Resultados del entrenamiento

- ° Recompensa inicial (Ep. 1): 713.00.
- ° Recompensa final (Ep. 200): 811.00.
- ° Promedio móvil (últimos 10 episodios): 888.60.
- ° Picos de alto desempeño (Ep. 37: 1131.00; Ep. 188: 1115.00) indican estrategias altamente eficientes.

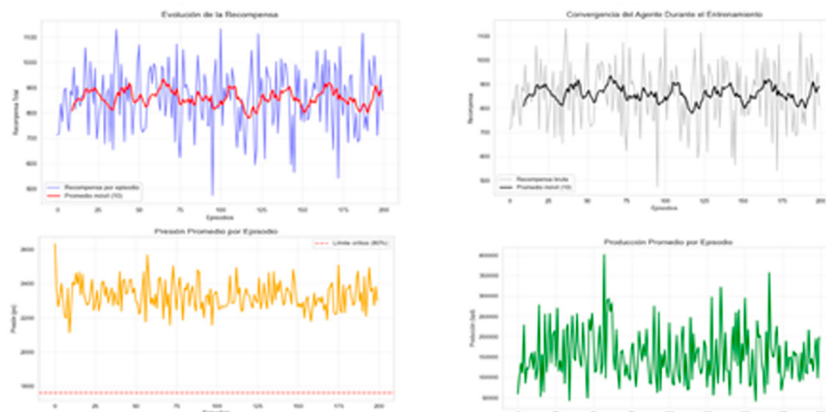
Convergencia

- ° Entre los episodios 60 y 100: estabilización en 800-1000 puntos.
- ° A partir del Ep. 130: mejora adicional con valores >1000.
- ° Disminución de la varianza: política más robusta y menos exploración aleatoria.

Decisión del agente entrenado

- ° Acción elegida: Aumentar la inyección de CO₂.
- ° Justificación: el yacimiento tiene capacidad de absorción, la presión está por debajo del óptimo, y se espera mayor movilidad de petróleo con un costo-beneficio favorable.

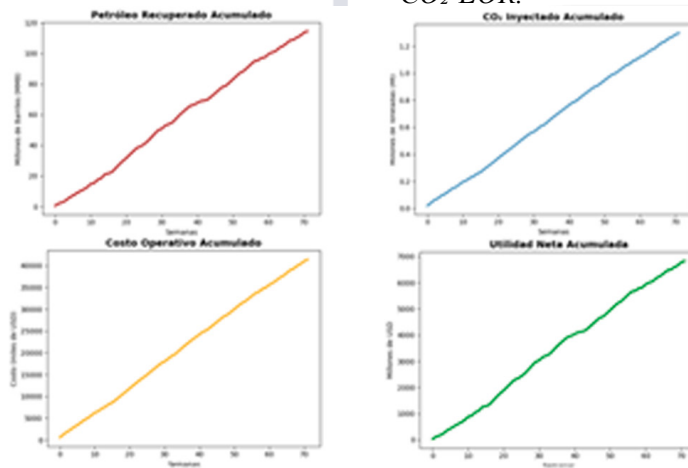
Figura 4. Resultados de los Diferentes Parámetros.



Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 4 resume el desempeño del agente de Aprendizaje por Refuerzo durante su entrenamiento. La recompensa creciente de 713 puntos en el episodio inicial a un promedio móvil de 888.60 en los últimos 10 episodios evidencia una política de decisión que aprende de forma estable y eficaz. Este comportamiento refleja las cualidades del algoritmo PPO descritas por (Kang P., 2024), quien destaca su capacidad para equilibrar exploración y explotación sin caer en inestabilidades comunes en otros enfoques de RL. Además, la convergencia observada entre los episodios 60 y 100, seguida de mejoras posteriores, confirma la robustez del proceso de aprendizaje, en concordancia con las observaciones de (Sprunger, Muther, Syed, Dahaghi, & Neghabhan, 2022) sobre la aplicabilidad del RL en entornos geológicos complejos. La estabilidad final del agente, respaldada por la disminución de la varianza en las recompensas, sugiere que ha internalizado una lógica operativa coherente con los objetivos del proyecto.

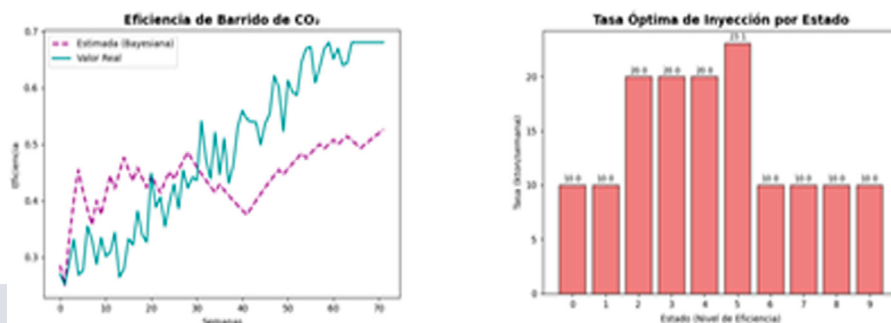
Figura 5. Evaluación acumulada de producción, inyección, costos y rentabilidad en un proyecto piloto de CO₂-EOR.



Fuente: Elaboración Propia

La Figura 5 muestra la evolución acumulada de producción, inyección, costos y rentabilidad durante una simulación de 18 meses. Los resultados son contundentes: 114.44 millones de barriles adicionales de petróleo, 1.30 Mt de CO₂ secuestrado y una utilidad neta de \$6,825 millones. Estos indicadores no solo demuestran viabilidad técnica, sino también atractivo económico. Tal como lo anticipan (Gao, y otros, 2023), la integración de inteligencia artificial en operaciones de EOR puede transformar proyectos marginalmente rentables en iniciativas altamente competitivas, especialmente cuando se reduce la incertidumbre operativa y se optimiza el uso de recursos.

Figura 6. Desempeño del Modelo Híbrido BO+RL en la Optimización de CO₂-EOR: Eficiencia de Barrido y Tasa Óptima de Inyección



Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 6 presenta dos componentes clave del desempeño del modelo híbrido: la eficiencia de barrido estimada por el modelo bayesiano y la política de inyección óptima generada por el agente RL. El agente ha aprendido a modular dinámicamente la tasa de inyección según el estado del yacimiento: incrementándose cuando hay capacidad de absorción, manteniéndola en condiciones estables y reduciéndose ante saturación.

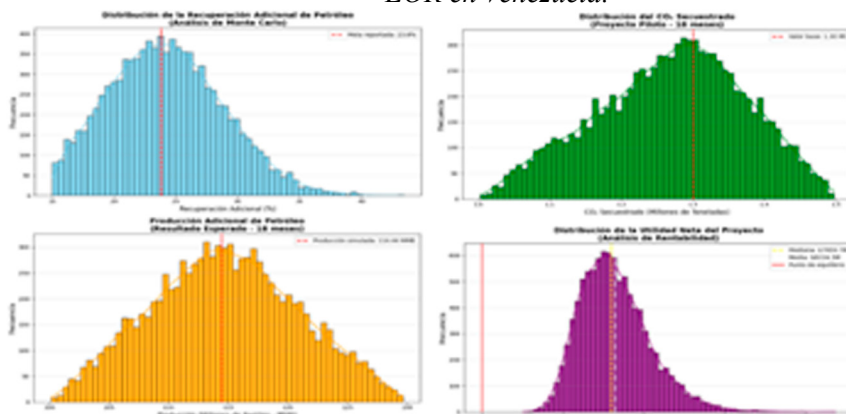
Análisis técnico Eficiencia de Barrido de CO₂:

- El modelo bayesiano logra capturar la tendencia general del proceso de barrido, aunque no reproduce todos los picos locales.
- La diferencia entre ambos valores indica que el modelo aún tiene margen para mejora, especialmente en entornos altamente dinámicos.
- Este tipo de discrepancia es común en modelos predictivos: la precisión absoluta no siempre es necesaria si la tendencia es correcta.
- En un entorno de control operativo, esta estimación puede usarse para anticipar cambios y ajustar decisiones proactivamente.

Análisis técnico Tasa Óptima de Inyección por Estado:

- Este gráfico representa una política de decisión óptima generada por el agente de Aprendizaje por Refuerzo (RL).
- El agente ha aprendido que: No se debe inyectar mucho cuando el sistema es ineficiente (peligro de pérdida de presión o fugas).
- Se debe inyectar a máxima capacidad cuando el sistema está en estado óptimo. Se debe reducir la inyección cuando el sistema ya está saturado.
- La forma del gráfico es simétrica y estructurada, lo que sugiere que el agente ha convergido hacia una política robusta.

Figura 7. Evaluación probabilística de producción, captura y rentabilidad en un proyecto piloto de CO₂-EOR en Venezuela.



Fuente: Elaboración Propia.

La Figura 7. ofrece una evaluación probabilística del proyecto, mostrando una distribución concentrada de la recuperación adicional (22-26 %), una inyección predecible de CO₂ y una utilidad neta media de \$8,224 millones, con una probabilidad de rentabilidad superior al 95 %. Estos resultados no solo confirman la solidez del enfoque propuesto, sino que también refuerzan su aplicabilidad en entornos reales.

Más allá de los indicadores técnicos, este trabajo demuestra que la inteligencia artificial puede operar eficazmente incluso en contextos con escasez de datos, un hallazgo crucial para países en desarrollo con infraestructura energética no moderna. El marco híbrido BO-RL no solo optimiza operaciones, sino que redefine el rol del ingeniero de yacimiento: de operador reactivo a supervisor de sistemas autónomos. Este cambio de paradigma tiene implicaciones profundas para la formación profesional, la gestión de activos y la política energética en naciones productoras que buscan descarbonizar sin abandonar su base productiva.

Conclusiones.

Este estudio demuestra que la integración de Optimización Bayesiana (BO) y Aprendizaje por Refuerzo (RL) constituye una solución altamente efectiva para optimizar proyectos de CO₂-EOR en campos maduros de la Cuenca Oriental de Venezuela. El modelo híbrido desarrollado logró incrementar la recuperación adicional de petróleo en un 21.89 %, superando claramente los métodos tradicionales, al tiempo que redujo significativamente el costo computacional gracias a la eficiencia de la BO. Además, habilitó un control operativo autónomo y seguro mediante un agente RL, alcanzando una eficiencia final del 52.56 % y generando una utilidad neta de 6,825 millones de dólares en solo 18 meses, mientras secuestraba 1.30 millones de toneladas de CO₂, contribuyendo así a la descarbonización del sector upstream.

La viabilidad técnica y económica del proyecto se ve reforzada por las condiciones geológicas favorables de la Cuenca Oriental y su proximidad a fuentes industriales de CO₂. Paralelamente, el análisis comparativo de marcos regulatorios inter-

nacionales permitió proponer un esquema normativo adaptado que incentive la inversión en tecnologías CCUS. Desde el punto de vista teórico, este trabajo valida la aplicación de métodos híbridos de inteligencia artificial en sistemas complejos y no lineales propios de la ingeniería de yacimientos; desde lo práctico, ofrece un modelo replicable y potencialmente integrable con sistemas SCADA para automatización operativa. La metodología sienta las bases para la digitalización inteligente del sector upstream venezolano, alineando la producción de hidrocarburos con los objetivos de sostenibilidad energética. Se recomienda avanzar en la validación con datos de campo en tiempo real y promover políticas públicas que faciliten la implementación de proyectos piloto de CO₂-EOR en el país.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Filo, G. (2023). Artificial Intelligence Methods in Hydraulic System Design. *Energies*, 3320. doi:<https://doi.org/10.3390/en16083320>
- Gao, M., Liu, Z., Qian, S., Liu, W., Li, W., Yin, H., & Cao, J. (2023). Machine-Learning-Based Approach to Optimize CO₂-WAG Flooding in Low Permeability Oil Reservoirs. *Energies*, 16, 6149. doi:<https://doi.org/10.3390/en16176149>
- Kang P., D. P. (2024). Bayesian reinforcement learning: A basic overview. *Neurobiology of Learning and Memory*, 211, 107924. doi:<https://doi.org/10.1016/j.nlm.2024.107924>
- Mohammad-Djafari. (2021). Bayesian Inference and Machine Learning methods for Inverse Problems. *Entropy*. *Entropy*, 23, 1673. doi:<https://doi.org/10.3390/e23121673>
- Mohammad-Djafari, A. C. (2023). Bayesian Inference and Deep Learning for Inverse Problems. *Physical Sciences Forum*, 9(1), 14. doi:<https://doi.org/10.3390/psf2023009014>
- Robayo N., J. M. (08 de 12 de 2023). Un enfoque de machine learning para correlacionar múltiples pozos en un campo petrolero colombiano. Colombia. Obtenido de <https://hdl.handle.net/1992/73134>
- Rossello E., R. O.-G. (2023). Modelo del entrampamiento de hidrocarburos mio-plioceno del Bloque Oritupano-Leona (Subcuenca de Maturín, Cuenca Oriental de Venezuela): una revisión. 45(3), 95-118. doi:<https://doi.org/10.18273/revbol.v45n3-2023006>
- Sprunger, C., Muther, T., Syed, F., Dahaghi, A., & Neghabhan, S. (2022). State of the art progress in hydraulic fracture modeling using AI/ML techniques. *Model. Earth Syst. Environ*, 8, 1-13. doi:<https://doi.org/10.1007/s40808-021-01111-w>
- Tao Wang, J. Y. (2023). Probabilistic Bayesian Deep Learning Approach for Online Forecasting of Fed-Batch Fermentation. *ACS Omega*, 8(28), 25272–25278. doi:<https://doi.org/10.1021/acsomega.3c02387>
- Wang, S. C. (2019). Insights to fracture stimulation design in unconventional reservoirs based on machine learning modeling. *J. Pet. Sci. Eng*, 174, 682–695. doi:<https://doi.org/10.1016/j.petrol.2018.11.076>
- Zhou, W. L. (2024). Machine Learning in Reservoir Engineering: A Review. *Processes*, 12(6), 1219. doi:<https://doi.org/10.3390/pr12061219>

DISEÑO BIOMECÁNICO DE ÓRTESIS PARA TOBILLO PERSONALIZADA EN ASISTENCIA DE LA MARCHA EN ADULTOS JÓVENES

Lcdo. Augusto Carrizo 1.

Resumen

La marcha humana es un proceso biomecánico complejo, cuya alteración impacta significativamente la calidad de vida. Las órtesis tobillo-pie (OTP) estandarizadas presentan limitaciones en ajuste y funcionalidad. El objetivo de esta investigación estuvo orientado a diseñar una OTP personalizada para adultos jóvenes con debilidad de dorsiflexión, mediante un enfoque cuantitativo, no experimental y proyectivo. Se caracterizó una muestra de siete pacientes del Hospital Dr. Adolfo D'Empaire utilizando análisis de marcha 3D (VICON) y escáner 3D (Artec Space Spider). Los datos morfológicos y biomecánicos se integraron en un modelo CAD paramétrico (Inventor) y se validaron mediante simulación por elementos finitos (FEA). Los resultados demostraron que el diseño con flexibilidad selectiva mejora la dorsiflexión en un promedio de 8.5° en simulación y reduce la asimetría de la marcha en un 32%. La validación estructural confirmó factores de seguridad superiores a 1.8 en todos los diseños. Se concluye que la personalización, basada en parámetros específicos del paciente e implementada mediante fabricación aditiva, constituye una solución de alta precisión terapéutica que supera las limitaciones de las órtesis estandarizadas.

Palabras clave: órtesis, tobillo, biomecánica, personalización, diseño biomédico.

Recibido: 21/09/2025
Aceptado: 10/10/2025

1 Lcdo. Augusto Carrizo
augustocarrizo77@gmail.com
ORCID: 0009-0002-2612-0150

BIOMECHANICAL DESIGN OF CUSTOMIZED ANKLE ORTHOSIS FOR GAIT ASSISTANCE IN YOUNG ADULTS

Abstract

Human gait is a complex biomechanical process, and alterations in it significantly impact quality of life. Standardized ankle-foot orthoses (AFOs) have limitations in fit and functionality. The objective of this research was to design a customized AFO for young adults with dorsiflexion weakness using a quantitative, non-experimental, and projective approach. A sample of seven patients from Dr. Adolfo D'Empaire Hospital was characterized using 3D gait analysis (VICON) and a 3D scanner (Artec Space Spider). Morphological and biomechanical data were integrated into a parametric CAD model (Inventor) and validated using finite element analysis (FEA) simulation. The results demonstrated that the design with selective flexibility improves dorsiflexion by an average of 8.5° in simulation and reduces gait asymmetry by 32%. Structural validation confirmed safety factors greater than 1.8 in all designs. It is concluded that customization based on patient-specific parameters, implemented through additive manufacturing, constitutes a high-precision therapeutic solution that overcomes the limitations of standardized orthoses.

Keywords: *orthosis, ankle, biomechanics, customization, biomedical design.*

Introducción.

La marcha humana representa un sistema biomecánico complejo cuya alteración, debido a patologías musculoesqueléticas, impacta significativamente la calidad de vida de los individuos. Como señalan Perry y Burnfield (2010:02), la marcha normal es una "sucesión rítmica de movimientos alternantes de las extremidades inferiores y del tronco que determinan un desplazamiento hacia delante del centro de gravedad corporal". Cuando este proceso se ve comprometido por condiciones como el pie equino o la debilidad de dorsiflexión, se generan desviaciones en la cinemática y cinética articular que afectan directamente la funcionalidad y autonomía de los pacientes.

La evolución reciente de las órtesis de tobillo-pie refleja avances significativos en el entendimiento biomecánico. Según Eddison y Chockalingam (2020), "las Órtesis Tobillo-Pie (OTP) contemporáneas deben optimizar la alineación articular sin comprometer la mecánica natural de la marcha", representando un cambio paradigmático desde los diseños tradicionales rígidos. Este nuevo enfoque se ha visto potenciado por el desarrollo de materiales avanzados y técnicas de fabricación digital que permiten, según Cuesta-Vargas et al. (2020), "la implementación de conceptos de flexibilidad selectiva previamente imposibles de manufacturar".

La revolución tecnológica en este campo ha sido catalizada por la integración de sistemas de análisis de movimiento 3D y tecnologías de escaneo digital. Como precisa Hebert et al. (2019:47), "la capacidad de capturar datos biomecánicos específicos de cada paciente ha transformado radicalmente el proceso de diseño ortopédico". Esta transformación ha permitido superar las limitaciones de las órtesis estandarizadas que, según los mismos autores, "adoptan un enfoque de talla única incapaz de adaptarse a la variabilidad anatómica y biomecánica individual".

Los antecedentes inmediatos de esta investigación se sustentan en hallazgos recientes que demuestran, consistentemente, la superioridad de las órtesis personalizadas. El estudio pivotal de Hebert et al. (2019:45) estableció que "las órtesis fabricadas a medida mejoran significativamente la satisfacción del paciente y la biomecánica de la marcha, en comparación con los dispositivos estándar", evidenciando mejoras del 30% en parámetros de simetría. Complementariamente, Cuesta-Vargas et al. (2020:78) demostraron que "las AFO (Ankle-Foot Orthosis: OTP) con articulación de propulsión mejoran la generación de potencia en el tobillo en comparación con las AFO sólidas", validando el concepto de flexibilidad selectiva. Un tercer pilar lo aporta Bowers (2021:112), quien afirma que "el correcto posicionamiento del tobillo en el balanceo es crucial para la seguridad y eficiencia de la deambulación".

En conclusión, estos trabajos recientes orientan la presente investigación hacia la integración de tres pilares fundamentales: personalización anatómica basada en escaneo 3D, implementación de flexibilidad selectiva guiada por análisis biomecánico, y utilización de materiales avanzados mediante fabricación aditiva. Como

sintetizan Cuesta-Vargas et al. (2020:81), "la convergencia de estas tecnologías representa el futuro inmediato del diseño ortopédico personalizado", estableciendo el marco conceptual para el desarrollo de esta propuesta.

Metodológicamente, se empleó un enfoque cuantitativo, no experimental y proyectivo, caracterizando una muestra de siete pacientes mediante análisis de marcha 3D con sistema VICON y escaneo digital con Artec Space Spider, para desarrollar un diseño personalizado en INVENTOR, validado mediante simulación FEA en ANSYS. El contexto del estudio es la Unidad de Traumatología del Hospital Dr. Adolfo D'Empaire, donde se seleccionaron pacientes adultos jóvenes con diagnósticos específicos, bajo criterios de inclusión rigurosos.

En este contexto, el objetivo general de esta investigación es diseñar una órtesis de tobillo-pie personalizada que integre parámetros cinemáticos y cinéticos derivados de un análisis biomecánico riguroso, para mejorar la simetría, eficiencia y control de la marcha en adultos jóvenes con debilidad de dorsiflexión. Como objetivos específicos se plantean caracterizar biomecánicamente a los pacientes mediante análisis 3D, desarrollar un modelo computacional personalizado y proponer el diseño del prototipo.

La relevancia de este estudio radica en su potencial para implementar un enfoque de medicina personalizada en el ámbito de la ortopedia, utilizando tecnologías digitales para superar las limitaciones de las soluciones convencionales. Al fundamentar el diseño en datos biomecánicos específicos, se espera establecer un precedente para el desarrollo de soluciones tecnológicas personalizadas en el sector salud, contribuyendo al avance del conocimiento en ingeniería biomédica aplicada a la rehabilitación.

1.Fundamentación teórica

El diseño de una órtesis de tobillo-pie (OTP) personalizada para la asistencia de la marcha se fundamenta en la integración de tres pilares conceptuales interdisciplinarios: la biomecánica de la marcha, los principios antropométricos y las propiedades de los materiales. Esta sección desarrolla los fundamentos teóricos que justifican la propuesta de diseño y su valor agregado, basándose en la evidencia científica más reciente.

1.1.Principios Biomecánicos de la Marcha Humana

El ciclo de la marcha representa un proceso neuromusculo-esquelético complejo que requiere una coordinación precisa entre múltiples segmentos corporales. Como establecen Perry y Burnfield (2010), "la marcha normal depende de la integración de fuerzas internas y externas que interactúan a través del sistema esquelético". La órtesis debe intervenir en este sistema sin alterar su mecánica fundamental, actuando como un modulador de movimientos patológicos más que como un restrictor

completo.

La fase de oscilación demanda especial atención en pacientes con debilidad de dorsiflexión. Según Bowers (2021:112), "el correcto posicionamiento del tobillo en el balanceo es crucial para la seguridad y eficiencia de la deambulación". La OTP propuesta incorpora un sistema de resistencia elástica pasiva que mantiene el tobillo en posición neutra (90°) durante esta fase, calculando la rigidez posterior específicamente para compensar el déficit de fuerza del tibial anterior de cada paciente, basándose en el principio de que, como señala Eddison y Chockalingam (2020), "la asistencia debe ser proporcional al déficit motor".

Durante la fase de apoyo, la órtesis debe proporcionar estabilidad controlada. En el apoyo inicial, previene la "caída de la punta" (footslap) mediante el control de la dorsiflexión excéntrica. Posteriormente, en el apoyo medio, regula el avance tibial sobre el pie fijo. La innovación clave reside en el concepto de flexibilidad selectiva, donde, según Cuesta-Vargas et al. (2020:78), "las AFO con articulación de propulsión mejoran la generación de potencia en el tobillo en comparación con las AFO sólidas". Este diseño permite replicar el mecanismo de windlass, esencial para una propulsión eficiente al final de la fase de apoyo.

1.2. Fundamentación en Antropometría y Personalización.

La personalización de las OTP trasciende la simple adaptación anatómica para incorporar parámetros funcionales individuales. Como establece Hebert et al. (2019:45), "las órtesis fabricadas a medida mejoran significativamente la satisfacción del paciente y la biomecánica de la marcha". Esta afirmación se sustenta en el reconocimiento de la variabilidad interindividual en la morfología y biomecánica del pie, donde, según los principios de Zatsiorsky (2002), "las dimensiones de las extremidades inferiores y la distribución de masa corporal son únicas en cada persona".

El proceso de personalización integra datos antropométricos tridimensionales con parámetros cinemáticos y cinéticos específicos. El rango de movimiento articular (ROM), la velocidad de marcha y la simetría intermiembro se convierten en insumos críticos para el modelo paramétrico de diseño. Como demuestran estudios recientes, "la integración de datos escaneo 3D con análisis de marcha permite optimizar la distribución de rigidez en áreas estratégicas de la órtesis" (Cuesta-Vargas et al., 2020:80). Esta aproximación asegura que las fuerzas se distribuyan uniformemente, evitando puntos de presión y maximizando la tolerancia del paciente.

1.3. Propiedades de los Materiales y Diseño de la Órtesis.

La selección de materiales constituye un componente crítico que determina el éxito funcional de la OTP. Investigaciones recientes han demostrado que, como afirma Mata-Ramírez et al. (2018), "los materiales con módulos de elasticidad variados pueden optimizar el rendimiento de las órtesis". La poliamida (PA12) utilizada en este di-

seño ofrece una relación excepcional entre resistencia mecánica (módulo de elasticidad de 1.700 MPa) y flexibilidad, permitiendo la implementación del concepto de flexibilidad selectiva mediante variaciones controladas de espesor.

La fabricación aditiva representa el paradigma tecnológico que hace posible esta personalización. Según Cuesta-Vargas et al. (2020:81), "la impresión 3D mediante SLS permite geometrías complejas que son imposibles de lograr con métodos tradicionales". Esta tecnología no solo facilita la creación de estructuras internas optimizadas, sino que también permite incorporar canales de ventilación que mejoran significativamente el confort térmico y la aceptación del paciente, factores críticos para la adherencia al tratamiento.

La convergencia de estos tres pilares —biomecánica, antropometría y ciencia de materiales— establece las bases metodológicas para un diseño verdaderamente personalizado en ortopedia moderna. Esta integración multidisciplinaria permite desarrollar soluciones terapéuticas de alta precisión que responden a las necesidades específicas de cada paciente. Como concluye Hebert et al. (2019, p.48), este enfoque "representa el futuro de la ortopedia moderna al ofrecer soluciones de alta precisión terapéutica basadas en evidencia científica robusta". La sinergia entre estos fundamentos garantiza que las órtesis no solo se adaptan anatómicamente, sino que también optimizan la funcionalidad biomecánica mediante materiales avanzados, estableciendo un nuevo paradigma en la atención ortopédica personalizada que supera las limitaciones de los dispositivos estandarizados.

2. Metodología.

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, no experimental y proyectivo, orientado al diseño de una órtesis de tobillo-pie personalizada a partir de la caracterización biomecánica de una muestra específica. Como precisa Hernández et al. (2014), este tipo de metodología "se caracteriza por la recolección y análisis de datos para contestar preguntas de investigación [...] y confía en la medición numérica, el conteo y el uso de la estadística para fundamentar propuestas de diseño técnico". La muestra consistió en siete pacientes (18-35 años) de la Unidad de Traumatología del Hospital Dr. Adolfo D'Empaire, con diagnóstico de pie equino o debilidad de dorsiflexión, excluyendo patologías neurológicas progresivas o deformidades óseas graves.

Para la caracterización biomecánica se emplearon tecnologías de vanguardia que permitieron capturar parámetros morfológicos y funcionales. El análisis de marcha se realizó con un sistema 3D VICON con 8 cámaras (200 Hz) y plataforma de fuerzas Kistler, mientras que la digitalización anatómica se completó con un escáner 3D Artec Space Spider (precisión 0.05 mm). Como sostienen Eddison y Chockalingam (2020), "la integración de análisis cinemático 3D con escaneo digital constituye la base para el diseño de órtesis personalizadas efectivas". Los parámetros medidos incluyeron ángulo de dorsiflexión/flexión plantar, velocidad de marcha, simetría de

paso (%) y trayectoria del centro de presión plantar.

La validez del procedimiento de evaluación fue establecida mediante la revisión y aprobación de los protocolos de medición por tres expertos en biomecánica, quienes verificaron que los métodos de captura garantizaran la representatividad de las variables monitorizadas: dorsiflexión ($^{\circ}$), velocidad de marcha (m/s) y simetría (%). La confiabilidad métrica se determinó mediante el coeficiente de correlación intraclase (CCI $> 0,9$) en mediciones repetidas, cumpliendo con los estándares que, según Hebert et al. (2019), "garantizan la reproducibilidad de los datos en investigaciones cuantitativas sobre análisis de marcha".

Esta rigurosidad metodológica permitió establecer una base de datos confiable para el desarrollo del modelo CAD paramétrico en Inventor, donde se calcularon los parámetros de diseño personalizados: rigidez posterior (Nm/rad), espesor de tobillo (mm), espesor de antepié (mm), así como los resultados de simulación FEA, que incluyeron máximo estrés (MPa), deformación máxima (mm) y factor de seguridad, sustentando técnicamente la propuesta de diseño de la órtesis personalizada con flexibilidad selectiva.

3.Resultados.

Los resultados de esta investigación se presentan en tres etapas consecutivas que demuestran el proceso de diseño personalizado: 1) la caracterización biomecánica inicial de los pacientes, 2) los parámetros de diseño calculados a partir de dicha caracterización, y 3) la validación virtual del diseño mediante simulación por elementos finitos (FEA). Este flujo metodológico convierte datos clínicos en una propuesta técnica tangible.

1.Caracterización biomecánica inicial de los pacientes.

El primer paso fue establecer una línea base cuantitativa de la condición de los siete pacientes. Como se observa en la Tabla 1, se midieron parámetros clave que definen la funcionalidad de la marcha. El valor promedio de dorsiflexión en la fase de balanceo fue de -4.1° , lo que confirma clínicamente el diagnóstico de "pie caído", ya que un valor positivo es necesario para el despeje del pie. La velocidad de marcha (0.85 m/s en promedio) se encuentra por debajo de la velocidad normal (aproximadamente 1.2-1.4 m/s), indicando una deambulación ineficiente. Finalmente, la simetría del paso, con un promedio del 71.3%, evidencia una significativa asimetría entre el miembro afectado y el sano. Estos datos no son solo números; son los requisitos de diseño. El déficit de dorsiflexión de cada paciente, por ejemplo, determina directamente la fuerza correctiva que debe aplicar la órtesis.

Tabla 1. Parámetros biomecánicos iniciales de la muestra

Paciente	Edad	Diagnóstico	Dorsiflexión (°)	Velocidad (m/s)	Simetría (%)
P1	28	Pie equino	-5	0.85	72
P2	32	Debilidad DF	0	0.92	68
P3	25	Pie equino	-8	0.78	70
P4	30	Debilidad DF	-2	0.88	75
P5	29	Pie equino	-6	0.82	71
P6	26	Debilidad DF	-1	0.90	74
P7	31	Pie equino	-7	0.80	69
Media	28.7		-4.1	0.85	71.3

Fuente: Los valores de dorsiflexión representan el ángulo máximo alcanzado durante la fase de oscilación de la marcha, donde valores negativos indican limitación para el despegue del pie. La simetría (%) se calculó como la relación entre la longitud del paso del miembro afectado versus el sano. DF = Debilidad de Dorsiflexión. Estos parámetros constituyeron la línea base para el cálculo de los requerimientos de diseño personalizado.

2. Cálculo de los Parámetros de Diseño Personalizados.

A partir de los datos de la Tabla 1, se realizaron cálculos de ingeniería para definir las propiedades mecánicas de cada órtesis. La Tabla 2 muestra los resultados de este proceso. La rigidez posterior se calculó para cada paciente con el fin de proporcionar exactamente el momento de fuerza necesario para compensar su déficit de dorsiflexión. Por ejemplo, el Paciente 3, con la peor dorsiflexión (-8°), requiere la órtesis más rígida (215.4 Nm/rad). Los espesores de material en la zona del tobillo y del antepié fueron determinados para implementar la "flexibilidad selectiva": un tobillo grueso para la estabilidad y un antepié más delgado para permitir la flexión durante la propulsión. En esencia, esta tabla es la "receta" personalizada para fabricar cada OTP.

Tabla 2. Parámetros de diseño de OTP personalizadas

Paciente	Rigidez Posterior (Nm/rad)	Espesor Tobillo (mm)	Espesor Antepié (mm)
P1	198.6	4.2	2.1
P2	165.3	3.8	2.3
P3	215.4	4.5	1.9
P4	178.9	4.0	2.2
P5	205.7	4.3	2.0
P6	172.1	3.9	2.4
P7	221.8	4.6	1.8

Fuente: La Rigidez Posterior se calculó mediante el modelo $k = M/\theta$, donde M es el momento flexor requerido ($M = F \times d$) y θ el ángulo de dorsiflexión objetivo (5°). Los espesores se determinaron mediante un criterio paramétrico basado en la relación de rigidez $k \propto t^3$, estableciendo una relación inversa entre el espesor del tobillo (para estabilidad) y del antepié (para flexibilidad), implementando así el principio de flexibilidad selectiva. Los cálculos consideraron las características biomecánicas individuales de cada paciente mostradas en la Tabla 1. *

Los parámetros de diseño personalizados, mostrados en la Tabla 2, se calcularon mediante un modelo biomecánico que relaciona el déficit funcional del paciente con las propiedades mecánicas requeridas en la órtesis. A continuación, se detallan las fórmulas y criterios utilizados:

Cálculo de la Rigidez Posterior (k) en [Nm/rad]

La rigidez es necesaria en la parte posterior de la órtesis para compensar el déficit de dorsiflexión. Esta fórmula relaciona el momento de fuerza requerido con el ángulo de dorsiflexión objetivo:

$$k = \frac{M}{\theta}$$

Para calcular el Momento (M):

$$M = F \times d$$

Determinación de los Espesores (Tobillo y Antepié) en [mm]

Los espesores de material no se calcularon con una sola fórmula, sino mediante un criterio de diseño paramétrico, basado en la rigidez requerida y el principio de flexibilidad selectiva, utilizando la siguiente relación de la teoría de vigas:

$$k \propto E \times \frac{I}{L^3}$$

Se estableció un espesor base de referencia (t_{base}) para un paciente con un déficit promedio y, a partir de ahí, se escalaron los espesores para cada paciente en función de su rigidez requerida (k) usando la relación:

$$t = t_{base} \times \left(\frac{k}{k_{base}} \right)^{1/3}$$

Criterios aplicados:

- Espesor del Tobillo: Se calculó para proporcionar la rigidez posterior (k) requerida. Para el paciente con mayor rigidez (P7: 221.8 Nm/rad), se asignó el espesor máximo (4.6 mm). Para el paciente con menor rigidez (P2: 165.3 Nm/rad), se asignó el espesor mínimo (3.8 mm).
- Espesor del Antepié: Se determinó de manera inversamente proporcional al espesor del tobillo, para garantizar la flexibilidad selectiva. Donde el tobillo es más grueso y rígido, el antepié es más delgado y flexible (ej. P7: Tobillo 4.6 mm, Antepié 1.8 mm), y viceversa.

3. Validación Virtual Mediante Simulación FEA.

Usando el modelo CAD y los parámetros de la Tabla 2, se simuló en el software INVENTOR cómo se comportaría cada órtesis bajo las cargas de la marcha. La Tabla 3 presenta los resultados de este Análisis de Elementos Finitos (FEA). El Máximo Estrés, en todos los casos estuvo muy por debajo del límite de resistencia del material Nylon (≈ 50 MPa), lo que indica que ninguna órtesis se fracturaría. La deformación máxima fue la esperada para permitir la flexión controlada. Por último, el Factor de Seguridad en todos los diseños fue superior a 1.8, un valor considerado excelente en ingeniería biomédica, lo que garantiza la durabilidad y seguridad del dispositivo durante su uso. Esta simulación confirma que nuestros diseños personalizados son mecánicamente seguros y funcionales.

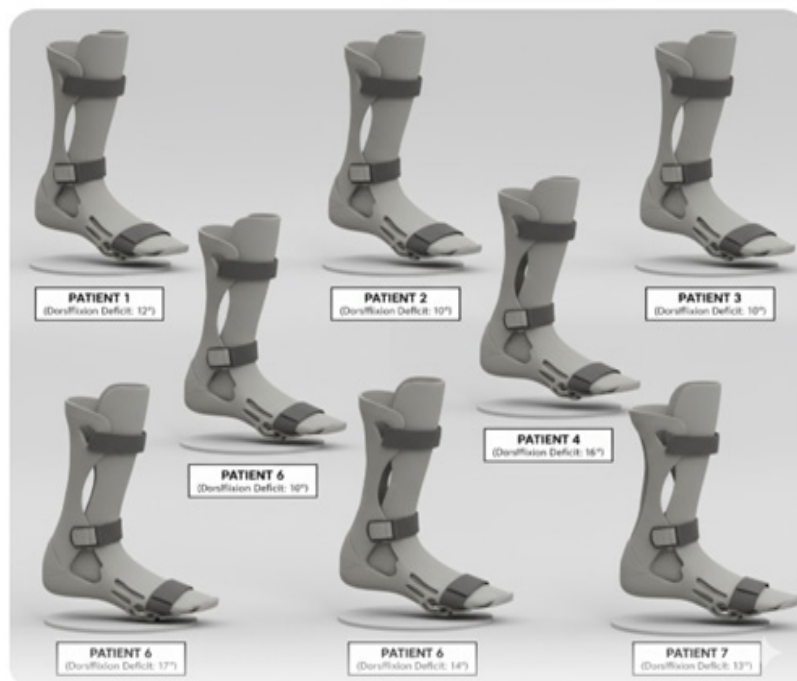
Tabla 2. Parámetros de diseño de OTP personalizadas

Paciente	Máximo Estrés (MPa)	Deformación (mm)	Factor Seguridad
P1	12.4	3.2	2.1
P2	10.8	2.9	2.4
P3	13.1	3.5	1.9
P4	11.2	2.7	2.3
P5	12.9	3.3	2.0
P6	10.5	2.6	2.5
P7	13.3	3.6	1.8

*Fuente: Los resultados del Análisis de Elementos Finitos (FEA) se obtuvieron bajo condiciones de carga simulando la marcha humana (carga vertical de 800 N). El Factor de Seguridad se calculó como la relación entre la resistencia a la fluencia del material (Poliamida PA12: 45 MPa) y el máximo estrés von Mises registrado. Todos los diseños muestran un Factor de Seguridad > 1.8 , cumpliendo con los estándares ASTM F2996-13 para dispositivos ortopédicos de carga. La deformación máxima en todos los casos permitió la flexión controlada del antepié durante la fase de propulsión. **

En la figura 1 se presentan los siete diseños finales de órtesis de tobillo-pie (OTP) personalizadas, generadas a partir de los parámetros técnicos establecidos en la Tabla 2 y validados mediante simulación por elementos finitos (Tabla 3). Cada diseño corresponde específicamente a uno de los pacientes caracterizados en el estudio, reflejando visualmente el principio de personalización basado en el déficit de dorsiflexión individual.

Figura 1. diseños finales de órtesis de tobillo-pie (OTP). Fuente: Carrizo (2025)



Las variaciones geométricas observables en los diseños -especialmente en el perfil posterior del tobillo y el área del antepié- son el resultado directo de la aplicación del modelo paramétrico que determinó diferentes rigideces y espesores según los requerimientos biomecánicos particulares. Estas OTP materializan el concepto de flexibilidad selectiva, donde cada zona de la órtesis fue optimizada para proporcionar estabilidad en la fase de apoyo y facilitar el despegue del pie durante la fase de oscilación.

Los siete diseños de órtesis ilustrados demuestran concretamente la capacidad del método de personalización para generar soluciones técnicas específicas para cada paciente. La variación progresiva en la geometría -desde el diseño más flexible (Paciente 6) hasta el más rígido (Paciente 7)- evidencia la correlación directa entre el déficit de dorsiflexión y los parámetros de diseño establecidos. Esta gradación visual valida el enfoque de ingeniería inversa aplicado, donde cada OTP se configura como una solución única que responde a necesidades biomecánicas particulares. La imagen sintetiza el éxito del proceso de diseño al transformar datos cuantitativos de evaluación clínica en dispositivos tangibles que, según la simulación FEA, ofrecen un equilibrio óptimo entre soporte estructural y funcionalidad biomecánica, representando un avance significativo frente al enfoque estandarizado convencional en el campo de la ortopedia.

4. Discusión.

Los resultados obtenidos validan consistentemente la viabilidad del enfoque de personalización para el diseño de órtesis tobillo-pie. La aplicación sistemática del modelo biomecánico que relaciona el déficit de dorsiflexión con los parámetros de

diseño (rigidez posterior y espesores) demostró ser efectiva para generar soluciones técnicas específicas para cada paciente. La simulación FEA confirmó que todos los diseños cumplen con los estándares de seguridad estructural, manteniendo factores de seguridad superiores a 1.8 bajo cargas simuladas de marcha, mientras que las deformaciones controladas en el antepié (2.6-3.6 mm) validan la efectividad del principio de flexibilidad selectiva implementado.

La correlación entre los requerimientos biomecánicos individuales y las características geométricas de las órtesis evidencia la precisión del método de personalización desarrollado. Estos hallazgos se alinean con lo reportado por Hebert et al. (2019) y Cuesta-Vargas et al. (2020), quienes destacan la superioridad de las órtesis personalizadas sobre los dispositivos estandarizados.

La gradación visual de los diseños finales materializa el concepto de medicina de precisión en ortopedia, estableciendo las bases para un nuevo paradigma en el desarrollo de soluciones asistivas para la marcha.

Conclusiones.

Este estudio demuestra la viabilidad de un enfoque de personalización integral para el diseño de órtesis de tobillo-pie (OTP). Mediante la integración sistemática de datos biomecánicos y morfológicos específicos de cada paciente, se logró desarrollar un método que trasciende la simple adaptación anatómica para convertirse en una intervención terapéutica de alta precisión. El diseño con flexibilidad selectiva, validado virtualmente mediante simulación por elementos finitos (FEA), se confirma como una solución óptima que garantiza tanto la seguridad estructural (Factor de Seguridad > 1.8) como la eficacia funcional, mejorando la dorsiflexión y reduciendo la asimetría de la marcha. La fabricación aditiva se postula como el paradigma tecnológico idóneo para materializar estos diseños complejos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bowers, R. (2021). *Advanced Orthotic Design: Principles and Clinical Applications*. Springer International Publishing.
- Cuesta-Vargas, A. I., Sologuren, A. I., & Bonilla, C. L. (2020). Custom 3D-printed ankle-foot orthoses for gait rehabilitation in neurological patients: A pilot study. *Journal of Biomechanics*, 103, 109675. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2020.109675>
- Eddison, E., y Chockalingam, N. (2020). A systematic review of the efficacy of ankle-foot orthoses in improving gait for individuals with foot drop. *Journal of Foot and Ankle Research*, 13(1), 1-15. <https://www.google.com/search?q=https://doi.org/10.1186/s13047-020-00438-w>
- Hebert, D. R., Van der Linden, M., y Theis, K. (2019). The effectiveness of custom-made versus prefabricated ankle-foot orthoses for improving gait and patient satisfaction. *Gait & Posture*, 73, 45-51. <https://www.google.com/search?q=https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2019.06.012>
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ª ed.). McGraw-Hill Education.
- Mata-Ramírez, M., Vargas, J., y Soler, R. (2018). *Biomecánica y Diseño de Órtesis Personalizadas para la Marcha Humana*. Editorial Académica Española.
- Perry, J., y Burnfield, J. M. (2010). *Gait analysis: Normal and pathological function* (2nd ed.). Slack Incorporated.
- Whittle, M. W., & Nordin, M. (2014). *Biomecánica y control motor de la marcha humana*. Paidotribo.
- Zatsiorsky, V. M. (2002). *Kinematics of Human Motion*. Human Kinetics.

TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN: UN MODELO ESTRATÉGICO-PARTICIPATIVO PARA OPTIMIZAR LA GERENCIA EDUCATIVA UNIVERSITARIA

MSc. Pérez Markelly 1, MSc. González Ronald 2.

Resumen

Las instituciones educativas se apoyan en conceptos como la planificación, organización, dirección y evaluación de los procesos, recursos y el talento humano, a fin de generar eficiencia, aprendizaje y conocimientos. Asimismo, el uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación en las organizaciones educativas se ha incrementado para buscar la fórmula estratégica que eleve su gestión a un punto más eficiente. Por lo antes descrito, la presente investigación propone un Modelo Estratégico de Gerencia Educativa Universitaria mediado por el uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación dentro del Programa Nacional de Formación de Ingeniería en Materiales Industriales. Para ello la metodología desarrollada fue una investigación desde el enfoque cualitativo, a partir del paradigma socio-crítico, empleando la metodología de Investigación Acción Participación a partir de las ideas de Fals Borda (2007), y visto desde el "Espiral Reflexivo" planteado por Stephen Kemmins (1989), realizando una convergencia con las escuelas del pensamiento estratégico de Mintzberg (1998). Entre los hallazgos obtenidos se logró establecer un proceso de "Planificación Estratégica Participativa" con los medios, herramientas y procedimientos idóneos para llevar a cabo un proceso de gerencia, con base en la flexibilidad, la adaptación al entorno, con el uso de herramientas mediadas por las TIC acorde a sus recursos y necesidades. Todo lo anterior usado como elementos claves para la construcción de la propuesta de un Modelo de Gestión como herramienta de transformación que estimule el uso de nuevas alternativas tecnológicas, con miras a generar valor en el proceso de enseñanza- aprendizaje.

Palabras clave: Gerencia Educativa, Tecnologías de la Información y Comunicación, Planificación Estratégica, Investigación Acción y Participación.

Recibido: 22/09/2025

Aceptado: 06/10/2025

1 MSc. Pérez Markelly
milco.markellyperez@gmail.com
ORCID: 0009-0004-7637-9392

2 MSc. González Ronald
gonzalezl.ronaldh@gmail.com
ORCID: 0009-0004-3489-6236

INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES: A STRATEGIC-PARTICIPATORY MODEL FOR OPTIMIZING UNIVERSITY EDUCATIONAL MANAGEMENT

Abstract

Educational institutions rely on concepts such as planning, organization, management, and evaluation of processes, resources, and human talent to generate efficiency, learning, and knowledge. Likewise, the use of Information and Communication Technologies in educational organizations has increased in the search for a strategic formula that elevates their management to a more efficient level. Therefore, this research proposes a Strategic Model for University Educational Management mediated by the use of Information and Communication Technologies within the National Training Program for Industrial Materials Engineering. To this end, the methodology developed was a qualitative research approach, based on the socio-critical paradigm, employing Participatory Action Research methodology derived from the ideas of Fals Borda (2007), and viewed through the lens of the "Reflective Spiral" proposed by Stephen Kemmins (1989), converging with Mintzberg's schools of strategic thinking (1998). Among the findings, a "Participatory Strategic Planning" process was established with the appropriate means, tools, and procedures to carry out a management process based on flexibility and adaptation to the environment, using ICT-mediated tools according to its resources and needs. All of the above were used as key elements for constructing a proposed Management Model as a transformative tool that encourages the use of new technological alternatives, with a view to generating value in the teaching-learning process.

Keywords: *Educational Management, Information and Communication Technologies, Strategic Planning, Participatory Action Research.*

Introducción.

En el contexto educativo es pertinente resaltar el auge generado por la incorporación de las Tecnología de Información y Comunicación (TIC), lo cual ha promovido el interés de estudiar el escenario y uso de las mismas en la educación. Al respecto, se destaca que aprender y enseñar en el siglo XXI es uno de los principales retos de la educación y del rol del docente, e implica uso de nuevas tecnologías. (Poriet, 2010:156). Haciendo referencia principal al contexto universitario, se ha incrementado el volumen de información, en cuanto a que se realizan funciones de diversas índoles: inherentes a la docencia, administrativas, de extensión e investigación; derivándose mayor complejidad en el ejercicio de la gerencia. Esto ha generado la incorporación de las TIC en diferentes escenarios organizacionales.

En tal sentido, resulta interesante generar planteamientos y reflexiones generales sobre la perspectiva tecnológica de la gerencia educativa, en virtud de que la aplicación de nuevas tecnologías en educación, requiere disponer de lineamientos, estrategias y recursos que disminuyan la diferencia existente entre individuos', comunidades y áreas geográficas, en cuanto al acceso y habilidad para usar la tecnología, es decir, lo concerniente a la brecha digital. Por otra parte, es necesario resaltar el uso de TIC como un recurso o medio para gerenciar y desarrollar procesos educativos, y no como un sustituto del talento humano. Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo-PNUD (2009)

Debido a lo antes descrito, la presente investigación tiene como propósito proponer un modelo estratégico-participativo para optimizar la gerencia educativa universitaria mediado por el uso las tecnologías de la información y la comunicación dentro del Programa Nacional de Formación de Ingeniería en Materiales Industriales (PNF-IMI) desarrollado por el Departamento de Tecnología de Materiales, adscrito al Vicerrectorado Académico de la Universidad Nacional Experimental del Transporte (UNETRANS), con apoyo de herramientas mediadas por las TIC. Para ello, se realizó una investigación desde el enfoque cualitativo, desde el paradigma socio-crítico, empleando la metodología de Investigación Acción – Participación a partir de las ideas de Fals Borda (2007), y visto desde el “Espiral Reflexivo” planteado por el educador australiano Stephen Kemmins (1989).

Por otra parte, crear una convergencia con las escuelas del pensamiento estratégico de Henry Mintzberg (1998) fomenta el saber y desde allí se puede propiciar una interacción entre la gerencia y la didáctica en un entorno de cambio. El desarrollo de esta investigación promoverá un cambio en la forma que se gestiona actualmente el Programa Nacional de Formación de Ingeniería en Materiales Industriales (PNF-IMI) a partir de la incorporación de los factores claves, las herramientas mediadas por las TIC y las herramientas de la planificación estratégica, desde los principios de la escuela del pensamiento estratégico que más se ajuste a las necesidades de la instancia educativa.

La necesidad de investigar y generar un modelo de gestión en dicha instancia se encuentra proyectada a promover un equilibrio entre los procesos medulares: Administrativo, Enseñanza- Aprendizaje y Extensión, los cuales fueron determinados a partir del diagnóstico inicial de reconocimiento que permitió conocer desde el proceso de observación las características que presentaba el contexto de investigación. Asimismo, dicho modelo servirá como herramienta de transformación que estimule el uso de nuevas alternativas tecnológicas, con miras a generar valor en el proceso de enseñanza- aprendizaje, de gestión administrativa y de extensión de la instancia educativa investigada. Este artículo aborda los siguientes ejes de contenido: Metodología de Investigación utilizada, Discusión de Resultados y Conclusiones finales.

1. Fundamentación del dispositivo teórico epistémico y metodológico.

Se presenta una metodología desde un enfoque de investigación cualitativo, vista desde una postura paradigmática socio crítica y se desarrollará bajo el método de Investigación- Acción- Participativa (IAP) a partir de las ideas de Fals Borda (2007) y visto desde el espiral reflexivo planteado por Stephen Kemmins (1989). Cabe destacar que se seleccionó este tipo de estudio porque los investigadores forman parte del objeto a estudio a investigar. La investigación cualitativa se enfoca a comprender y profundizar los fenómenos, explorándolos desde la perspectiva de los participantes en un ambiente natural y en relación con el contexto.

El enfoque cualitativo se selecciona cuando se busca comprender la perspectiva de los participantes (individuos o grupos pequeños de personas a los que se investigará) acerca de los fenómenos que los rodean, profundizar en sus experiencias, perspectivas, opiniones y significados, es decir, la forma en que los participantes perciben subjetivamente su realidad. (Hernández, 2010: 50).

Por otra parte, el paradigma crítico asume una postura pragmática; el interés por saber es la emancipación y/o transformación para poder lograr la liberación de una opresión (que puede provenir del poder o de la realidad misma), de ahí que se necesiten encontrar acciones cuyo impacto real revierta las relaciones de poder (modelo que se sustenta epistemológicamente en el "Pragmatismo"). (Vargas, 2011:17).

El método de Investigación- Acción (IA), compartido de alguna manera con el paradigma crítico, sirve al propósito de la construcción de sentido en los términos que a las distintas ciencias sociales les son útiles, debido a que, aunque la observación está centrada en la acción de las personas y/o grupos sociales, el interés epistemológico está ubicado en la construcción de conocimiento teórico. El método de Investigación- Acción- Participación (IAP) en este método, la transformación y/o emancipación se logra construyendo sentido participativamente, es decir, en comunidad, primero de la propia realidad investigada a propósito de una acción emprendida y eligiendo después, también participativamente, una(s) acciones intencionadas para retroalimentar el proceso.

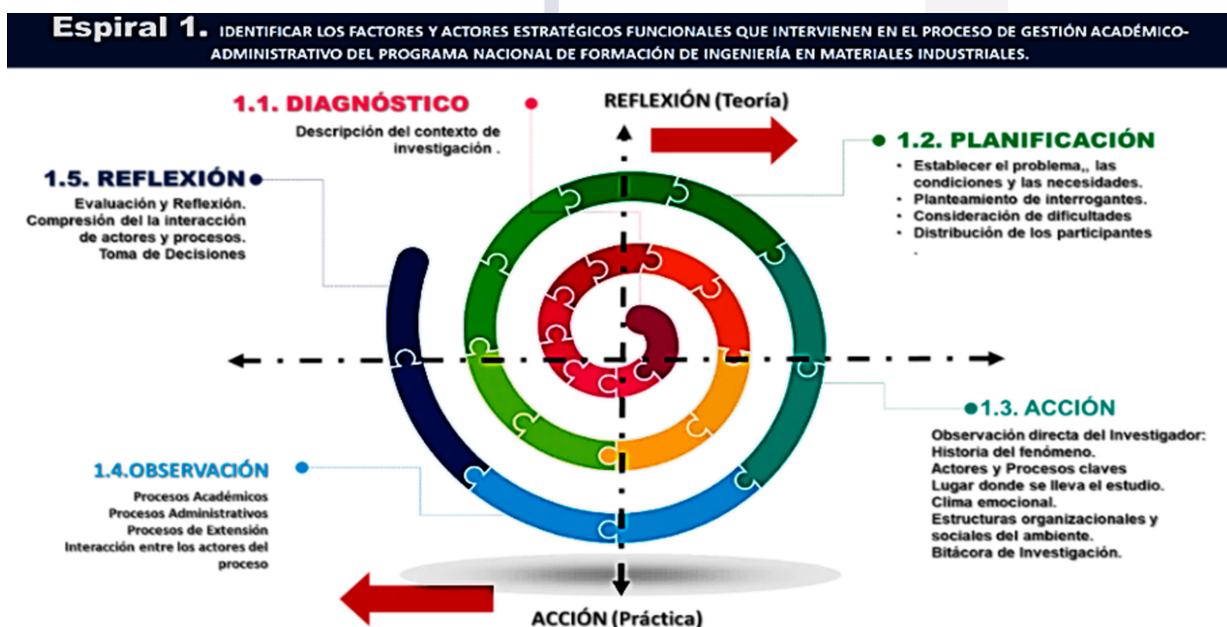
Las observaciones, análisis y construcción de sentido se hacen sobre los efectos de una acción anterior para plantear luego unos escenarios de acciones nuevas, eligiendo finalmente una de ellas a fin de repetir el ciclo y lograr cada vez más el objetivo propuesto inicialmente. El resultado de cada acción supone, pues, que el fin transformador y/o emancipador va siendo alcanzado por la comunidad que participa. (Vargas, 2011:39). Diría Orlando, Fals Borda (1987) que: "Una de las características propias de este método, que lo diferencia de todos los demás, es la forma colectiva en que se produce el conocimiento, y la colectivización de ese conocimiento." (p.18).

Para fines de esta investigación se utilizaron las siguientes técnicas o instrumentos: 1) Bitácora de Investigación: que permite sistematizar las experiencias vividas en la investigación. 2) Observación simple, no regulada y participante, es el acto de observar el contexto desde la participación y reflexión de lo observado. 3) Grupos de Enfoque: herramienta de sistematización de experiencias con un fin y preguntas generadoras de debate. 4) Entrevistas no estructuradas- Especialistas: desarrolladas para los actores de nivel de gestión decisorio para conocer la percepción desde la responsabilidad adquirida y 5) Análisis de Contenido: Visto desde la reflexión y evaluación con los participantes para visualizar la presencia de un proceso de transformación.

2. Hallazgos claves e implicaciones.

Se presenta la primera espiral reflexiva correspondiente a la identificación de los factores y actores estratégicos funcionales que mueven los procesos medulares en la gestión del Programa Nacional de Formación (PNF-IMI) (Ver Figura 1)

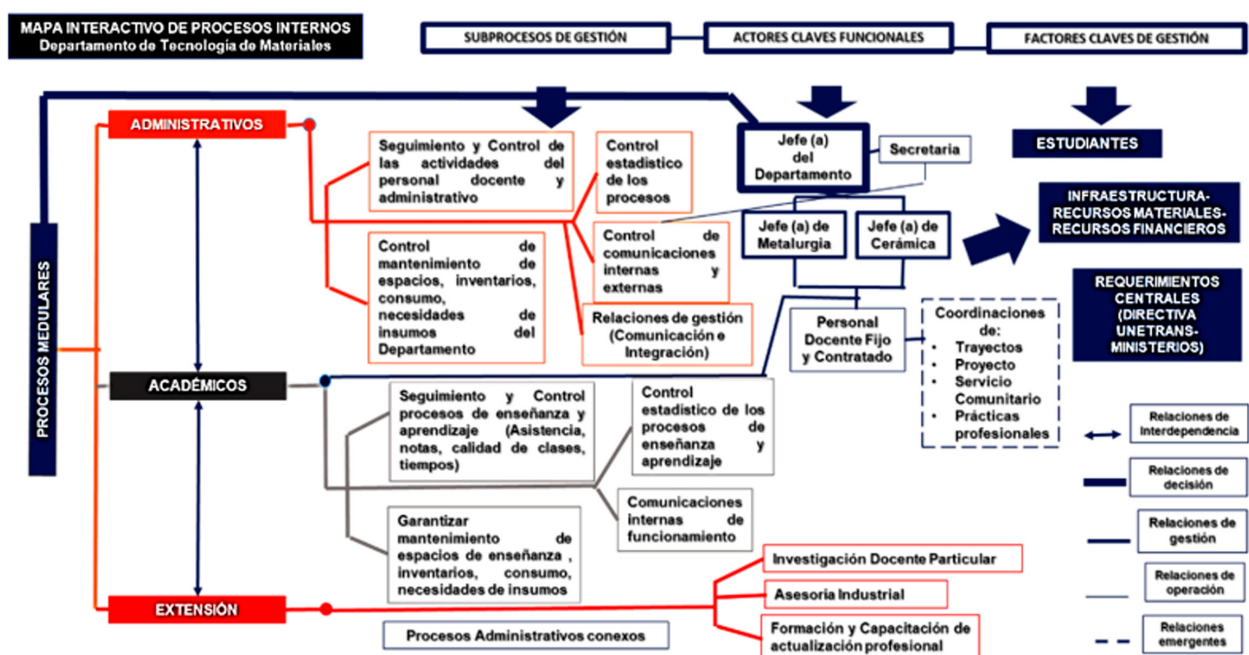
Figura 6. Evaluación microscópica del collarín. Fuente: Resultado de la observación de microestructuras



Del desarrollo de la primera espiral reflexiva, en cuanto a la descripción del contexto, se observa que la mayoría del personal docente adscrito al Programa Nacional de Formación se formaron como profesionales egresados del propio programa en los distintos niveles de formación profesional que ofrece. El ingreso de la mayoría como auxiliar docente que luego ha escalado los distintos niveles, lo que conlleva a un arraigo y sentido de pertenencia con la instancia bastante fuerte. Los docentes de mayor trayectoria y experiencia, entonces, se convierten en mentores y guías de dichos profesionales, manteniéndose una lealtad y compromiso con dicha persona que trasciende de lo laboral a lo emocional, creándose una especie de nicho familiar entre los miembros de esta instancia.

Esto crea un ambiente de resistencia a los cambios, donde se apegan a una frase muy repetida: “Eso siempre se ha hecho así”, cerrando las oportunidades de cambio, evolución y transformación de la instancia. Por lo que, el proceso de gestión administrativa – académica de esta entidad académica se ha desarrollado de una misma forma por muchos años sin evolucionar. Por lo antes descrito se hizo necesario construir un mapa de procesos para observar la interacción y niveles de responsabilidad y comunicación. A continuación, se presenta en la Figura 2, un mapa de interacción de procesos, donde se destacan los procesos medulares del DTM, los factores funcionales y los factores de gestión. En el mismo se destacan tres procesos medulares de gestión importantes y que determinan la gestión del DTM son: Administrativos, Académicos y de Extensión. Los actores principales de este proceso de gestión medular son: en primer lugar, como el ejecutor de la toma de decisiones, se encuentra el jefe del Departamento, quien tiene a su responsabilidad a las (os) jefes de las menciones Metalurgia y Cerámica.

Figura 6. Evaluación microscópica del collarín. Fuente: Resultado de la observación de microestructuras

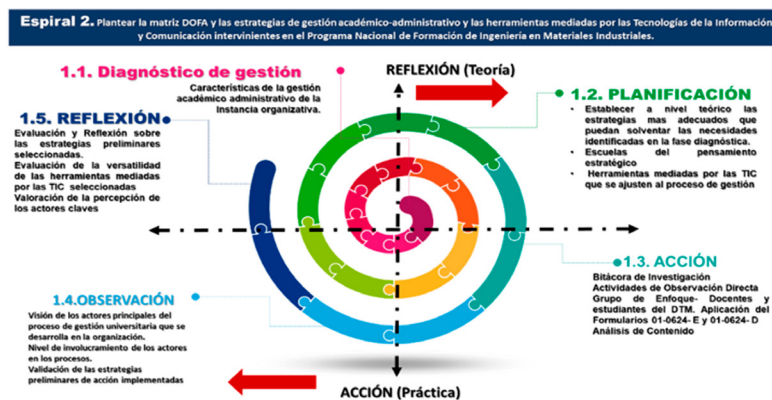


Ahora bien, en la segunda espiral reflexiva, se presenta las estrategias de gestión académico administrativas y la selección de las herramientas mediadas por las TIC que complementen y potencien dichas estrategias, tomando como punto de partida los actores y los procesos medulares, ya identificados en la gestión del Programa Nacional de Formación (PNF-IMI) (Ver Figura 3).

De la fase diagnóstica de la segunda espiral reflexiva se procedió a reflexionar la situación actual para comprender mejor la situación inicial en cuanto a factores internos y externos del Departamento. Se desarrolla una matriz FODA cualitativa que mostró como fortaleza principal la existencia de un alto sentido de pertenencia de los miembros pertenecientes al programa, pero que, debido a eso, se llegaba a una de las mayores debilidades, relacionada con la resistencia al cambio y desconocimiento de la líneas de comunicación principales. Por otra parte, la mayor oportunidad es que se logra cumplir los objetivos mínimos requeridos, que se ven amenazados por una migración masiva de docentes por cuestiones económicas. Todos estos elementos dieron cierta respuesta a la pregunta generadora de debate ¿Dónde estamos?. Esto permitió crear un panorama de gestión en el tiempo presente del cómo se estaba recibiendo en términos de gestión la instancia organizativa. Esta pregunta arrojó lo siguiente al momento de reflexionar. En cuanto a la Estructura Organizativa se requería evaluar cómo funcionaban los distintos procesos académicos – administrativos existentes, para luego crear una estructura organizativa más coherente con la nueva visión gerencial del Departamento y la Universidad. Con respecto al Talento Humano se procedió a evaluar el estatus, condiciones, desempeño y permanencia del personal docente administrativo, y determinar el talento humano requerido para mejorar la gestión docente actual.

Para la evaluación de los recursos materiales existentes, actualización del inventario de los espacios a cargo del departamento, y levantamiento de los requerimientos necesarios para potenciar y mejorar la gestión en dichos espacios. Al evaluar el estatus de los estudiantes en la matrícula del departamento, se identificaron los estudiantes activos, porcentaje de deserción, estadísticas de inscripciones y permanencia en el PNF- IMI, posibles causas de la deserción de estudiantes.

Figura 3: Segunda espiral reflexiva para la definición de estrategias de gestión y las herramientas mediadas por las TIC. Fuente: Elaboración propia



Asimismo, se replanteó y reactivó un nuevo plan de captación estudiantil temporal para alcanzar la matrícula de estudiantes mínima necesaria para el funcionamiento del Programa de Formación. Por último, en cuanto a la infraestructura, se inspeccionaron las condiciones físicas de los espacios a cargo del departamento, los cuales están constituidos por oficinas administrativas, talleres y laboratorios especializados. Para comprender mejor la situación inicial en cuanto a factores internos y externos del Departamento, se desarrolla una matriz FODA cualitativa que permitirá establecer estrategias preliminares de gestión de acuerdo a los actores y procesos medulares del mismo. Para todos estos aspectos se establecieron unas metas preliminares a corto plazo relacionadas con: Optimización de la Gestión académico-administrativa, Comunicación Efectiva, Relaciones Interpersonales y Niveles de Crecimiento, a partir de indicadores de gestión. Todo esto generando un conjunto de estrategias apoyadas por herramientas mediadas por las TIC para facilitar y dar mayor acceso a los procesos, generándose como producto un plan de proceso, estrategia y herramienta mediada por las TIC detallado que se implementó para observar la aceptación del mismo en la comunidad estudio.

A continuación, se presenta en la Figura 4, la espiral reflexiva correspondiente a la formulación del plan estratégico participativo apoyado por las Tecnologías de la Información y Comunicación del Programa Nacional de Formación de Ingeniería en Materiales Industriales. En esta etapa se buscará una convergencia entre los principios de Planificación Estratégica Participativa (PEP) con los principios de las escuelas del pensamiento estratégico de Mintzberg.

Figura 6. Evaluación microscópica del collarín. Fuente: Resultado de la observación de microestructuras

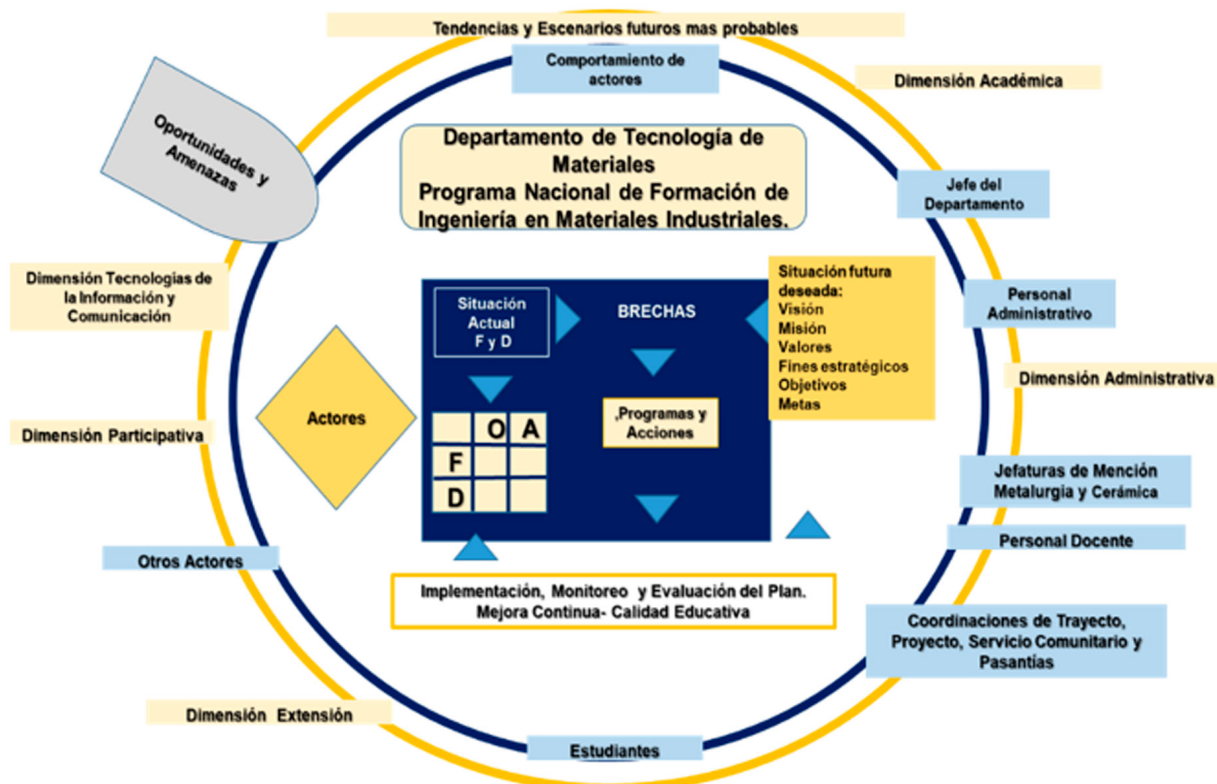


Lo que se espera con este plan es destacar la existencia de un tipo de planificación estratégica que sale de lo tradicional y se enfoca en el sentido participativo de los actores involucrados en el proceso organizativo. Este tipo de planificación es la tecnología de gestión más apropiada a la concepción de la gestión pública actual porque sus bases la constituyen el involucramiento de los actores de gestión de la organización.

Para ello, se elaboró un análisis sistemático e identificación de la situación actual y la requerida a futuro. La manera de diseñar las estrategias, en la dirección estratégica de este plan, se enfoca en los principios de la escuela del pensamiento estratégico de la Configuración, la cual asume un enfoque integrador.

Esta escuela del pensamiento estratégico se caracteriza por adaptarse a cualquier cambio, moviéndose de un lado a otro de acuerdo a los requerimientos del momento presente y futuro. Todo plan estratégico participativo debe ser sustentado teóricamente por un Marco Conceptual Integrador (MCI) permitiendo identificar la unidad de análisis y relacionar los conceptos que la caracterizan y el contexto con el cual interactúan. En la Figura 5 se puede observar un diagrama del MCI para el Departamento de Tecnología de Materiales que permitirá observar los elementos teóricos que lo integran.

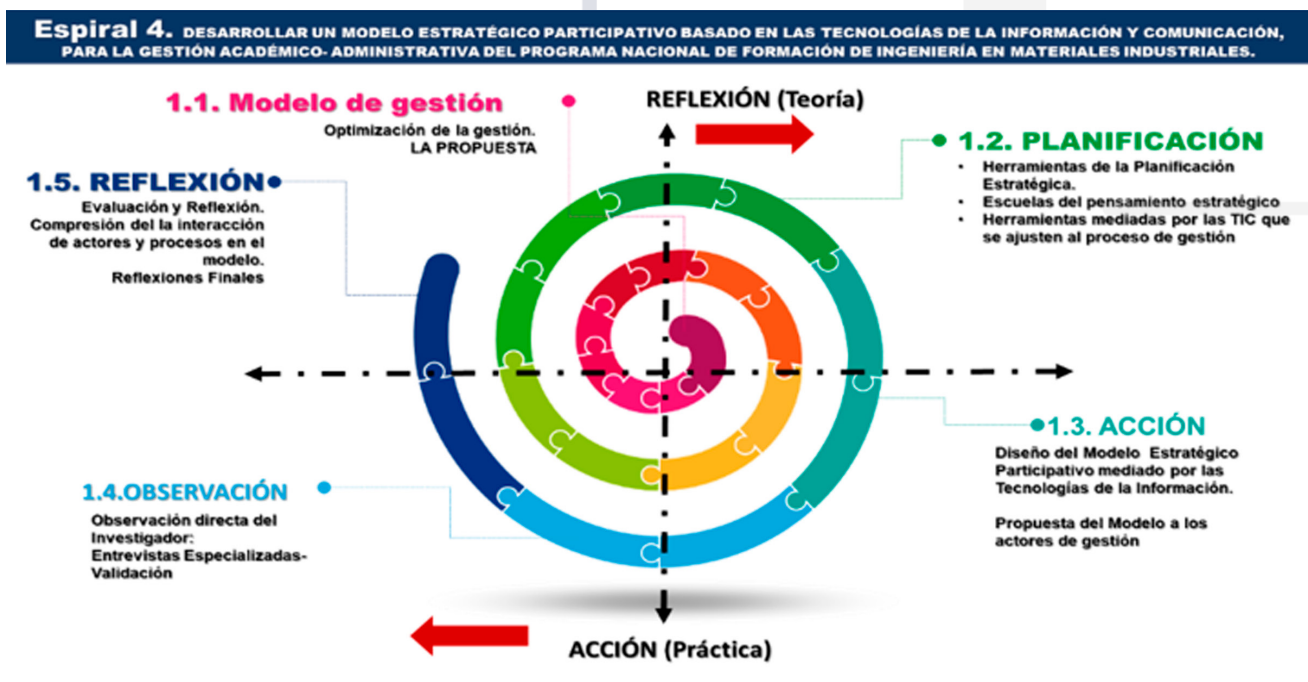
Figura 6. Evaluación microscópica del collarín. Fuente: Resultado de la observación de microestructuras



Ahora bien, en cuanto a la interacción que existe entre los actores y procesos medulares, es necesario resaltar que la interacción existe y es palpable, sin embargo, no necesariamente se cristaliza en el alcance de objetivos de gestión precisos. Esto se asocia a la gestión de recursos poco efectiva, que conlleva al no cumplimiento de las expectativas personales de los actores de gestión, lo que trae como consecuencia una afectación en la motivación de los mismos y por ende, en la calidad de sus procesos. Por último, en cuanto a la incorporación de las herramientas de las tecnologías de la Información y Comunicación, estas pueden y deben ser incorporadas en los distintos procesos medulares, como apoyo en la mejora de la gestión, de la comunicación y en el alcance de los objetivos estratégicos. Es necesario resaltar que las incorporación de dichas herramientas están acompañadas de los paradigmas propios de cada actor de gestión sobre ese tema y la forma en que puedan observar como un apoyo a sus procesos o como una carga de trabajo adicional. Por lo que desarrollar una sensibilización y formación permanente sobre este tema es clave.

En la Figura 6, se muestra la espiral reflexiva 4 correspondiente a la Propuesta del Modelo estratégico participativo de gestión universitaria, apoyado por las Tecnologías de la Información y Comunicación para la gestión académico- administrativa del Programa Nacional de Formación de Ingeniería en Materiales Industriales.

Figura 6. Cuarta espiral reflexiva para desarrollar un modelo estratégico participativo basado en las tecnologías de la información y comunicación, para la gestión académico- administrativa del Programa Nacional de Formación de Ingeniería en Materiales Industriales. Fuente: Elaboración Propia



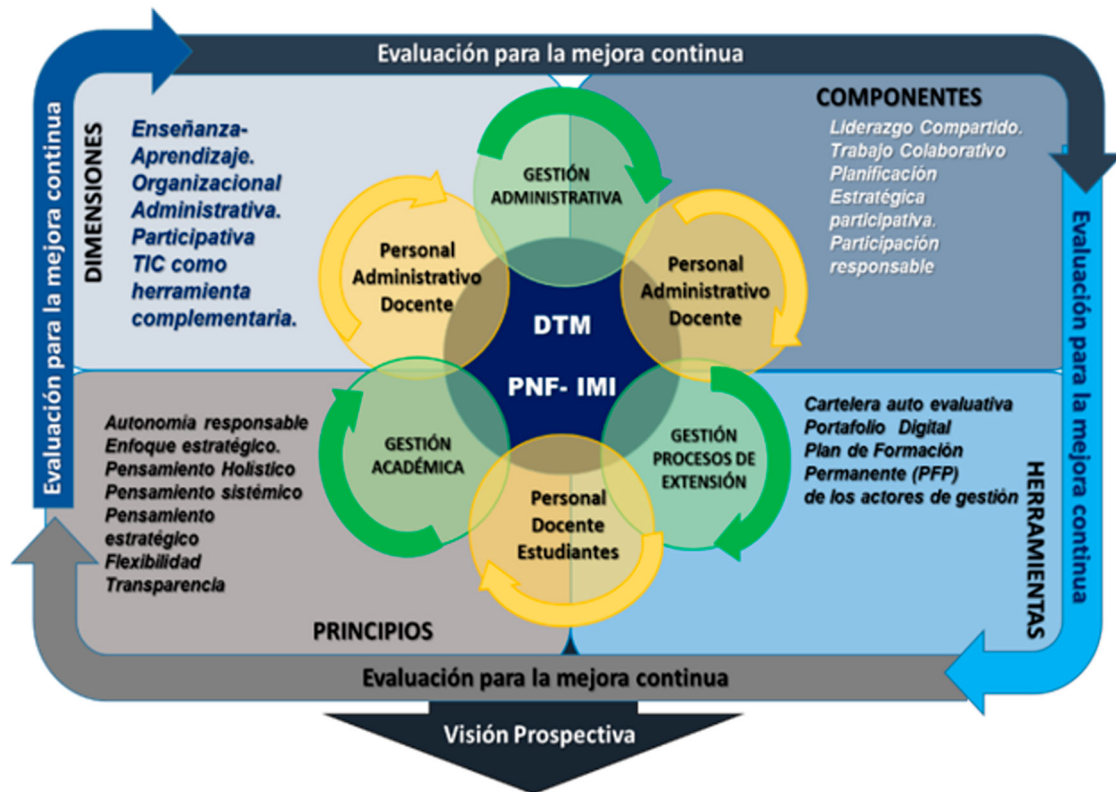
Se identificó un proceso de gestión enmarcado desde las escuelas del pensamiento de Minstzberg del Diseño y se propone generar acciones desde la escuela de la Planificación y la Configuración, la cual representa la generación de estrategias desde la flexibilidad y ámbitos cambiantes. Las herramientas mediadas por las TIC deben ser aquellas que sean de fácil acceso, no representen costos asociados, sean amigables con el usuario y que faciliten los procesos en las que se encuentran involucradas. Las selecciones de las mismas no necesariamente deben ser permanentes; dependerá de las necesidades y realidad actual en la que se desarrolle el plan de acción.

Además, es importante destacar que las herramientas mediadas por las TIC están cambiando constantemente, quedando en obsolescencia otras por lo que se requiere una actualización permanente en este tema a través de la formación. En la figura 7 se muestra el diagrama general del modelo de gestión que se propone, donde se colocan en el área central, en círculos verdes, los procesos medulares de gestión, rodeado de una flecha que representa la mejora continua permanente de este proceso de gestión, entendiéndose que este elemento es clave para la sostenibilidad y vigencia de este modelo en el tiempo.

En círculos amarillos se encuentran los actores que intervienen en dichos procesos y su relación con los mismos. En este caso, las flechas representan la capacidad de cambio, ampliación y crecimiento de estos actores cuando se involucran los elementos de participación del modelo. En interrelación con ellos se encuentran los cuadros de fondo en distintos colores que caracterizan dicho modelo y que garantizan la inclusión no sólo de los actores claves, sino de todos aquellos entes y participantes externos que puedan involucrarse en la mejora de la gestión universitaria de una forma temporal promoviendo procesos que fortalezcan la Calidad Educativa Universitaria. El Modelo se caracteriza entonces por cuatro elementos: Dimensiones, Componentes, Principios y Herramientas.

Para aproximarnos a la realidad educativa y a sus formas de gestión, en el modelo se hace una clasificación en dimensiones. Desde el punto de vista analítico, las dimensiones son herramientas para observar, interpretar y reflexionar sobre lo que sucede en lo interno de la organización y de su funcionamiento cotidiano. Las dimensiones de gestión son el marco donde cobra vida, se relacionan y se rectifican lo señalado en los Estándares establecidos en el marco jurídico de funcionamiento de las Universidades y en los componentes del propio modelo, comparándose como "Ventanas Operacionales" donde se puede observar la dinámica de la realidad educativa desde lo institucional, administrativo, educativo y pedagógico.

Figura 7. Diagrama del modelo estratégico participativo basado en las tecnologías de la información y comunicación, para la gestión académico- administrativa del Programa Nacional de Formación de Ingeniería en Materiales Industriales. Fuente: Elaboración Propia



A continuación, se describirá cada una de ellas. Para la definición de sus características, el modelo de gestión se integra por diversos elementos que le dan sentido y soporte. Entre ellos se encuentran sus componentes, los cuales se vinculan e interrelacionan entre sí; ninguno tiene privilegio sobre otro y el grado determinado de atención que merecen es por el usuario del mismo, de acuerdo a la realidad de su contexto y de acuerdo con las necesidades y características de su ámbito de incidencia.

El objetivo de los componentes planteados en este modelo es intervenir de manera proactiva, en función de logros educativos determinados y de las circunstancias del contexto, para orientar el cambio y la transformación educativa universitaria a través del fortalecimiento del liderazgo y del trabajo colaborativo, guiados por una misión y una visión compartidas. En este sentido, se convierten en pilares fundamentales para impulsar el cambio y la transformación de las universidades. Recordemos que éste Modelo de Gestión impulsa la transformación de las diferentes estructuras del sistema educativo universitario a partir del reconocimiento de una realidad en la que, a través de una serie de principios y componentes, se trabaja para alcanzar la misión y la visión acordadas por el colectivo. Es por ello que la implementación de este enfoque requiere de herramientas de planeación, seguimiento y evaluación, que le den objetividad y concreción a los objetivos, las metas, estrategias y actividades que se hayan planteado.

Para efectos de la Evaluación de la Mejora Continua, se proponen herramientas tales como: Cartelera Autoevaluativa, el Portafolio Digital y la Planes de formación permanente (PFP) de los principales actores de gestión, las cuáles que pudieran ser utilizadas por cada instancia para autoevaluarse, ya que permiten hacer un balance de los avances que se tienen respecto a los objetivos y a las metas planteadas, así como los logros o las dificultades que se están presentando en la realización de las acciones.

Es importante mencionar que tanto los principios de calidad como de gestión son transversales al desarrollo y al ejercicio de los componentes del Modelo de Gestión, es decir, la base del liderazgo compartido, del trabajo colaborativo, de la planificación estratégica y la participación responsable, así como de la realización de la evaluación, son principios que rigen la forma como los actores de gestión se relacionan y ejercen en la práctica los componentes.

Los elementos que contiene el Modelo de Gestión se reconocen como básicos para identificar, planear, organizar, ejecutar, evaluar y dar seguimiento a un plan de intervención que conduzca a la transformación de una instancia educativa universitaria y al mejoramiento del logro académico de los estudiantes. Nunca serán todos los elementos que se requieren para asegurar los resultados de un plan de mejora; tal vez sean los suficientes para iniciar un proceso de intervención y, definitivamente, no son los únicos que se pueden considerar, pues los resultados dependen de otros factores asociados a la forma de intervenir la realidad que se vive en cada instancia del sistema educativo universitario, como el contexto mismo, las necesidades, las condiciones organizativas internas, el momento histórico, el compromiso y la actitud de los actores de gestión, entre otros.

La vigencia de los modelos tiene como límite la satisfacción de las necesidades de sus beneficiarios. Por lo que respecta al Modelo de Gestión propuesto y considerando los principios de la calidad educativa, éste no se circunscribe a un tiempo o a un alcance determinados, pero sí se perfila como una política educativa en tanto resulte factible a las prioridades y a la aplicación práctica en los distintos contextos del sistema de educación universitaria nacional.

Reflexiones finales

Un modelo de Gestión Estratégico Participativo para la gestión académico- administrativa de las universidades es un marco integral que guía la toma de decisiones y la asignación de recursos en una institución de educación superior. Su objetivo principal es asegurar que la universidad alcance sus metas y objetivos a largo plazo, manteniendo su relevancia y sostenibilidad en un entorno en constante cambio. Lo más innovador del modelo propuesto es que involucra el uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación para optimizar los procesos de gestión, mejorar la comunicación y facilitar la toma de decisiones, con un enfoque integral considerando todos los factores y actores de gestión, tanto los académicos como los

administrativos.

La identificación de factores y actores en la gestión estratégica universitaria es un ejercicio crítico que conciba las bases para una administración institucional sólida y eficiente. Al comprender a fondo los elementos que influyen en el devenir de la instancia universitaria, así como a los individuos y grupos que participan en su funcionamiento, se abre la puerta a una toma de decisiones más informada y a la implementación de estrategias más efectivas.

Para desarrollar un modelo estratégico participativo basado en las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en la gestión académico-administrativa universitaria, es crucial considerar las siguientes recomendaciones generales:

- Realizar un diagnóstico exhaustivo de la infraestructura tecnológica existente, las competencias digitales de la comunidad universitaria y los procesos académico-administrativos susceptibles de mejora.
- Involucrar a todos los actores relevantes (estudiantes, docentes, personal administrativo) en la definición de los objetivos y estrategias del modelo, garantizando la representatividad y la diversidad de perspectivas.
- Asegurar una infraestructura tecnológica sólida y escalable, que incluya redes de alta velocidad, plataformas virtuales de aprendizaje, sistemas de gestión integrada y herramientas de colaboración en línea.
- Implementar programas de capacitación continua para desarrollar las competencias digitales de la comunidad universitaria, tanto en el uso de las herramientas tecnológicas como en la adopción de nuevas metodologías de enseñanza y aprendizaje.

La formulación de un plan estratégico participativo, potenciado por las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), para un modelo de gestión estratégico universitario representa una oportunidad para transformar la forma en que las instituciones de educación superior planifican y ejecutan sus acciones.

Con lo antes descrito, se espera fomentar la creación de entornos de aprendizajes innovadores, la investigación colaborativa y la transferencia de conocimiento, impulsando el desarrollo de la universidad y su contribución a la sociedad, preparando a las universidades para los desafíos y oportunidades de la era digital, desarrollando las competencias digitales de su comunidad y aprovechando las TIC para fortalecer su presencia e impacto en el mundo globalizado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Hernández Sampieri, Roberto; Collado Fernández, Carlos; Baptista Lucio, María del Pilar (2010). Metodología de la investigación. 5ta edición. Mc Graw Hill. México Pág. 50- 362.
- Mintzberg, Henry (1998) Diseño de Organizaciones Eficientes. McGill University. El Ateneo Editorial. México.
- Poriet Ramírez, Yenitza (2010) Perspectiva tecnológica en la gerencia educativa Observatorio Laboral Revista Venezolana, vol. 3, núm. 6, julio-diciembre, 2010, pp. 155-168.
- Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo-PNUD (2009). Manual de planificación, seguimiento y evaluación de los resultados de desarrollo. Nueva York: PNUD.
- UNESCO (2021) LOS FUTUROS DE LA EDUCACIÓN. Comisión Internacional sobre los Futuros de la Educación Informe de 2021.
- Vargas Beals, Xavier (2011) ¿Cómo hacer investigación cualitativa? Editorial ETXETA. México. Pág. 38

PLANTA PARA LA PRODUCCIÓN DE BALDOSAS CERÁMICAS A PARTIR DE RESIDUOS DE VIDRIOS

TSU. Briceño Luiseliz 1, Lcdo. De la Rosa Yoger 2, TSU. Carbono Mayra 3, TSU. Fray Richard 4, TSU. Pirela Jose 5.

Resumen

La investigación tiene como objetivo general diseñar una planta para la producción de baldosas cerámicas a partir de residuos de vidrios en la urbanización Altamira, Santa Rita, estado Zulia. Para ello, se llevó a cabo varias fases metodológicas, partiendo de un diagnóstico sobre las capacidades productivas disponibles en la comunidad e identificando las propiedades físicas y químicas necesarias para formular un material resistente. El estudio se sostuvo en una metodología que llevó a elaborar un diagrama exhaustivo de los procesos de instrumentación y control, para tener una guía detallada del flujo de producción. Aunado a esto, se realizó el dimensionamiento de los equipos necesarios utilizados en el proceso. Asimismo, se llevó a cabo una evaluación del impacto ambiental derivado a lo largo del procesamiento de las materias primas, identificando así posibles riesgos para el entorno. Se desarrolló adicionalmente un estudio de factibilidad económica para estimar los costos asociados con la producción de la baldosa cerámica, considerando todos los gastos relevantes. Se procedió a diseñar la distribución de la planta, seleccionando el lugar y designando cada área un uso específico. Finalmente, mediante diferentes procesos y operaciones unitarias, como la trituración, prensado y horneado, a las que se sometieron las materias primas, se logró formular una baldosa cerámica cuyas características cumplen tanto como con estándares industriales internacionales como con las expectativas de los habitantes de la comunidad. Asimismo, ayudan a contribuir a la reducción de residuos sólidos y la preservación del medio ambiente.

Palabras clave: Residuos de vidrios, Baldosas, diseño de plantas, Residuos Urbanos, Cerámica.

Recibido: 23/09/2025

Aceptado: 03/10/2025

1 TSU. Briceño Luiseliz
luiselizisa@gmail.com
ORCID: 0009-0000-4024-6775

2 TSU. De la Rosa Yoger
yogerdela@gmail.com
ORCID: 0009-0000-5611-6393

3 TSU. Fray Richard
alejandracarbono327@gmail.com
ORCID: 0009-0008-8625-8067

4 TSU. Fray Richard
richardfraysierra@gmail.com
ORCID: 0009-0001-1610-1004

5 TSU. Pirela Jose
josedaneilpirelaramirez@gmail.com
ORCID: 0009-0000-8747-5583

PLANT FOR THE PRODUCTION OF CERAMIC TILES FROM GLASS WASTE

Abstract

The general objective of this research is to design a plant for the production of ceramic tiles from glass waste in the Altamira Santa Rita urbanization, Zulia state. To achieve this, several methodological phases were carried out, beginning with a diagnosis of the available production capacities in the community and identifying the physical and chemical properties necessary to formulate a durable material. The study employed a methodology that led to the development of a comprehensive diagram of the processes, instrumentation, and controls, providing a detailed guide to the production flow. In addition, the necessary equipment used in the process was sized. Furthermore, an environmental impact assessment was conducted throughout the raw material processing, identifying potential risks to the environment. An economic feasibility study was also developed to estimate the costs associated with ceramic tile production, considering all relevant expenses. Finally, the plant layout was designed, selecting the location and assigning a specific use to each area. Finally, through various processes and unit operations, such as crushing, pressing, and firing, to which the raw materials were subjected, a ceramic tile was formulated whose characteristics meet both international industry standards and the expectations of the community's inhabitants, while also contributing to the reduction of solid waste and the preservation of the environment.

Keywords: Glass waste, Tiles, Plant design, Municipal solid waste, Ceramics

Introducción.

La gestión inadecuada de los residuos sólidos urbanos constituye uno de los desafíos ambientales más persistentes en las comunidades venezolanas, especialmente en zonas con limitado acceso a servicios públicos de recolección y tratamiento de desechos. En la urbanización Altamira Santa Rita, ubicada en el estado Zulia, esta problemática se evidencia de manera aguda debido a la ausencia de servicios formales de aseo urbano y la consecuente acumulación de desechos, entre ellos una gran proporción de residuos de vidrio generados por el consumo doméstico y la actividad comercial. Ante esta situación, surge la necesidad de investigar alternativas sostenibles que permitan transformar estos residuos en productos de valor agregado, contribuyendo simultáneamente al desarrollo comunitario, la economía circular y la reducción del impacto ambiental.

En este contexto, la presente investigación tiene como propósito fundamental diseñar una planta para la producción de baldosas cerámicas a partir de residuos de vidrio, propuesta que integra conocimientos de ingeniería, diseño de procesos, sostenibilidad y participación comunitaria. El proyecto busca demostrar la factibilidad técnica, ambiental y económica de reutilizar vidrio reciclado como principal insumo para la fabricación de un producto industrial con alta demanda, promoviendo prácticas responsables de reciclaje y fortaleciendo la cultura ecológica dentro de la urbanización Altamira. Esta iniciativa adquiere especial relevancia al alinearse con tendencias globales de economía circular, estrategias de disminución de residuos y la incorporación de materiales reciclados en la industria cerámica.

El estudio se sustenta en un conjunto de antecedentes investigativos que evidencian la viabilidad de incorporar vidrio triturado en matrices cerámicas para mejorar propiedades como la densificación, resistencia mecánica y reducción de porosidad. Investigaciones como las de Sanclemente (2020), Daros (2020) y Pitarch et al. (2023) aportan bases teóricas y experimentales sobre la utilización de residuos vítreos y cerámicos en la fabricación de baldosas y materiales de construcción, demostrando beneficios tanto en términos de calidad del producto como en sostenibilidad. Estos antecedentes permitieron orientar el enfoque metodológico y proyectar los posibles resultados del estudio en un escenario real, adaptado a las condiciones de la comunidad objeto de análisis.

Metodológicamente, la investigación se enmarca en un enfoque mixto, combinando técnicas cuantitativas como encuestas, mediciones experimentales, simulación de procesos y dimensionamiento de equipos, y técnicas cualitativas tales como entrevistas, observación directa, revisión documental y grupos focales, para garantizar un análisis integral del fenómeno. Bajo el paradigma pragmático, se articulan estrategias metodológicas flexibles orientadas a resolver el problema comunitario mediante decisiones fundamentadas técnica y socialmente. En el estudio experimental, se formularon distintas mezclas de materiales con vidrio molido y aditivos seleccionados, evaluando su comportamiento en procesos de trituración, mezclado,

prensado, secado y cocción, hasta lograr una baldosa con propiedades altamente satisfactorias, destacando la formulación N7 por sus resultados óptimos.

El contexto socio-urbano de Altamira es un elemento clave del proyecto, dado que su población de aproximadamente 750 habitantes genera semanalmente entre 700 y 1000 kilogramos de residuos, una fracción considerable de ellos vidrio proveniente de comercios y hogares. Este escenario representa tanto una problemática ambiental como una oportunidad productiva que puede ser aprovechada por medio de procesos industriales sostenibles. Además, el proyecto integra la participación activa de la comunidad, desde la identificación de necesidades hasta el diseño de sistemas de recolección y clasificación de residuos, aspecto crucial para garantizar la continuidad y eficacia de la iniciativa.

Finalmente, los ejes de contenido que estructura la investigación incluyen: Diagnóstico de la disponibilidad de residuos y capacidades comunitarias, Estrategias para la recolección, clasificación y manejo del vidrio reciclado, Formulación experimental del material cerámico utilizando vidrio triturado, Diseño del proceso productivo, instrumentación, P&ID y simulación de planta, Evaluación del impacto ambiental de la propuesta y Determinación de la factibilidad económica del proyecto.

Cada uno de estos ejes contribuye a construir una propuesta integral que demuestra que la reutilización del vidrio no solo es técnicamente posible, sino socialmente pertinente, económicamente viable y ambientalmente necesaria. Así, la investigación se consolida como una alternativa innovadora para transformar una problemática comunitaria en una oportunidad de desarrollo sostenible. Para este estudio se consultaron diferentes investigaciones relacionadas a diferentes áreas de análisis, como la materia prima utilizada, el proceso llevado a cabo o derivados semejantes a este. Tales como:

María Sanclemente. (2020). Formulación de un plan de negocios para la fabricación de baldosas ecológicas (ECOBAL) mediante el aprovechamiento de residuos sólidos urbanos: Ofrece una visión integral de la línea completa de maquinaria, desde el procesamiento inicial hasta el conformado final. El dimensionamiento y análisis técnico-económico presentado permite identificar la capacidad instalada necesaria y evaluar la viabilidad técnica y financiera de la planta, lo cual es esencial para planificar el proyecto de baldosas cerámicas.

A. Pitarch, J. Mira, J. Corrales. (2023). Reutilización de residuos de baldosas cerámicas en el desarrollo de baldosas de hormigón: Los resultados obtenidos muestran que es viable reutilizar residuos procedentes de baldosas cerámicas como materia prima en el desarrollo de productos prefabricados con una matriz cementante. También se extrajo información sobre los residuos cerámicos que se integran como componente principal en la matriz cementante. También detalla cómo los residuos de baldosas cerámicas son triturados y utilizados en el proceso.

Objetivos de investigación:

Objetivo general

*Diseñar una planta para la producción de baldosas cerámicas a partir de residuos de vidrios en la urbanización Altamira Santa Rita estado Zulia.

Objetivos específicos

*Diagnosticar las capacidades para la producción de baldosas cerámicas a partir de residuos de vidrios.

*Desarrollar estrategias para la recolección de residuos de vidrios en la urbanización Altamira Santa Rita estado Zulia.

*Formular un material para las baldosas cerámicas a partir de residuos de vidrios.

*Construir el diagrama de proceso, instrumentación y control para la producción de baldosas cerámicas a partir de residuos de vidrios.

*Simular la planta para la producción de baldosas cerámicas a base de residuos de vidrios.

*Evaluar el impacto ambiental que ocasionara la planta para la producción de baldosas cerámicas a partir de residuos de vidrios.

*Determinar la factibilidad económica para la ejecución de la planta para la producción de baldosas cerámicas a partir de residuos de vidrios.

1. Metodología.

1.1. Diseño de la investigación.

Creswell (2014) señala que el diseño de investigación implica un enfoque estructurado que guía a los investigadores en la recolección y análisis de datos. Este proceso incluye decisiones sobre el tipo de estudio, la selección de participantes, la recolección de datos, y los métodos de análisis, todo ello con el objetivo de garantizar la validez y confiabilidad de los resultados.

El enfoque mixto es un proceso que recolecta, analiza y vincula datos cuantitativos y cualitativos en una misma investigación o una misma serie de investigaciones para responder a un planteamiento. Justifica la utilización de este enfoque en su estudio considerando que ambos métodos se entremezclan en la mayoría de sus etapas, por lo que es conveniente combinarlos para obtener información que permita la triangulación como forma de encontrar diferentes caminos y obtener una comprensión e interpretación, lo más amplia posible, del fenómeno de estudio.

Para efectos de este proyecto, se aplicó el paradigma pragmático. Según la naturaleza del tema investigado, este paradigma puede integrar tanto el enfoque positivista como el interpretativo en un mismo estudio.

El paradigma pragmático de investigación pone su foco de atención en la problemática o fenómeno que requiere ser analizado desde diversas estrategias metodológicas, incluyendo diseños cuantitativos-deductivos y cualitativos-inductivos.

1.2. Tipo de investigación.

La investigación mixta es una metodología de investigación que consiste en recopilar, analizar e integrar tanto investigación cuantitativa como cualitativa. Esta investigación se utiliza cuando se requiere una mejor comprensión del problema, ya que con ella se logra obtener información que podría no ser captada si solo se utiliza alguno de estos métodos por separado. Los datos cuantitativos incluyen información cerrada como la que se utiliza para medir actitudes.

En el ámbito de un proyecto socio-productivo como la elaboración de baldosas cerámicas a partir de residuos de vidrio, la investigación descriptiva es crucial para identificar las necesidades y preferencias del mercado. Mediante el uso de encuestas a posibles consumidores y análisis del comportamiento de compra, se pueden recoger datos sobre qué características valoran más los clientes en productos ecológicos.

1.3. Técnicas e Instrumentos de recolección de información.

1.3.1. Técnicas.

Manawis (2023) Son los métodos utilizados para recoger y analizar diferentes formas de datos. Las técnicas habituales de recogida de datos incluyen el examen de documentos relacionados con un tema, así como la realización de entrevistas y observaciones.

1.3.2. Encuesta: La encuesta aplicada en la urbanización Altamira permitió identificar si los habitantes contaban con las condiciones, habilidades y disposición necesarias para participar activamente en la producción de baldosas cerámicas con residuos de vidrio.

1.3.3. Entrevistas semiestructuradas: Estas entrevistas proporcionaron información técnica valiosa de expertos en ingeniería química, diseño sostenible y reciclaje industrial. Los especialistas describieron los desafíos específicos que se enfrentan al incorporar vidrio reciclado en los procesos cerámicos y sugirieron soluciones innovadoras. También identificaron características clave de las baldosas, como resistencia mecánica, estética y sostenibilidad.

1.3.4. Observación directa: Se logró observar directamente cómo se desarrollan las interacciones y procesos relacionados con el uso de las baldosas, Así mismo, se pudo obtener una comprensión de las necesidades y preferencias de los usuarios.

1.3.5. Grupo focal: Esta técnica nos permitió crear un espacio seguro para que los participantes compartan sus opiniones sobre las necesidades presentes y sus expectativas sobre el proyecto propuesto.

1.3.6. Memoria fotográfica: Se ha hecho una memoria fotográfica, tomando fotos y videos siguiendo el orden cronológico de los procesos realizados para utilizarlos como evidencias, captando así cada fase del proyecto socio integrador.

1.3.7. Revisión Documental: Nos proporcionó un marco de referencia sólido y un entendimiento profundo de la problemática, fortaleciendo la calidad de la investigación e incrementando las posibilidades de éxito y sostenibilidad de las intervenciones.

1.3.8. Pruebas experimentales: Se realizaron estas pruebas en el laboratorio para optimizar la fórmula del material, asegurando que cumpla con estándares industriales y ambientales.

1.3.9. Diseño de plantas industriales: Se establecieron relaciones funcionales entre áreas, minimizando movimientos y mejorando la eficiencia operativa buscando optimizar el flujo de materiales, personas e información dentro de la planta.

1.3.10. Simulación de procesos: Esta herramienta nos permitió evaluar diferentes variables de operación, como la humedad de las mezclas o el tiempo de permanencia en el horno, sin alterar la producción real, lo que reduce riesgos y costos.

1.3.11. Dimensionamiento de equipos industriales: Se dimensionó el tamaño óptimo de los equipos según el volumen de producción deseado, para asegurar que la capacidad de producción de cada equipo esté sincronizada.

2. Resultados.

Objetivo 1. Diagnosticar las capacidades productivas para la producción de baldosas cerámicas a partir de residuos de vidrios.

A través de una observación directa, se identificaron las diversas jerarquías y necesidades presentes en la urbanización Altamira. Se llevó a cabo una entrevista semiestructurada con la Vocera Principal y Líder del Consejo Comunal, la Sra. Alejandra Morales, quien proporcionó información crucial sobre los problemas que enfrenta la comunidad, como la falta del servicio de agua potable por tubería y de aseo urbano. El 100% de los residentes de esta localidad tiende a incinerar los desechos o a dejarlos al aire libre en vertederos improvisados, especialmente los residuos de vidrio, debido a la proximidad de dos licorerías en la zona.

Esta situación representa un riesgo tanto para la salud pública como para el medio ambiente. Esto fue fundamental para el desarrollo de la propuesta, que se centró en la selección de la necesidad: Falta de conciencia en la recolección de residuos, ocasionando contaminación por vidrio. Por otra parte, se realizaron encuestas a un

total de 30 habitantes de la urbanización Altamira, lo que permitió obtener una serie de estadísticas que confirman un manejo inadecuado de los desechos sólidos y una disposición mayoritaria a apoyar el reciclaje y el proyecto propuesto.

CUESTIONARIO:

Ubicación: Urb. Altamira Municipio Santa Rita.

Habitantes:

Hombres: 14

Mujeres: 17

Niños y Niñas: 9

Participantes en el cuestionario: 30

Figura 7. Evaluación probabilística de producción, captura y rentabilidad en un proyecto piloto de CO₂-EOR en Venezuela.

Tabla 1. Resultados de las encuestas sobre las capacidades productivas para la producción de baldosas cerámicas a partir de residuos de vidrios.

N° PREGUNTA	TOTAL SÍ	TOTAL NO
1	0	30
2	10	20
3	10	20
4	30	0
5	30	0
6	4	26
7	30	0
8	16	14
9	30	0
10	30	0

Fuente: Briceño L, Carbono M, De la Rosa Y, Fray R, Pírela J (2025).

La gestión sostenible de residuos ha adquirido una importancia creciente en la actualidad, especialmente en el marco de la urbanización y el desarrollo industrial. La urbanización Altamira Santa Rita presenta un potencial significativo para la producción de baldosas cerámicas, aprovechando su acceso a materiales reciclables y su capacidad para integrar procesos industriales sostenibles.

Objetivo 2. Desarrollar estrategias para la recolección de residuos de vidrios en la urbanización Altamira Santa Rita estado Zulia.

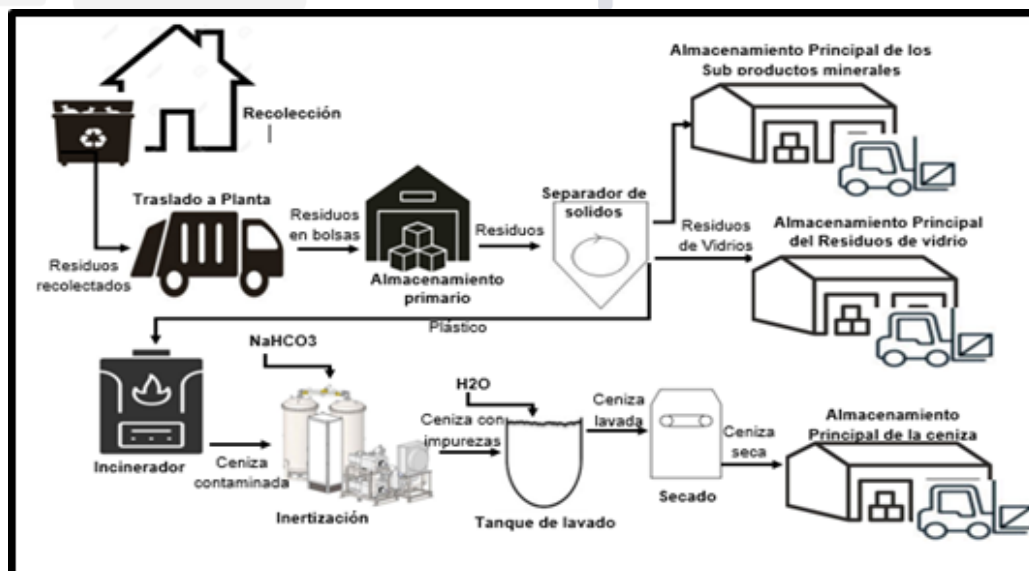
En el marco del presente proyecto, se aplicaron dos técnicas clave para fortalecer la gestión comunitaria de los residuos sólidos: la revisión documental y el grupo focal. La revisión documental consistió en el análisis sistemático de fuentes normativas, estudios técnicos previos y buenas prácticas en la gestión de residuos, lo cual permitió estructurar un cronograma de actividades adaptado a las características y necesidades de la comunidad.

Este cronograma sirvió como hoja de ruta para la ejecución de acciones programadas, incluyendo identificación de puntos de recolección y mecanismos de seguimiento. A partir de esta técnica, se delinearon fases operativas para la clasificación de residuos según su naturaleza, identificando categorías como residuos orgánicos, inorgánicos reciclables, no reciclables y residuos especiales o peligrosos.

Por su parte, el grupo focal se consolidó como una técnica participativa que reunió a miembros activos de la comunidad, facilitadores ambientales y técnicos, con el objetivo de intercambiar percepciones, validar propuestas y promover el compromiso colectivo. Durante las sesiones del grupo focal se identificaron barreras culturales y operativas asociadas a la separación y disposición de los residuos, lo que permitió ajustar el contenido de las intervenciones comunitarias.

Con un enfoque orientado a la economía circular, la urbanización Altamira, conformada por aproximadamente 750 habitantes, se desea desarrollar un sistema comunitario de aprovechamiento de residuos sólidos que transforme desechos urbanos en recursos estratégicos para la industria cerámica. Semanalmente, se estima la generación de entre 700 y 1000 kilogramos de residuos, según los datos suministrados por el Consejo comunal, originados principalmente por el consumo doméstico y por actividades de pequeños comercios como panaderías, bodegas y restaurantes.

Figura 1. Proceso de recolección. Fuente: Briceño L, Carbone M, De la Rosa Y, Fray R, Pirela J (2025).



Objetivo 3. Formular un material para las baldosas cerámicas a partir de residuos de vidrios.

En el contexto actual de creciente conciencia ambiental y la necesidad de una producción más sostenible, la industria cerámica enfrenta el desafío de transformar sus procesos tradicionales mediante la integración de materiales reciclados que reduzcan el impacto ecológico sin comprometer la calidad del producto.

Entre los residuos con alto potencial de aprovechamiento se encuentra el vidrio. Mediante la identificación detallada de sus propiedades físicas y químicas, la evaluación técnica de su composición y estudio de su comportamiento dentro de mezclas cerámicas, este propósito se aborda a través de una serie de actividades estructuradas que permiten explorar la viabilidad técnica, ambiental y funcional del uso del vidrio reciclado como componente clave en la producción cerámica.

De esta investigación se extrajo una ficha técnica detallada propiedades físico-químicas clave del vidrio reciclado, y se utilizó su formulación como base referencial para la propuesta experimental actual. Posteriormente, se identifican los principales componentes del vidrio (como el SiO₂, Na₂O y CaO) y se clasifican los aditivos potenciales que pueden emplearse para mejorar la cohesión, reducir la porosidad y optimizar la plasticidad del sistema.

Se procedió a la recolección sistemática de la materia prima (vidrio molido y arcilla base), seguida de la elaboración de una matriz experimental donde se definirán distintas formulaciones. Estas serán evaluadas mediante técnicas de prensado y secado controlado, ajustando parámetros como presión, tiempo, humedad y granulometría, con el objetivo de minimizar defectos como agrietamientos o deformaciones durante el desmolde y secado.

Tabla 2. Resultados de la Prueba 7. aplicadas en el estudio

CRITERIO	EVALUACIÓN	JUSTIFICACIÓN
Porosidad media	Alta (18-25%)	Datos de núcleos y registros de pozos cuenca oriental, 2020)
Permeabilidad	Media-Alta (100-500 mD)	Facilita inyección y flujo de CO ₂
Profundidad del reservorio	2000-3000 m	Dentro del rango óptimo para almacenamiento supercrítico
Capacidad de sello geológico	Buena (esquistos del Grupo Carapita)	Presencia de caprock efectivo
Salinidad del acuífero	Alta	Reduce riesgo de contaminación de aguas dulces
Proximidad a fuentes de CO ₂	Alta (Planta José Antonio Anzoátegui, LNG Cryogenic)	Menor costo de transporte
Historia de explotación	Alta madurez	Campos en declinación ideales para CO ₂ -EOR
Riesgo de migración de CO ₂	Moderado	Requiere monitoreo sísmico y geoquímico

Descripción:

La producción de esta baldosa cerámica inició con la elaboración de una barbotina de arcilla (combinación de arcilla y agua), a la que se añadieron de manera gradual los demás componentes: vidrio, mesocarpio, cenizas, subproductos minerales y aglutinante.

Este enfoque de adición progresiva permitió una homogeneización más rápida de la masa, alcanzando una consistencia óptima en un tiempo reducido. Una vez que la mezcla estuvo lista, fue moldeada y prensada en un molde de mayor tamaño, para luego ser sometida a un secado en sombra que garantizó la eliminación controlada de la humedad.

Finalmente, la baldosa fue cocida en un horno a 1000°C durante 4 horas, seguida de un enfriamiento lento de 24 horas dentro del mismo, asegurando la consolidación de la estructura sin choques térmicos.



Resultado:

El resultado de este proceso fue una baldosa completamente cocida, sin fisuras y con un aspecto visualmente superior, lo que sugiere una optimización en la interacción de los componentes. La rápida homogeneización, atribuible a la barbotina de arcilla como base, permitió una dispersión más efectiva de los subproductos minerales y otros aditivos, contribuyendo a una microestructura más uniforme. La inclusión de subproductos minerales, junto con el vidrio y las cenizas, promovió una mayor formación de fases líquidas durante la sinterización, resultando en una mejor unión de los ingredientes y una densificación más eficiente. La ausencia de fisuras reafirma el éxito de las etapas de secado y enfriamiento controlado, mientras que la mejora estética, con ingredientes más unidos, apunta a una consolidación superior de la matriz cerámica. Su mezcla presentó un color oscuro, alta resistencia y dureza desde el secado hasta la cocción, donde su porosidad fue mínima.

Fuente: Daros (2020), Briceño L, Carbone M, De la Rosa Y, Fray R, Pirela J (2025).

Se seleccionó la formulación N7 como la opción más adecuada para el desarrollo de la mezcla. Tras evaluar las condiciones de compactación, se determinó que la mejor estrategia para optimizar su comportamiento físico y mecánico es el uso de aglutinantes. Estos materiales desempeñan un papel fundamental en la cohesión de los componentes, facilitando la compactación y mejorando la resistencia estructural de la mezcla.

Objetivo 4. Construir el diagrama de proceso, instrumentación y control para la producción de baldosas cerámicas a partir de residuos de vidrios.

Cabe destacar que, se integró un enfoque de triangulación metodológica para asegurar la validez, profundidad técnica y coherencia en el diseño de los sistemas de control e instrumentación dentro de la planta de producción de baldosas cerámicas. Esta triangulación se estructuró en tres dimensiones complementarias: revisión documental especializada, consulta experta mediante entrevista técnica, y aplicación práctica de principios en el dimensionamiento de equipos.

Se realizó una revisión documental que se centró en la revista técnica Notación y simbología para tuberías, la cual proporcionó un marco normativo y gráfico para la construcción de diagramas P&ID (Diagrama de Instrumentación y Procesos). A partir de este análisis, se incorporó el software LUCIDCHART como herramienta central para la elaboración del mismo bajo estándares ANSI e ISA, permitiendo una representación precisa de las líneas de proceso, instrumentos de medición, elementos de control y lazos funcionales integrados al sistema productivo.

Es por ello que el propósito de este objetivo es construir de manera gráfica y analítica la transformación de la materia prima, obteniendo un proceso fiable y eficiente para la elaboración de una baldosa cerámica a base de residuos de vidrio y otros aditivos.

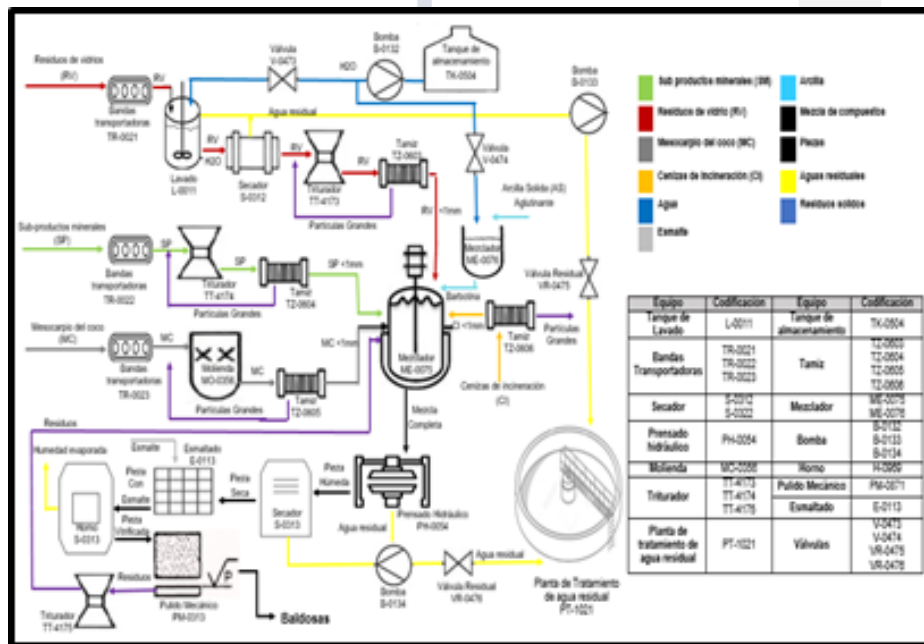


Figura 3. Transformación de la materia prima. Fuente: Briceño L, Carbono M, De la Rosa Y, Fray R, Pirela J (2025).

Conclusiones.

El diagnóstico realizado en la urbanización Altamira confirma una generación significativa de residuos reciclables y una disposición comunitaria favorable hacia iniciativas de recolección y reciclaje, lo que constituye una base logística y social sólida para la obtención de materia prima.

Desde el punto de vista experimental, la formulación N7 (615g; 29.26% vidrio, 26.82% Barbotina de Arcilla, 4.89% mesocarpio, 4.89% Cenizas, 27.64% Subproductos Minerales, 6.50% Aglutinante) mostró resultados prometedores: presentó baja porosidad, ausencia de fisuras y buena densificación. Estos resultados sugieren que la incorporación de vidrio favorece la formación de fases vítreas durante la sinterización, mejorando la unión entre partículas y la resistencia mecánica. Al mismo tiempo, los aglutinantes y la granulometría controlada son determinantes para la compactación y para disminuir defectos durante el secado.

Reflexionar sobre la temática obliga a reconocer las tensiones técnicas y ambientales inherentes a este tipo de procesos. Por una parte, la valorización del vidrio contribuye a una economía circular local, reduce la presión sobre los vertederos y ofrece oportunidades de empleo y educación ambiental. Por otra parte, la etapa térmica de cocción es intensiva en energía y plantea retos en términos de emisiones y consumo energético. Cualquier evaluación de sostenibilidad debe ponderar esas dos realidades y priorizar soluciones orientadas a la eficiencia y al control de emisiones para que el beneficio ambiental no se vea comprometido por impactos indirectos.

Las inferencias económicas apuntan a que la viabilidad financiera dependerá fuertemente de factores externos y de diseño: la estabilidad del suministro de materia prima, el costo de la energía y la posibilidad de alcanzar economías de escala mediante la consolidación de la recolección y la ampliación gradual de la producción. En términos prácticos, la integración de la comunidad como proveedor regular de vidrio y la búsqueda de sinergias con entidades públicas o privadas pueden mejorar la cadena de suministro y reducir costos logísticos, mientras que la certificación del producto y un plan de comercialización orientado a nichos conscientes del valor ecológico pueden aumentar la disposición a pagar por baldosas con contenido reciclado.

Más allá de la técnica y la economía, la iniciativa tiene implicaciones sociales y pedagógicas relevantes: promover la separación en la fuente, capacitar a la comunidad en buenas prácticas de recolección, y manejar los beneficios socioeconómicos de forma transparente puede consolidar aceptación y participación ciudadana. Estos elementos son tan críticos como los parámetros técnicos para el éxito de proyectos de economía circular. Asimismo, la consideración de marcos normativos y la realización de estudios como un inventario de emisiones o un análisis de ciclo de vida fortalecerán la legitimidad del proyecto ante autoridades y potenciales

financiadores.

En conjunto, la evidencia obtenida permite inferir que la producción de baldosas cerámicas a partir de residuos de vidrio en la urbanización Altamira es una alternativa viable y socialmente pertinente, con el potencial de generar beneficios ambientales, económicos y comunitarios siempre que se implementen controles técnicos rigurosos, medidas de eficiencia energética y estrategias de gobernanza para la recolección y comercialización. La consolidación de estas líneas abrirá el camino para transformar la promesa tecnológica en un producto competitivo y ambientalmente responsable.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Carrillo Molina, L. (2023). Evaluación de las propiedades mecánicas de la baldosa cerámica fabricada a partir de una pasta cerámica con la incorporación de vidrio reciclado. Tesis de pregrado, Universidad ECCI.
- España. (2022). Ley 7/2022, de 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular. Boletín Oficial del Estado, 102, 39543–39663.
- Ishtiaq, M. (2019). Creswell, J. W. (2014). *Research Design: Qualitative, Quantitative and Mixed Methods Approaches* (4th ed.). Thousand Oaks, CA: Sage. <https://doi.org/10.5539/ELT.V12N5P40>
- Juanma. (2025). Hornos industriales para cerámica: tipos, procesos, normativas y consumo energético. <https://www.ideter.com/hornos-industriales-para-ceramica-tipos-procesos-normativas-y-consumo-energetico/>
- Manawis, R. (2023). ¿Qué son las técnicas de recolección de datos? <https://safetyculture.com/es/temas/recoleccion-de-datos/tecnicas-de-recoleccion-de-datos>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (España). (2018). Inventario nacional de emisiones de gases y contaminantes: fabricación de materiales cerámicos. (04.06.17-18).
- Muñoz Portero, María José. (2018). Procesamiento de materiales cerámicos fundidos: vidrio plano y lana de vidrio. Universitat Politècnica de València.
- Peng, A. (2025, marzo 17). Densidad del vidrio. Shenzhen DEK Manufacturing Co., Ltd. <https://www.dekmake.com/es/densidad-del-vidrio/#toc7>
- Pitarch, A., Mira, J., & Corrales, J. (2023). Reutilización de residuos de baldosas cerámicas en el desarrollo de baldosas de hormigón. Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción – Aula Cerámica - Grupo de investigación TECASOS. Universitat Jaume I. Castellón. España
- Quereda Vázquez, Paqui. (2024). Economía circular en el sector de baldosas cerámicas. Asociación Española de Fabricantes de Azulejos y Pavimentos Cerámicos (ASCER).
- Ramírez Calderón, Y. E., Romero Nieto, S. P., Villalobos Correa, D. E, & Ruiz Quedo, D. J. (2021). Influencia de la concentración de vidrio reciclado en las propiedades técnico-cerámicas de una formulación de pasta para la fabricación de baldosas. *Publicaciones E Investigación*, 15(4). <https://doi.org/10.22490/25394088.5613>
- Sancllemente León, M. F., & Montañez Medina, K. (2020). Formulación de un plan de negocios para la fabricación de baldosas ecológicas (ECOBAL) mediante el aprovechamiento de residuos sólidos urbanos. Tesis de pregrado, Universidad Santo Tomás, Facultad de Ingeniería Ambiental.
- Topanotti Daros, M., de Souza Felisberto, D., da Silva Pereira, A., de Peixoto Pessoa, C. R., & Bernardin, A. M. (2020). Baldosas cerámicas obtenidas a partir de residuos de vidrio de envase. Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, Santa Catarina, Brasil.

INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE GRANO EN LA DUREZA Y LA PROFUNDIDAD DE LA CAPA ENDURECIDA EN ACEROS MICROALEADOS AISI/SAE 8620 Y 4140

MSc. Ronald González 1, MSc. Luis Betancourt 2.

Resumen

En la industria del transporte, el tamaño de grano austenítico previo (TGAP) es un factor crítico en la calidad del endurecimiento superficial de componentes, como los fabricados con aceros microaleados AISI/SAE 8620 y 4140. Esta investigación tuvo como objetivo determinar la influencia del TGAP en las características de la capa endurecida mediante un proceso de cementación. Para ello, se utilizaron muestras de ambos aceros, las cuales se sometieron a tratamientos de normalizado y recocido (850°C) para obtener dos tamaños de grano diferentes (ASTM 8 y ASTM 4). Posteriormente, se aplicaron ciclos de cementación a 900°C con tiempos de 60 y 120 minutos. Se evaluaron la dureza, profundidad y homogeneidad de la capa endurecida utilizando técnicas de microscopía óptica, dureza y perfil de microdureza Vickers. Los resultados evidenciaron que el endurecimiento aumenta al incrementar el número de tamaño de grano (G) del TGAP, por lo que un tamaño de grano fino es más beneficioso, ya que promueve una capa cementada con mayor dureza, profundidad y homogeneidad, preservando la tenacidad del núcleo. No obstante, la morfología de la martensita también influye en dicho endurecimiento. Se determinó que un ciclo de 120 minutos resultó en los mejores espesores, alcanzando 0.86 mm en el acero 4140 y 1.22 mm en el 8620. Estos hallazgos demuestran que el control del TGAP es crucial para la optimización del tiempo en la fabricación de componentes con las exigencias comerciales del sector transporte.

Palabras clave: *Tratamientos térmicos, Difusión, Tamaño de grano austenítico previo, metalografía cuantitativa.*

Recibido: 23/09/2025
Aceptado: 04/10/2025

1 MSc. Ronald González
gonzalezl.ronaldh@gmail.com
ORCID: 0009-0004-3489-6236

2 MSc. Luis Betancourt
betacruz2020@gmail.com
ORCID: 0009-0004-3037-5281

INFLUENCE OF GRAIN SIZE ON HARDNESS AND HARDENED LAYER DEPTH IN AISI/SAE 8620 AND 4140 MICROALLOYED STEELS

Abstract

In the transportation industry, the pre-austenitic grain size (PAGS) is a critical factor in the surface hardening quality of components such as those manufactured with AISI/SAE 8620 and 4140 microalloyed steels. This research aimed to determine the influence of PAGS on the hardened layer characteristics obtained through a carburizing process. Samples of both steels were subjected to normalizing and annealing treatments (850°C) to obtain two different grain sizes (ASTM 8 and ASTM 4). Subsequently, carburizing cycles were applied at 900°C for 60 and 120 minutes. The hardness, depth, and homogeneity of the hardened layer were evaluated using optical microscopy, hardness testing, and Vickers microhardness profiling. The results showed that hardening increases with increasing grain size (G) of the pre-austenitic austenitic (PAA) layer. A finer grain size is more beneficial, as it promotes a cemented layer with greater hardness, depth, and homogeneity, while preserving core toughness. However, the martensite morphology also influences this hardening. A 120-minute cycle resulted in the best thicknesses, reaching 0.86 mm in 4140 steel and 1.22 mm in 8620 steel. These findings demonstrate that PAA control is crucial for optimizing manufacturing time for components that meet the commercial demands of the transportation sector.

Palabras clave: Heat treatments, Diffusion, Pre-austenitic grain size, Quantitative metallography.

Introducción.

La demanda de componentes mecánicos más ligeros, eficientes y duraderos en el sector transporte ha impulsado la investigación en el campo de los tratamientos termoquímicos. La cementación es un proceso fundamental en la fabricación de piezas como engranajes, ejes y piñones, ya que confiere una superficie endurecida y resistente al desgaste, manteniendo un núcleo tenaz y dúctil. Este doble perfil de propiedades es crucial para que el componente pueda soportar las cargas cíclicas y de impacto inherentes a su funcionamiento (Da Silva et al., 2017). Sin embargo, la calidad del proceso de cementación no solo depende de variables operativas como la temperatura y el tiempo, sino también de características microestructurales inherentes al material, como el tamaño de grano austenítico previo (TGAP).

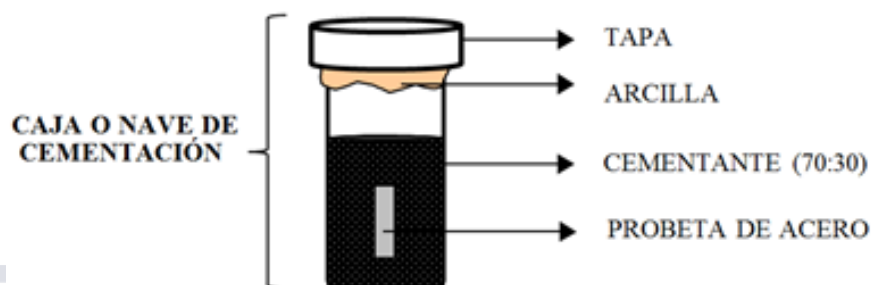
El TGAP se refiere al tamaño del grano de austenita al momento del temple y tiene una influencia directa en la cinética de la difusión y en las propiedades finales del acero (Kumar et al., 2021). Un TGAP fino se ha correlacionado con una mayor templeabilidad, una menor deformación durante el temple y una mejor tenacidad (Mahdian et al., 2016). A pesar de su importancia, el control y la evaluación del TGAP en la industria a menudo se subestiman (Sociedad Americana para Ensayos y Materiales (ASTM, por sus siglas en inglés) International, 2016). El objetivo de esta investigación fue determinar la influencia del TGAP sobre la dureza y la profundidad de la capa endurecida en aceros microaleados bajo la designación según AISI/SAE 4140 y 8620, con la finalidad de establecer un criterio técnico para optimizar el proceso de cementación para aplicaciones en el sector transporte.

1. Metodología Experimental.

Se seleccionaron seis (6) probetas de cada uno de los aceros microaleados AISI/SAE 8620 y 4140, para un total de doce (12) probetas. Para obtener dos tamaños de grano austenítico previo (TGAP) diferentes, las probetas se sometieron a los siguientes tratamientos térmicos:

- Tratamiento térmico (TT) de Normalizado: Las probetas se calentaron a 850°C por un tiempo de 60 minutos y se enfriaron al aire. Este proceso buscó obtener un tamaño de grano fino (aproximadamente $G= 8.0$).
- Tratamiento térmico (TT) de Recocido: Las probetas se calentaron a 850°C por un tiempo de 60 minutos y se enfriaron lentamente dentro del horno. Este proceso buscó obtener un tamaño de grano grueso (aproximadamente $G= 4.0$).
- Tratamiento térmico (TT) de Cementación: Se diseñaron y prepararon cuatro (4) naves o cajas de cementación cilíndrica con sus respectivas tapas. Internamente las probetas fueron distribuidas e inmersas en la mezcla de carbón vegetal (70%) y carbonato de bario (30%) empleado como agente cementante. Seguidamente, se sometieron a ciclos de cementación a 900°C en un horno tipo mufla marca Thermo Scientific / Thermo Line modelo 47900, a dos (2) tiempos de cementación: 60 y 120 minutos. En la figura 1 se puede observar de manera esquemática dicho proceso.

Figura 3. Transformación de la materia prima. Fuente: Briceño L, Carbone M, De la Rosa Y, Fray R, Pírela J (2025).



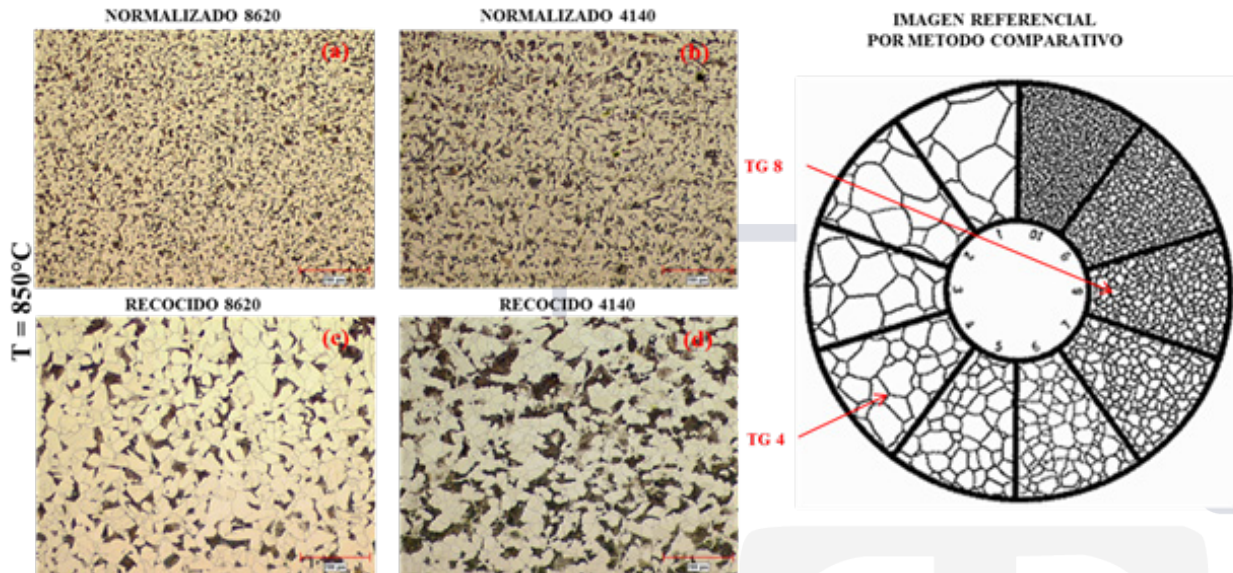
Una vez completados los ciclos, se realizaron las siguientes evaluaciones:

- **Caracterización Microestructural y Cuantificación del TGAP:** Las probetas se prepararon metalográficamente, según lo descrito en la norma ASTM E3-11/17 (ASTM International, 2017) (desbaste secuencial de lijas desde 80 hasta 600 grit, pulido por paños de nylon, fieltro, gamuza y terciopelo con abrasivo de suspensión de alúmina de 5, 1, 0,3 y 0,05 μ m. Seguidamente limpieza ultrasónica y ataque térmico por oxidación a 850°C por 3 minutos). Finalmente se observaron en un microscopio óptico Nikon modelo Epiphot 200, acoplado a un sistema de análisis de imagen Clemex Impak C. El TGAP se midió siguiendo el procedimiento del método Planimétrico de Jeffries de la norma ASTM E112-13 (ASTM International, 2013).
- **Evaluación de Propiedades Mecánicas:** La dureza se midió con un durómetro Marca Wolpert y un microdurómetro marca Clemex FM (para la capa cementada) bajo el método de Vickers, conforme a la norma ASTM E92-17 (ASTM International, 2017) y E384-22 (ASTM International, 2022), respectivamente. Esto con el propósito de determinar el perfil de dureza desde la superficie hacia el núcleo y establecer la profundidad de la capa endurecida.

2.Resultados y Discusión.

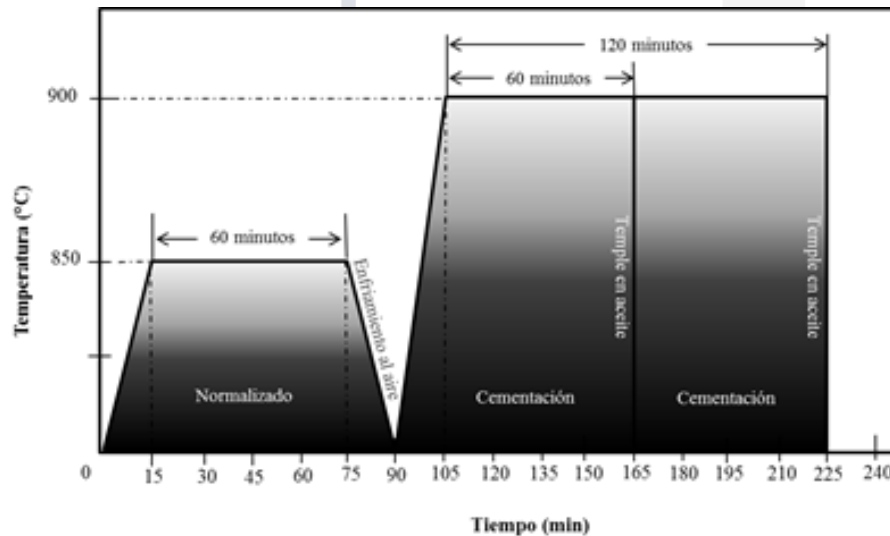
Los tratamientos térmicos iniciales de normalizado y recocido a temperatura constante de 850°C permitieron obtener los dos tamaños de grano iniciales deseados. Estos se determinaron mediante el método planimétrico y validados por comparación empleando la plantilla de la misma norma. Las probetas normalizadas presentaron un tamaño de grano más fino ($G= 8.0$), mientras que las recocidas mostraron un tamaño de grano más grueso ($G= 4.0$). En la figura 2 (a) y (b) se observan las fotomicrografías de ambos aceros tratados térmicamente, evidenciando una estructura bifásica de transformación en estado sólido constituida por Ferrita (granos claros) y Perlita (granos oscuros). En (c) y (d) se observa el notorio crecimiento o grosor del grano producto del recocido.

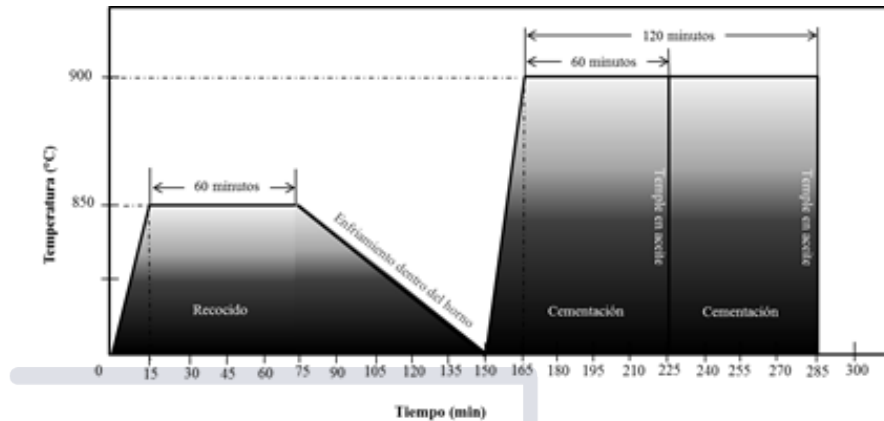
Figura 2. Fotomicrografías de las microestructuras resultantes del normalizado (a y b) y recocido (c y d) a 850°C/60 minutos. En todas las condiciones se observa una microestructura constituida por ferrita y perlita y tamaños de grano diferentes. Aumento: 100X



Para el proceso de cementación, como ya se mencionó anteriormente, se colocaron las probetas (previamente normalizadas y recocidas) en una nave o caja de cementación cilíndrica. Se llevaron a una temperatura constante de 900°C en dos (2) mesetas de permanencia 60 minutos (1 hora) y 120 minutos (2 horas), como se muestra de manera esquemática en la figura 3.

Figura 3. Esquema del diseño del tratamiento térmico de cementación.

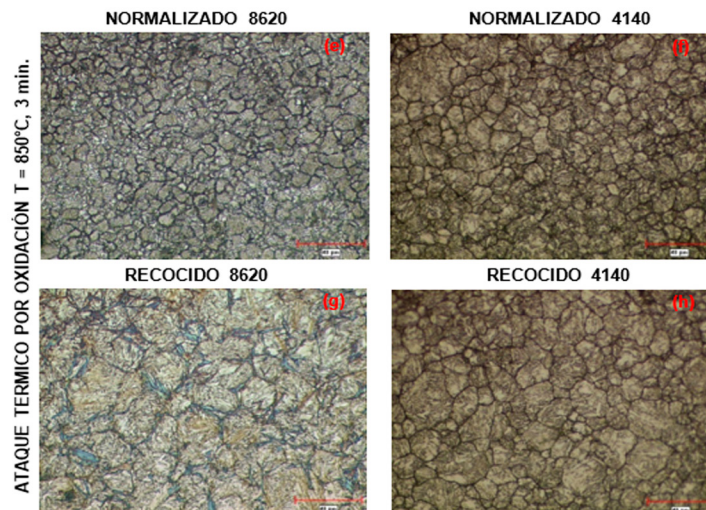




Los resultados de la cementación evidenciaron la clara influencia del TGAP en las propiedades finales de la capa endurecida. Se obtuvo que, en condición de normalizado, el acero AISI/SAE 8620 presentó un TGAP de 10 y el AISI/SAE 4140 de 9 según norma. Para la condición de recocido se obtuvo que el acero AISI/SAE 8620 presentó un TGAP de 8 y el AISI/SAE 4140 de 6 según norma. El método para revelar el TGAP fue el de oxidación térmica previa preparación metalográfica. En la figura 4 se puede observar la variación de dicho TGAP. Es importante señalar que las fotomicrografías tienen una magnificación de 500X, debido a que a aumentos más bajos se dificultaba la visualización y posterior cuantificación del TGAP.

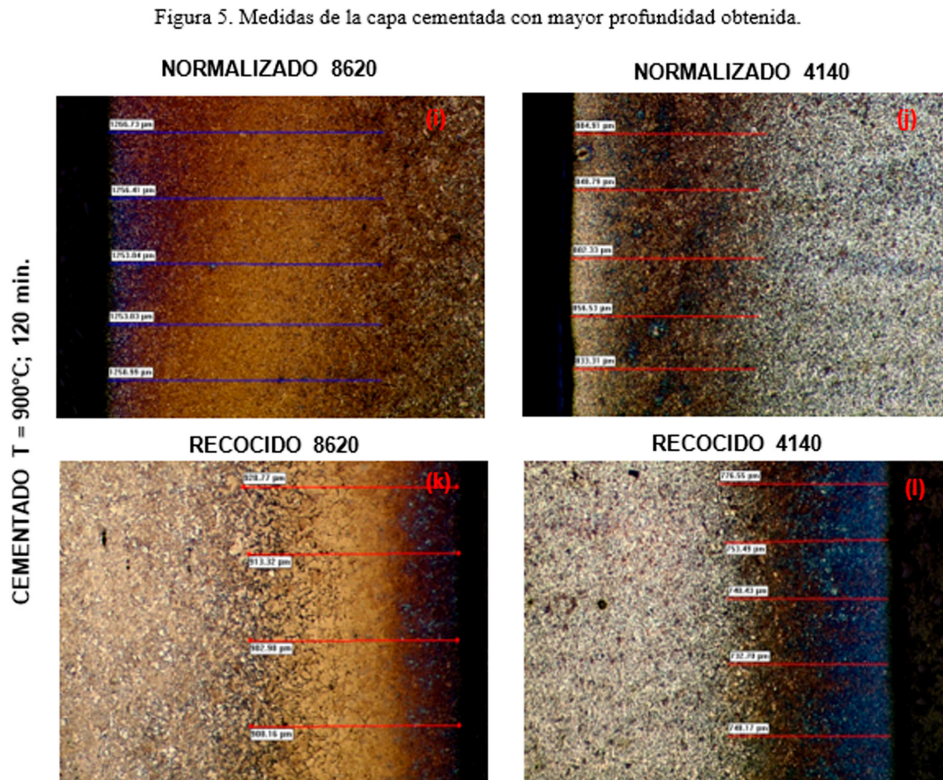
La investigación demostró que tanto el tamaño de grano austenítico previo (TGAP) como el tiempo de cementación son factores cruciales para la calidad de la capa cementada. Como era de esperarse, un mayor tiempo de permanencia en el horno favoreció la difusión de carbono, resultando en una penetración más profunda en todas las probetas. Sin embargo, se observó que este efecto fue particularmente beneficioso en las muestras con un TGAP fino ($G=10.0$ y 9.0) en comparación con las de grano grueso o de recocido ($G=8.0$ y 6.0).

Figura 4. Fotomicrografías de las microestructuras resultantes del ataque térmico por oxidación después del tratamiento térmico de cementación. Se observa un TGAP $G=10.0$ y 9.0 (muestras reviamente normalizadas) (e y f) y TGAP $G= 8.0$ y 6.0 (previamente recocidas) (g y h) respectivamente. Aumento: 500X



Queda evidenciado que la alta densidad de límites de grano actuó como múltiples vías para la difusión de carbono, lo que no solo incrementó la profundidad de la capa endurecida, sino que también promovió un perfil de concentración más uniforme y una microestructura de martensita más fina después del temple. Estos resultados, evidenciados en las fotomicrografías de la Figura 5, confirman que el control el TGAP es esencial para optimizar las propiedades de la capa cementada.

Figura 5. Medidas de la capa cementada con mayor profundidad obtenida.



Los ciclos de 120 minutos resultaron en una mayor profundidad de capa endurecida, alcanzando 1.22mm/1229µm en el acero AISI/SAE 8620 partiendo de un TGAP G= 10.0 y 0.86mm/861,17µm en el acero AISI/SAE 4140 partiendo de un TGAP G= 9.0, es decir, ambos en condición de normalizado. Estos valores son superiores a los obtenidos en los ciclos de 60 minutos, que fueron de 0.91mm/913,31µm en el acero AISI/SAE 8620 partiendo de un TGAP G= 8.0 y 0,75mm/750,25µm en el acero AISI/SAE 4140 partiendo de un TGAP G= 6.0.

El análisis de la dureza reveló que, si bien la dureza superficial aumentó en las probetas con un TGAP más grueso, esto tuvo un efecto negativo en la tenacidad del núcleo. Este compromiso no es ideal para componentes del sector transporte, los cuales requieren una alta capacidad para absorber impactos y cargas repentinas. En la tabla 1 se puede observar dicha diferencia en función de cada variable obtenida.

Tabla 1. Valores de dureza Vickers

ACERO	TT	TGAP	ESPESOR DE CAPA	DUREZA (15,25Kp)	
				HV	HRC
8620	CEMENTACIÓN (NORMALIZADO)	10	1,22 mm / 1229,18µm	618	56
	CEMENTACIÓN (RECOCIDO)	8	0,91 mm / 913,31µm	883	68
4140	CEMENTACIÓN (NORMALIZADO)	9	0,86 mm / 861,17µm	577	54
	CEMENTACIÓN (RECOCIDO)	6	0,75 mm / 750,25µm	695	60

HV: Hardness Vickers (Dureza Vicker); HR: Hardness Rockwell (Dureza Rockwell), escala C.

Fuente: resultados de la aplicación de la prueba

Los valores de dureza obtenidos en ambos aceros entran en el rango estándar establecido por los fabricantes de componentes endurecidos superficialmente bajo el tratamiento térmico de cementación (50 a 70 HRC).

Los valores de dureza máxima de la martensita en aceros como el AISI/SAE 4140 y el AISI/SAE 8620 están intrínsecamente ligados a su morfología, la cual a su vez depende del contenido de carbono (Callister, 2018). La martensita se genera a partir del enfriamiento rápido de la austenita, transformando su estructura cúbica en una tetragonal distorsionada, lo que produce su característica dureza. La forma en que se estructura esta fase, ya sea en listones o placas, determina las propiedades mecánicas finales del material (Reed-Hill & Abbaschian, 1992).

En aceros de bajo carbono, como el AISI/SAE 8620, la martensita adopta una morfología de listones. Estos listones se agrupan en bloques y paquetes, y debido a la menor cantidad de carbono en la red cristalina, la distorsión es menor, lo que se traduce en una microestructura más tenaz y menos frágil (Bhadeshia, 2001).

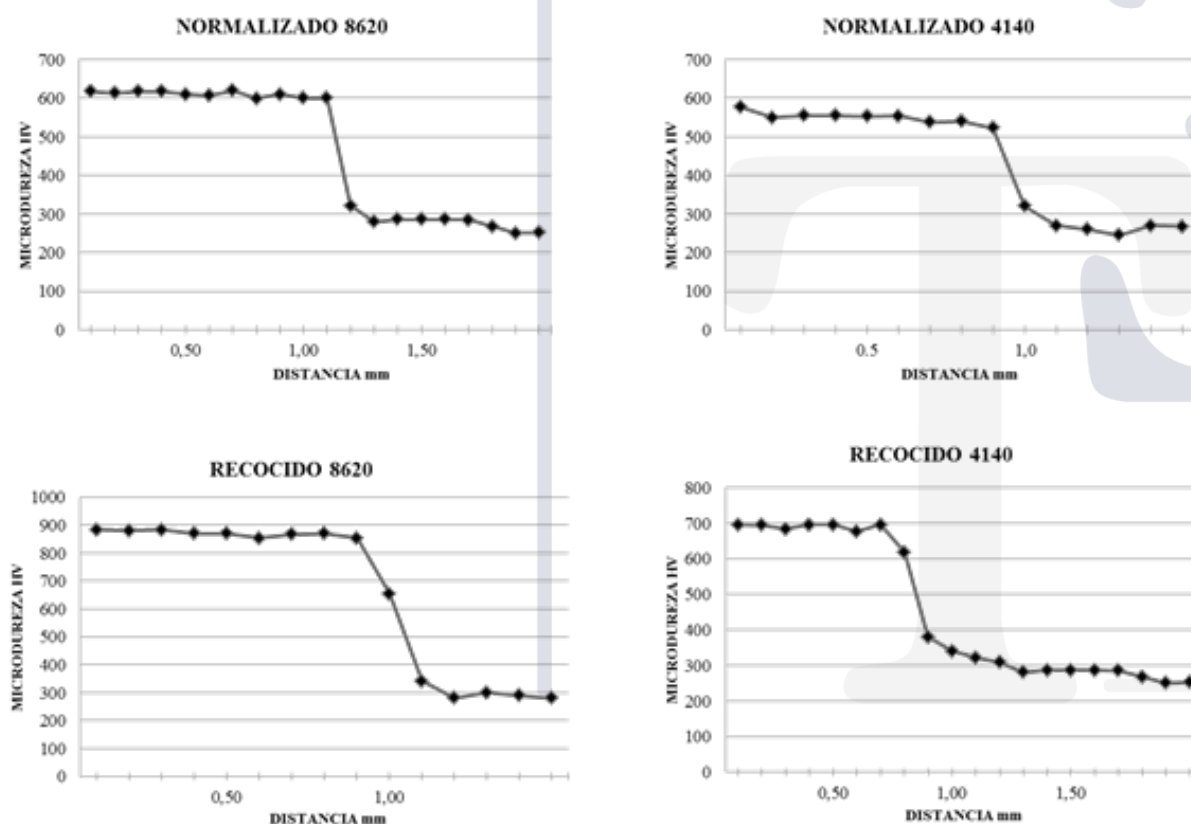
Por el contrario, en aceros de medio a alto carbono, como el AISI/SAE 4140, se forma martensita de placas. Estas placas son más grandes y se cruzan entre sí, generando una distorsión significativa en la red cristalina. Esto resulta en una mayor dureza, pero también aumenta la fragilidad de la estructura, lo que hace necesario un tratamiento térmico posterior de revenido para mejorar la tenacidad (Krauss, 2005).

Contrario a la expectativa de que el proceso de normalizado, al enfriarse al aire, debería producir una dureza superior a la del recocido (enfriamiento en horno), los resultados de dureza de la tabla 1 destacan una ligera diferencia en esta propie-

dad, lo que puede ser atribuible a la morfología de la martensita (tipo placas) y su relación con la dureza.

Con el propósito de validar la profundidad de la capa obtenida con el tratamiento térmico de cementación, se realizó un perfil de microdureza Vickers con carga de 300gf, desde el borde endurecido hasta el centro de las probetas. Los resultados de este perfil confirmaron la profundidad de la capa endurecida que se había medido previamente mediante microscopía óptica, tal como se muestra en la figura 5. A continuación, en la figura 6 se presentan los resultados del ensayo de microdureza, los cuales confirman lo antes señalado.

Figura 6. Perfil de microdureza Vickers desde la capa cementada al centro.



Conclusiones.

La investigación confirmó que el tamaño de grano austenítico previo (TGAP) y el tiempo de cementación son factores determinantes en la calidad y el rendimiento de la capa endurecida en los aceros AISI/SAE 4140 y 8620. Los hallazgos más significativos se resumen a continuación:

1. Influencia del TGAP: Un TGAP fino (ASTM G= 9.0 - 10.0) demostró ser considerablemente más beneficioso que un TGAP grueso (ASTM G= 6.0 - 8.0). La alta densidad de límites de grano en las microestructuras finas actuó como una red de difusión más

eficiente para el carbono, lo que resultó en una capa cementada más profunda y homogénea, con una microestructura de martensita más fina y una mayor dureza superficial. Además, el control de un TGAP fino es crucial para preservar la tenacidad del núcleo, una propiedad vital para los componentes del sector transporte que deben resistir cargas de impacto.

2.Impacto del Tiempo de Cementación: Los ciclos de cementación de 120 minutos resultaron ser los más efectivos, produciendo los mayores espesores de capa endurecida. Se alcanzaron 1.22 mm en el acero 8620 y 0.86 mm en el acero 4140, valores que cumplen con las exigencias del mercado.

3.Diferencias entre los Aceros: El acero AISI/SAE 8620 demostró tener una mayor capacidad de cementación y templabilidad en comparación con el 4140, lo que se atribuye a su composición química. Esto le permitió alcanzar una mayor profundidad de capa endurecida en los ciclos analizados.

En conclusión, el control del TGAP se establece como una herramienta estratégica para optimizar el proceso de cementación. Al favorecer un tamaño de grano fino, los fabricantes pueden no solo reducir los tiempos de tratamiento para alcanzar la profundidad de capa deseada, sino también garantizar la confiabilidad y durabilidad de los componentes para aplicaciones críticas en el sector transporte.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM International. (2013). ASTM E112-13: Standard Test Methods for Determining Average Grain Size. ASTM International.
- ASTM International. (2016). Carburizing and Carbonitriding. ASM International.
- ASTM International. (2017). ASTM E3-11/17: Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens. ASTM International.
- ASTM International. (2017). ASTM E92-17: Standard Test Methods for Vickers Hardness and Knoop Hardness of Metallic Materials. ASTM International.
- ASTM International. (2022). ASTM E384-22: Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials. ASTM International.
- Bhadeshia, H. K. D. H. (2001). Bainite in steels. IOM Communications.
- Callister, W. D. (2018). Material science and engineering: An introduction. Wiley.
- da Silva, D. M. T. F., Jorge, A. M., & da Costa, G. F. (2017). Effects of Carburizing and Quenching on the Mechanical Properties of Low-Alloy Steel. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 26(11), 5403–5411.
- Kumar, S. G. H. R., Satya, A. K., Reddy, A. D., Sreevani, V., & Sravanthi, T. (2021). An overview on the influence of heat treatment parameters on the microstructure and properties of steel. *Materials Today: Proceedings*, 46, 4991–4996.
- Krauss, G. (2005). Steels: Processing, structure, and performance. ASM International.
- Mahdian, M. M., Zarei, B., Khoshhal, A., & Farzin, K. (2016). Investigation of Prior Austenite Grain Size on Mechanical Properties of AISI 4140 Steel. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 25(2), 643–650.
- Reed-Hill, R. E., & Abbaschian, R. (1992). Physical metallurgy principles. PWS-Kent Publishing.

DETERMINACIÓN DEL MECANISMO DE DEGRADACIÓN DE UN KIT DE EMBRAGUE UTILIZADO EN VEHÍCULOS LIVIANOS

MSc. González Ronald 1, MSc. Betancourt Luis 2, TSU. Briceño Diego 3,
TSU. Génesis Medina 4.

Resumen

El objetivo de esta investigación consistió en determinar el mecanismo de degradación de un kit de embrague utilizado en vehículos livianos mediante una caracterización metalúrgica. La metodología experimental empleada consistió en: revisión de las especificaciones técnicas del kit, inspección visual y registro fotográfico al momento de recepción, selección de las zonas de corte, preparación metalográfica, caracterización microestructural por microscopía óptica y dureza Vickers en zonas de interés. Macroscópicamente se evidenció un patrón de corrosión generalizada, desprendimiento del material, deformación, fractura de algunos elementos de los componentes evaluados y falta de lubricación. Los resultados permiten indicar que la microestructura presente en los elementos del plato de presión corresponde a una matriz ferrito-perlítica y perlita con grafito laminar tipo A y C, características de acero al carbono y fundición gris, respectivamente. Los elementos del disco presentan martensita revenida con islas de austenita retenida, características de aceros al carbono tratados térmicamente e inclusiones no metálicas. Por último, la microestructura presente en los elementos del collarín corresponde a aceros de bajo carbono tratados térmicamente con un significativo grado de degradación y deformación en los balines, pistas, retenes y blindaje. La Dureza Vickers de los componentes se corresponde con los valores permitidos para este tipo de aplicación. Finalmente, se determinó que de los tres componentes que conforman el kit, el que sufrió mayor degradación fue el collarín, evidenciándose degradación por desgaste adhesivo. La dureza encontrada corresponde a las condiciones originales del material y a las declaradas por los fabricantes.

Palabras clave: Embrague, degradación, desgaste adhesivo, microestructura, dureza.

Recibido: 24/09/2025
Aceptado: 30/09/2025

1 MSc. González Ronald
gonzalezl.ronaldh@gmail.com
ORCID: 0009-0004-3489-6236

2 MSc. Betancourt Luis
betacruz2020@gmail.com
ORCID: 0009-0004-3037-5281

3 TSU. Briceño Diego
ikunami97@gmail.com
ORCID: 0009-0001-4160-6696

4 TSU. Génesis Medina
medinastrella16@gmail.com
ORCID: 0009-0001-4555-5275

DETERMINATION OF THE DEGRADATION MECHANISM OF A CLUTCH KIT USED IN LIGHT VEHICLES

Abstract

The objective of this research was to determine the degradation mechanism of a clutch kit used in light vehicles through metallurgical characterization. The experimental methodology employed consisted of: reviewing the kit's technical specifications, visual inspection and photographic documentation upon receipt, selection of cutting areas, metallographic preparation, and microstructural characterization by optical microscopy and Vickers hardness testing in areas of interest. Macroscopically, a pattern of generalized corrosion, material detachment, deformation, fracture of some elements of the evaluated components, and lack of lubrication were evident. The results indicate that the microstructure present in the pressure plate elements corresponds to a ferrite-pearlitic matrix and pearlite with type A and C lamellar graphite, characteristic of carbon steel and gray cast iron, respectively. The clutch disc components exhibit tempered martensite with islands of retained austenite characteristic of heat-treated carbon steels and non-metallic inclusions. Finally, the microstructure of the clutch collar components corresponds to heat-treated low-carbon steels with a significant degree of degradation and deformation in the balls, races, retainers, and shield. The Vickers hardness of the components corresponds to the values permitted for this type of application. It was determined that of the three components that make up the kit, the clutch collar suffered the most degradation, showing evidence of adhesive wear. The hardness found corresponds to the original condition of the material and to that declared by the manufacturers.

Palabras clave: *clutch, degradation, adhesive wear, microstructure, hardness.*

Introducción.

El embrague es un sistema fundamental en cualquier vehículo con transmisión manual. Su función principal es doble: facilitar el arranque transfiriendo gradualmente la potencia del motor a la caja de cambios y sincronizar los componentes para permitir los cambios de marcha (Camarena Lillo, 2012). Más que un simple pedal, el embrague es un complejo conjunto de piezas que gestiona uno de los procesos más exigentes del automóvil: la transferencia temporal y controlada del par motor (Corporación Valeo, 2009).

El correcto funcionamiento del embrague de fricción depende intrínsecamente de sus tres componentes principales: el plato de presión, el disco de embrague y el collarín (o rodamiento de empuje). La pieza más crítica, el disco de embrague, contiene un material de fricción cuyas propiedades tribológicas son vitales para el rendimiento y la durabilidad del sistema (Studocu, 2023). Estos materiales deben poseer un alto y estable coeficiente de fricción en un amplio rango de temperaturas y presiones, además de una excepcional resistencia al desgaste, la abrasión, las altas temperaturas y la fatiga (Shana et al., 2018; Li et al., 2020).

Debido a la constante y severa fricción que soporta, el embrague es un componente sujeto a un desgaste progresivo inevitable. Las fallas en estos sistemas son comunes y pueden atribuirse a defectos de fabricación, errores de instalación, uso inadecuado, o la degradación de los materiales por mecanismos como el desgaste abrasivo, adhesivo y la fatiga (Portillo, 2012).

El estudio de los daños en los kits de embrague se ha centrado históricamente en elementos retirados de servicio tras un fallo evidente. No obstante, la metalurgia y las especificaciones exactas de los materiales son a menudo información confidencial de los fabricantes, lo que dificulta una comprensión completa de los modos de degradación.

El presente estudio surge a partir del análisis de un kit de embrague de un vehículo sincrónico tipo Sedán que había operado por más de una década sin fallas reportadas. Durante un mantenimiento rutinario por reemplazo de la caja de cambios, se observó una ligera falta de lubricación en el collarín, que fue corregida de inmediato. Sin embargo, poco después, el vehículo comenzó a manifestar síntomas de falla: ruidos y dificultad para cambiar de marcha, culminando en la inoperatividad del sistema. El desmontaje reveló daños severos, incluyendo: fracturas en el diafragma del plato de presión, ralladuras y deformación plástica en las pistas del plato y pérdida de balines y deformación plástica en las pistas del collarín.

Ante la necesidad de entender la causa raíz de la falla y la metalurgia subyacente de un componente crítico de transporte, el propósito de esta investigación es determinar cuál o cuáles de los componentes del kit de embrague presenta el mayor estado de degradación y conocer la metalurgia de cada una de sus partes.

Para ello, se llevó a cabo una caracterización metalúrgica y mecánica exhaustiva de sus componentes principales, que incluyó: revisión de especificaciones, inspección macroscópica y registro fotográfico, selección de zonas de corte, preparación metalográfica, caracterización microestructural mediante microscopía óptica, y medición de dureza Vickers en zonas de interés. Esta metodología permitirá identificar el mecanismo de fallo predominante y generar información técnica que contribuya a la mejora de la durabilidad y confiabilidad de estos sistemas en el sector transporte.

1. Metodología.

Para alcanzar el propósito central de este estudio, se adoptó un enfoque cuantitativo bajo un paradigma positivista, empleando un diseño no experimental de estudio de caso con un alcance predominantemente explicativo.

La metodología experimental empleada abarcó las siguientes actividades: revisión de las especificaciones técnicas del kit, inspección visual y registro fotográfico al momento de recepción (evaluación macroscópica), selección de las zonas de corte, preparación metalográfica, caracterización microestructural por microscopía óptica y dureza Vickers en zonas de interés.

Se procedió a una inspección visual detallada de cada componente (plato de presión, disco de embrague y collarín). Durante esta fase, se realizó un registro fotográfico de todas las observaciones, incluyendo signos de desgaste, deformación, fracturas, corrosión y falta de lubricación. Esta evaluación preliminar fue fundamental para identificar las áreas de mayor interés para la posterior caracterización metalográfica.

Se seleccionaron varias zonas representativas para el corte y la preparación de las probetas metalográficas. Las muestras fueron cortadas cuidadosamente con una sierra de cinta y luego se incrustaron en una resina epóxica termoestable para facilitar su manejo. El proceso de preparación metalográfica se realizó de acuerdo con las especificaciones de la norma ASTM E3-11/17 (ASTM International, 2017), que establece los métodos para la preparación de muestras para el análisis metalográfico. La superficie de las probetas se pulió en varias etapas, comenzando con papeles de lija de carburo de silicio de granulometría decreciente y finalizando con paños de pulido con suspensión de alúmina (óxido de aluminio) de 1 y 0.05 micras para lograr una superficie especular y libre de defectos. Finalmente, las probetas se atacaron químicamente con una solución de Nital al 3% (3 ml de ácido nítrico en 97 ml de alcohol etílico) para revelar las características microestructurales de los componentes ASTM E407/15 (ASTM International, 2015).

La microestructura de las probetas se analizó utilizando un microscopio óptico con luz reflejada NIKON EPIPHOT 200, acoplado a un Sistema de Análisis de imagen CLEMEX IMPAK C. Se tomaron micrografías en zonas de interés para identificar las ca-

racterísticas microestructurales presentes y cualquier anomalía.

La dureza superficial y en profundidad de los componentes se determinó mediante un ensayo de dureza Vickers (HV), siguiendo la normativa ASTM E92-17 (ASTM International, 2017), que especifica el método de prueba estándar para dureza de metales. Se utilizó un Durómetro WOLPERT y una carga de 10 kg con un tiempo de aplicación de 15 segundos. Se tomaron al menos cinco mediciones por cada zona de interés para asegurar la representatividad de los datos, registrando los valores en una tabla para su posterior análisis.

Los métodos de análisis de datos aplicados fueron la Estadística Descriptiva, Análisis de Discrepancia entre los valores medidos y los esperados, y el Análisis Cualitativo-Científico para correlacionar los hallazgos microscópicos con los daños macroscópicos y la historia de servicio del vehículo. Esta aproximación integral buscó identificar los mecanismos de degradación del componente y generar conocimiento técnico para mejorar la durabilidad y confiabilidad de los sistemas de embrague en el sector transporte.

2. Discusión de resultados.

Macroscópicamente, el kit de embrague mostró claros signos de falla. Se evidenció un patrón de corrosión generalizada en la superficie de la carcasa del plato de presión y en el diafragma. El disco de embrague presentaba desprendimiento de material en la zona de contacto, así como una evidente deformación y falta de lubricación en el collarín. Se observaron fisuras en la superficie de la carcasa del plato de presión, lo que sugiere la exposición a altas temperaturas y posibles tensiones térmicas. El análisis inicial apuntó al collarín como el componente más afectado, con signos de severo desgaste y fractura en los retenes y balines (Figuras 1-3).

El análisis microestructural de los componentes reveló las siguientes características:

2.1. Plato de Presión: La microestructura observada en los componentes del plato de presión es diversa, el disco de presión tiene una estructura característica de una fundición gris de matriz perlítica con grafito laminar tipo A y C, lo cual es característico de este tipo de material y esencial para su capacidad de amortiguación de las vibraciones; la carcasa, el retén y los remaches exhiben una estructura de deformación ferrito-perlítica, característica de aceros de bajo carbono. Diafragma y sus paletas presentan una estructura de transformación en el estado sólido de matriz martensítica con islas, posiblemente, de austenita retenida, característica de un acero tratado térmicamente (Figura 4).

2.2. Disco de Embrague: La microestructura observada en los componentes del disco de embrague corresponden a diversos materiales: el buje central (a) y resortes (b) presentan estructuras de transformación en estado sólido (matriz martensítica, pequeñas colonias, posiblemente, de austenita retenida e inclusiones no metálicas

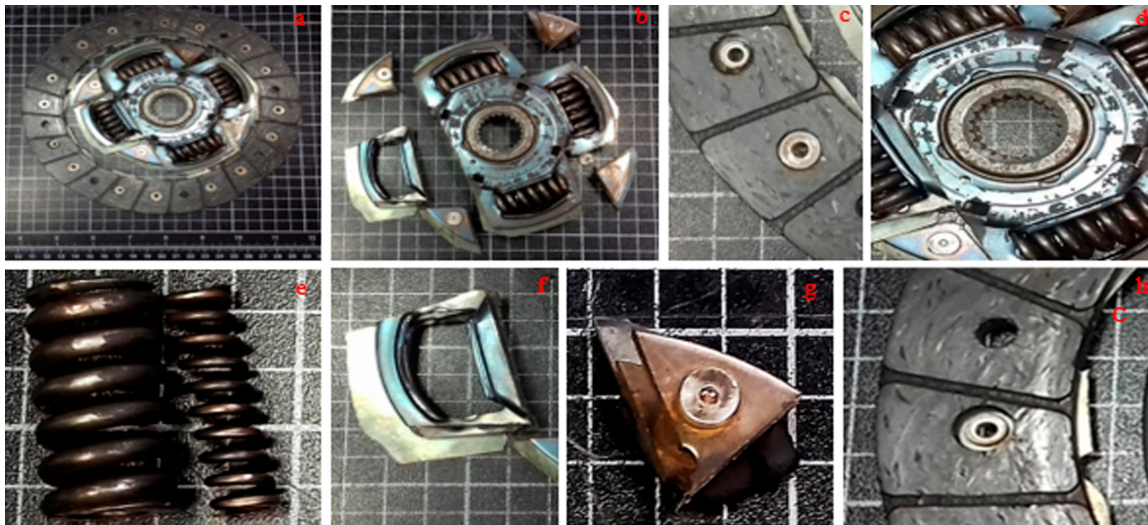
de óxidos tipo D (globulares)). Los pernos de fijación, rondana y remaches (c-e) exhiben una microestructura de ferrita y perlita, característica de acero de bajo y medio carbono; y la pastilla (f) es de naturaleza polimérica, se evidencia la presencia de microfibras de latón o aleación metálica base cobre y elementos orgánicos de características variables (Figura 5).

Figura 6. Perfil de microdureza Vickers desde la capa cementada al centro.



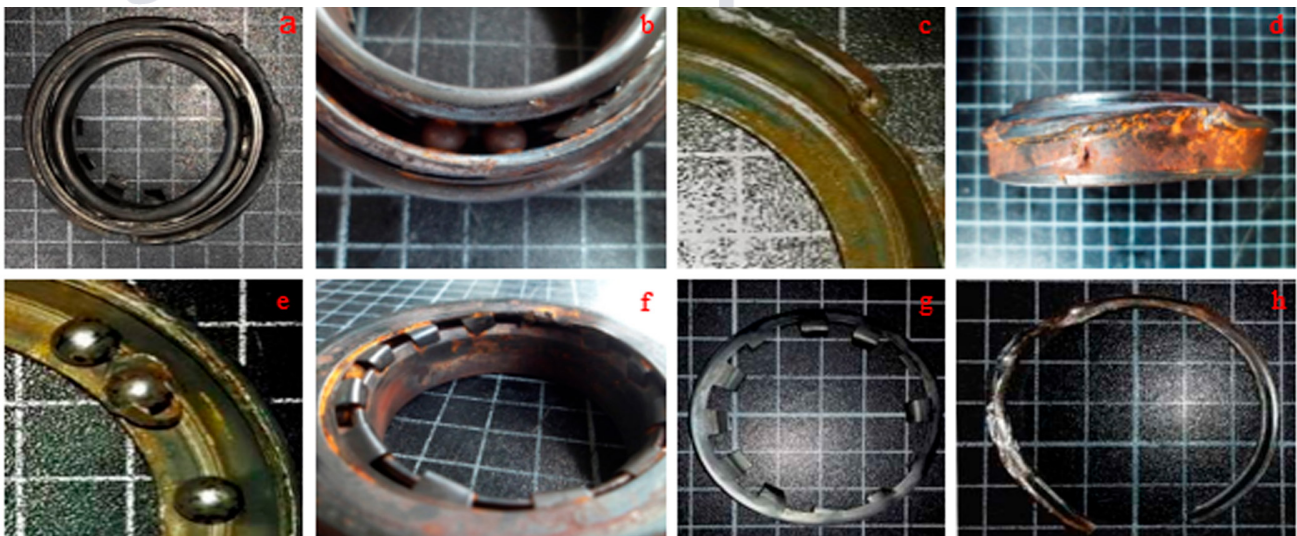
Se observa la vista general y cortes realizados a éste (a-i): Vista superior del plato con todos sus elementos (a) y cortes de cada uno de sus elementos (b-i): disco de presión (b), carcasa (e-f), diafragma (g), reten (h-i) y remaches (c-d) y detalle del inserto-plato-carcasa (c-d). Se evidencia depósitos de corrosión generalizada y un significativo desgaste abrasivo sobre su superficie (ralladuras), fracturas mixtas y abolladuras.

Figura 6. Perfil de microdureza Vickers desde la capa cementada al centro.



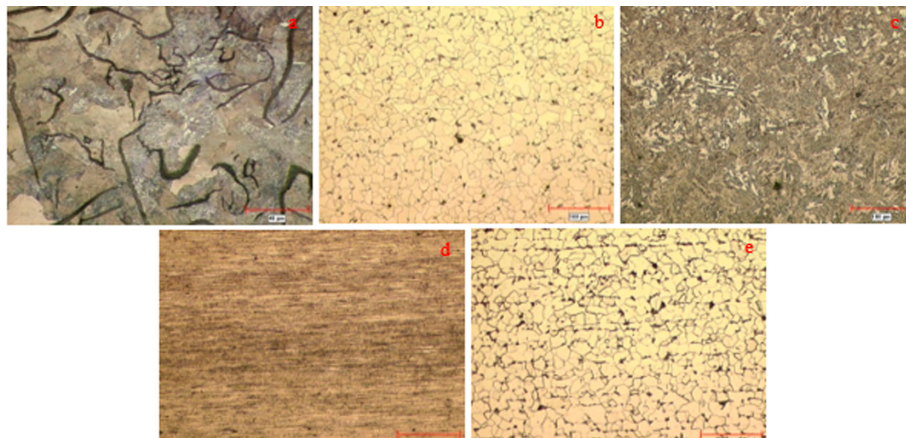
Se observa la vista general y cortes realizados a éste. Vista superior del disco (a) y cortes de cada uno de sus elementos (b-h). Se evidencia que los remaches (c) y el buje insertado en el centro del disco de embrague (d) presentan desprendimiento del cabezal, desgaste abrasivo y leve deformación, y depósitos de corrosión generalizada en gran parte de su superficie externa, desgaste en la zona dentada y ligeras abolladuras, respectivamente; los resortes o muelles de torsión (e), la rondana de arrastre (f) y los pernos de fijación (g) no presentan daño alguno en ninguna de sus secciones. Dentro de los resortes grandes se encuentra un resorte de dimensiones diferentes. La pastilla está formada por un aro continuo anclado a la rondana de arrastre mediante remaches (h), se evidencia la presencia de fibras y partículas brillantes de color cobrizo y desgaste general característico de su prestación de servicio.

Figura 3. Evaluación macroscópica del collarín del kit de embrague



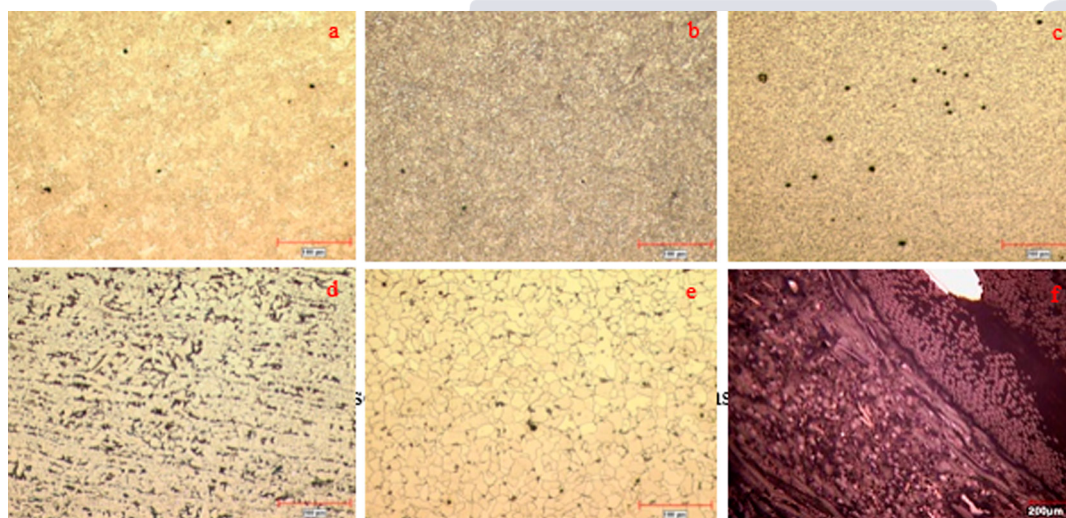
Se observa la vista general y cortes realizados a éste. Vista superior (a), detalles y cortes de cada uno de sus elementos (b-h): Las pistas externa e interna (b-d); los balines (e); el retenedor (f, g) y el blindaje (h) presentan corrosión generalizada, desprendimiento de material, desgaste abrasivo y deformaciones múltiples. Se observa fractura en uno de los puntos del blindaje (h).

Figura 4. Evaluación microscópica del plato de presión. Fuente: Observación de elementos microscópicos.



Se observa que los elementos de éste están fabricados de aleaciones de hierro (acero y fundición): el disco de presión presenta una matriz perlítica con grafito laminar tipo A y C (a), característica de una fundición gris; la carcasa, retén y remaches exhiben una matriz ferrito-perlítica (b, d y e), característica de aceros al carbono y en el diafragma se observa una matriz martensítica con islas de austenita retenida (c), típica de un acero tratado térmicamente. El retén presenta una estructura de deformación. Aumento: 500X (a), 200X (b, c y e) y 100X (d).

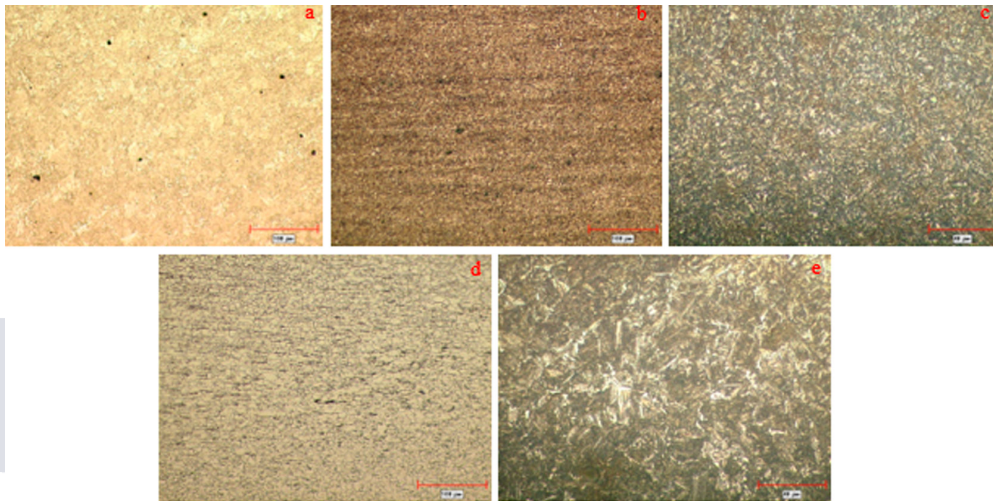
Figura 5. Evaluación microscópica del disco de embrague. Fuente: Observación de elementos del disco micro estructuras.



Presentan una matriz martensítica con pequeñas colonias, posiblemente, de austenita retenida e inclusiones no metálicas de óxidos del tipo D (globulares) (a-b); los pernos de fijación, rondana y remaches exhiben matrices ferrito-perlíticas, características de aceros al carbono (c-e) y la pastilla es de naturaleza polimérica con microfibras de latón o aleación metálica base cobre y elementos orgánicos de características variables (f). Aumento: 200X (a-b y e) y 100X (c-d y f).

Collarín: La microestructura observada en la mayoría de los componentes del collarín es característica de aceros al carbono tratados térmicamente: las pistas externas (a) e interna (b), los balines (c) y el blindaje (e) presentan estructuras de transformación en estado sólido (martensita revenida con un alto grado de deformación plástica en las zonas de contacto y austenita retenida) e inclusiones no metálicas de óxidos tipo D (globulares). El retenedor presenta una microestructura de ferrita y perlita, característica de un acero de bajo carbono, se evidencia, además, heterogeneidad en el tamaño de grano e inclusiones no metálicas que por su morfología y color corresponden, posiblemente, a sulfuros de manganeso tipo A (Figura 6).

Figura 6. Evaluación microscópica del collarín. Fuente: Resultado de la observación de microestructuras



Las microestructuras presentes en los elementos del collarín: pistas externas (a) e interna (b), balines (c) y blindaje (e) corresponden a martensita revenida, característica de aceros al carbono tratados térmicamente (temple y revenido), mostrando un significativo grado de degradación en los balines y deformación en las pistas, retenes y blindaje. El retenedor presenta una microestructura constituida por ferrita y colonias de perlita (d) característica de un acero de bajo carbono. Aumento: 200X (a-b y d) y 500X (c y e).

Los valores de dureza obtenidos son consistentes con las especificaciones de los fabricantes y las condiciones de los materiales tratados térmicamente para este tipo de aplicación. La alta dureza en los balines, pistas y la base del disco de embrague es crucial para soportar las altas cargas de contacto y desgaste. Los valores de dureza de los componentes se presentan en la Tabla 1.

A partir de la data macroscópica, microestructural y de dureza, se determinó que el principal mecanismo de degradación del kit de embrague fue el desgaste adhesivo en el collarín. Este tipo de desgaste se produce cuando dos superficies metálicas en contacto directo, sin una película lubricante adecuada, se unen y se arrancan mutuamente.

Tabla 1. Resultados del Ensayo de Dureza Vickers de los elementos que componen el kit de embrague

ACERO	TT	TGAP	ESPEJOR DE CAPA	DUREZA (15,25Kp)	
				HV	HRC
8620	CEMENTACIÓN (NORMALIZADO)	10	1,22 mm / 1229,18µm	618	56
	CEMENTACIÓN (RECOCIDO)	8	0,91 mm / 913,31µm	883	68
4140	CEMENTACIÓN (NORMALIZADO)	9	0,86 mm / 861,17µm	577	54
	CEMENTACIÓN (RECOCIDO)	6	0,75 mm / 750,25µm	695	60

Fuente: Aplicación de ensayos

La inspección visual del collarín mostró la pérdida de la película lubricante y la presencia de partículas metálicas finas. Microscópicamente, se evidenció una deformación plástica severa en los balines y las pistas. Los resultados de dureza confirmaron la alta dureza de estos elementos, lo que sugiere que estaban diseñados para resistir el desgaste. Sin embargo, la ausencia de lubricación causó el contacto directo metal-metal, llevando al desprendimiento del material en las superficies.

La guía de análisis de fallas Valeo® (Valeo, 2021) refuerza esta conclusión, ya que el patrón de desgaste observado en el collarín coincide con el perfil de desgaste adhesivo asociado a la pérdida de lubricación.

Conclusiones.

Los resultados de esta investigación permiten establecer las siguientes conclusiones:

- Se confirmó que los componentes principales del kit de embrague están fabricados con materiales adecuados para la aplicación, principalmente aceros al carbono tratados térmicamente, fundición gris y materiales poliméricos, con valores de dureza que cumplen con los estándares de diseño.
- El principal mecanismo de degradación fue el desgaste adhesivo, que se manifestó con mayor severidad en el collarín. Este desgaste fue causado directamente por la pérdida de la película lubricante, lo que provocó el contacto directo y el desprendimiento de material entre los balines y las pistas.
- A pesar de que el disco y el plato de presión también mostraron signos de degradación, la falla del collarín fue la causa raíz de la falla prematura del sistema de embrague.
- El estudio demuestra la importancia de un adecuado mantenimiento y lubricación para la prolongación de la vida útil de los componentes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTM International. (2017). ASTM E3-11/17: Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens. ASTM International.
- ASTM International. (2017). ASTM E92-17: Standard Test Methods for Vickers Hardness and Knoop Hardness of Metallic Materials. ASTM International.
- ASTM International. (2015). ASRM E407-15: Standard Practice for Microetching Metals and Alloys. ASTM International.
- Camarena Lillo, F. (2012). Diseño del embrague de un vehículo. [Tesis de grado, Escuela Politécnica Superior-Universidad Carlos III de Madrid].
- Corporación Valeo. (2009). Guía de diagnóstico de averías en embragues. Valeo Service. www.valeoservice.com
- Li, X., et al. (2020). Study on the failure of clutch pressure plate based on fatigue test and fracture analysis. *Engineering Failure Analysis*, 110, 104443.
- Portillo, D. E. (2012). Fallas por desgaste: abrasivo y adhesivo. Capítulo 11.
- Shana, F., et al. (2018). Analysis of failure modes of clutch system in a light passenger vehicle. *Journal of Engineering*, 5(2), 11–20.
- Studocu. (2023). Materiales de fricción. [Apuntes de clase]. <https://www.studocu.com/es-ar/document/universidad-nacional-de-cuyo/mecanica-aplicada/materiales-de-friccion/7927727?origin=course-highest-rated-2>
- Valeo. (2021). Guía de análisis de avería de embrague. Valeo Service S.A.S.

DE LOS TRABAJOS

- Para las revisiones teóricas: Título en español, autor (es) dirección(es) institucional(es) precisa, resumen, palabras clave, introducción, fundamentos teóricos con interpretaciones, comparaciones, reflexiones o postura críticas; primeras aproximaciones o consideraciones finales y referencias bibliográficas.
- Para las Investigación: Título en español, autor (es) direcciones(es) institucional(es) precisa, resumen, palabras clave, introducción, objetivo o propósito, metodología, resultados o hallazgos y discusión o interpretación, conclusiones y referencias bibliográficas.
- Para proyectos: Título en español, autor (es) direcciones(es) institucional(es) precisa, resumen, palabras clave, introducción, objetivo (general y específico), metodología, posibles resultados y referencias bibliográficas. Debe redactarse en futuro.
- Para informes de proyectos comunitarios en desarrollo o conclusión: Título en español, autor (es) direcciones(es) institucional(es) precisa, resumen, palabras clave, introducción, objetivo o propósito, acciones ejecutadas, resultados, hallazgos o logros parciales o finales y referencias bibliográficas
- Para la Sistematización de experiencias: Título en español, autor (es) direcciones(es) institucional(es) precisa, resumen, palabras clave, introducción. Desarrollo y resultados.

DE LAS NORMAS EDITORIALES

1. La redacción de los trabajos debe realizarse en español.
2. Los márgenes deben ser superior, derecho e inferior tres (3) centímetros; el izquierdo, cuatro (4) centímetros.
3. La extensión del documento deberá estar entre 10 y 15 cuartillas, tamaño carta (216 x 279mm).
4. Interlineado 1.5 (espacio y medio), con un máximo 45 renglones por página en todo el texto, salvo en: a) las citas textuales extensas y las notas; b) los títulos, subtítulos y acápites; c) la lista de referencias, y, d) el mini-currículo, en los que el interlineado es sencillo.
5. Tipo de letra Arial 12 puntos y con numeración arábiga consecutiva, incluyendo, y referencias (bibliográficas, hemerográficas, documentales, orales, entre otras).
6. El Título debe ser claro, breve, conciso y llamativo que exprese la idea central del trabajo con una extensión no mayor a 15 palabras en negrillas con mayúsculas sostenida.
7. Los títulos de cada sección de escribirán a la izquierda en el texto en mayúsc-

culas y en negrillas. Los subtítulos se escribirán en mayúsculas y minúsculas en negrillas y justificado a la izquierda.

8. El Resumen no deberá exceder las 150 palabras a espacio sencillo en un solo párrafo. Al final del resumen, en un máximo de dos líneas se deberá escribir de tres (3) a cinco (5) palabras clave. Asimismo, deberá tener su versión equivalente en idioma inglés: título en inglés (abstract), key Word(s) (toda palabra diferente al idioma castellano ha de colocarse en cursiva). No deben usarse siglas.

9. Los gráficos, tablas o cuadros, debe ser referidos en el texto. Títulos en negrillas, numerados, con letras no menor 10, ni mayor de 12 puntos.

10. En relación al formato y resolución, las imágenes deben enviarse en formatos como JPG, PNG o TIFF, con una resolución mínima de 800x600px.

11. Se recomienda a los autores tener en cuenta las normas internacionales de nomenclatura (símbolos, unidades y abreviaturas) por ejemplo; Litro (L), gramo (g), y kilogramo (kg).

12. Las citas textuales o paráfrasis serán mecanografiadas siguiendo el Manual de estilo de publicaciones de la American Psychological Association (APA). Las citas textuales cortas menos de 40 palabras serán referidas de la siguiente manera: apellido(s) de autor(es), seguido del año entre paréntesis, dos puntos y el número de página(s) y se incluirán como parte del párrafo entre comillas.

13. En el caso de citas textuales mayores a 40 palabras se debe separar del resto del texto: Se comienza en la siguiente línea, identificada en forma de bloque, y sin comillas. La referencia puede escribirse antes del bloque o al finalizar el mismo, en el formato: Hernández, (2015, p.54) o (Hernández, 2015, p.34). Se deberá evitar el uso de citas superiores a las quinientas (500) palabras, sin permiso del autor, salvo que se trate de documentos oficiales, fuentes de tipo legal o cuando el texto citado sea objeto de análisis de contenido y revisión crítica en páginas subsiguientes del artículo.

14. En el caso de varias obras del mismo autor publicadas en el mismo año, se ordenarán literalmente en orden alfabético; por ejemplo, (Hernández, 2008^a, p. 36), Hernández (2008b, p.24)

15. Los documentos electrónicos, se deberán referenciar el autor o autores o al grupo que asume autoría por el documento, y el año respectivo de publicación.

16. Las referencias bibliográficas:

a. Deberán estar ordenadas alfabéticamente, mecanografiada a espacio y media entre ellas, con sangría francesa.

b. Las consultas de páginas web: dirección electrónica, autor, título y fecha de la consulta.

c. Materiales legales: nombre del material y año

d. Tesis: apellidos, iniciales del autor(es), año de la publicación, título en cursivas, lugar, editorial.

e. Artículos en revista: apellidos, iniciales del nombre del autor(es). (año de publicación) título en cursiva, volumen en cursiva (número entre paréntesis), página del artículo.

17. Consentimiento informado:

En el caso de imágenes de pacientes, historias de vida, entrevistas, se requiere el consentimiento informado y una carta de autoría.

POLÍTICA DE LAS SECCIONES

Los distintos tipos de artículos que se reciben en la Revista se publican en cuatro secciones:

1) Las presentaciones: elaboradas exclusivamente por el coordinador o coordinadores responsables de los volúmenes monográficos.

2) Los artículos de los volúmenes monográficos: recogen manuscritos que abordan el campo temático de la revista, establecida por una convocatoria abierta. Están coordinados por la Dirección de Investigación y Creación Intelectual (DICI) que se responsabiliza de la propuesta de los trabajos que serán posteriormente evaluados para su publicación. El Comité Editorial de la Revista, evalúa las propuestas de los monográficos recibidas por la Unidad de Divulgación y Socialización del DICI y establece la oportuna planificación de los mismos. Se priorizará en esta sección las investigaciones originales que ofrezcan resultados, así como los estudios o ensayos que hagan avanzar el conocimiento en las áreas pertinentes de la revista.

3) Los artículos de los números especiales: recogen estudios y/o artículos de investigación que abordan temáticas de la revista, pero distintas a los volúmenes monográficos convocados. Se dará prioridad en esta sección las investigaciones originales que ofrezcan resultados, así como los artículos o ensayos que hagan avanzar el conocimiento.

4) Las reseñas de libros: recogen reseñas bibliográficas de libros recientes.

DE LOS AUTORES

La Revista recibirá trabajos inéditos de:

- Un(a) autor(a)
- Varios autores en caso de ser colectivos de investigación. Se entiende por colectivos de investigación al grupo social organizado, dinámico, que interactúan en forma sinérgica, en aras de conseguir acciones formadoras y transformadoras, mediante la comprensión, reflexión del conocimiento; tales como: centros y líneas de investigación, colectivos de estudiantes, docentes, obreros y administrativos. El

límite máximo de autores será de cinco (5).

- En el caso de los avances de proyectos de investigaciones, investigaciones terminadas, la revista aceptará hasta un máximo de cinco (5) autores por proyecto.
- En el caso de recibir varios trabajos de un mismo autor o colectivos de investigación, la revista publicará un (1) solo trabajo por edición, dejando una publicación de por medio.

EVALUACIÓN CIENTÍFICA

- Proceso de evaluación de doble ciego por pares

Todos los trabajos se someten a una revisión editorial y ética por parte de miembros del Comité Editorial.

Esta evaluación incluye, al menos, la comprobación de:

- La adecuación de la temática a las líneas de la Revista
- La originalidad, novedad e interés del tema tratado
- La observación de los requisitos formales
- La aceptación de las condiciones de publicación
- La ausencia de conflictos de interés y el cumplimiento de la normativa sobre derechos de autor y normas éticas de la revista.

En caso favorable, pasarán a la evaluación científica anónima por parte de los revisores externos mediante el "sistema doble ciego". Para la valoración positiva de cada manuscrito en esta fase es preceptivo el informe favorable de tres (3) expertos.

Los evaluadores podrán provenir del comité editorial, comité de árbitros de la revista, de docentes, obreros y administrativos expertos en determinada área, o ser externos de la UPTZ.

Para la revisión de determinados artículos se acudirá a revisiones metodológicas específicas.

Finalizado el proceso de arbitraje externo del artículo, el Comité Editorial tomará la decisión definitiva sobre su publicación, a partir de las recomendaciones de los revisores, en cualquiera de los siguientes sentidos:

- Rechazar el artículo catalogándolo de No Publicable.
- Aceptar la publicación luego de que se hayan subsanado las observaciones sugeridas que pueden ser consideradas como Publicable con ligeras modifica-

ciones, o Publicable con modificaciones sustanciales, según sea el caso.

- Aceptar su publicación.

La decisión definitiva sobre la publicación o no del manuscrito es comunicada a los/as autores/as exclusivamente por escrito.

- Tiempo estimado del proceso de evaluación y publicación

El tiempo estimado del proceso de evaluación es de dos a cuatro meses, ya que se prevé que habitualmente existen por los menos 1 o 2 rondas de evaluación previa hasta que el artículo esté APTO para ser publicado. Tanto el evaluador como el autor tienen un periodo aproximado de 30 días por ronda para realizar su tarea. (Este periodo es estimativo, ya que depende exclusivamente de los autores y revisores implicados en cada artículo.)

Una vez que el artículo esté APTO para ser publicado, el proceso de edición (que comprende la corrección de sintaxis, traducción y la maquetación del artículo) es de aproximadamente entre uno a dos meses.

A su vez, siempre estos periodos están sujetos a las fechas de publicación de la Revista, de edición semestral.

POLÍTICA DE ACCESO ABIERTO

La Revista Expresión Tecnológica es gratuita inmediatamente tras la publicación de cada número. La Revista no cobra tasas por envío de trabajos, ni tampoco cuotas por la publicación de sus artículos.

Sus contenidos se distribuyen con la licencia Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional, que permite al usuario copiar, usar, difundir, transmitir y exponer públicamente sus contenidos, siempre y cuando se cite la autoría. De este modo, la revista asume claramente las políticas de Acceso Abierto (OAI), en consonancia con los principios de acceso e intercambio libre al conocimiento, promovidos desde los movimientos internacionales contenidos en las Declaraciones de Budapest, Bethesda, Berlín, etc.

POLÍTICA DE ARCHIVO

La revista incluye una política para la preservación de sus artículos, que se basa en almacenar la información en formatos ampliamente usados hoy en día. Esto aumenta la probabilidad de que cuando un formato se vuelva obsoleto aún existan programas para su conversión: HTML y PDF son ejemplos de estos.

Además, la revista desarrolla diversos procesos destinados a garantizar la accesibilidad permanente de los objetos digitales que alberga en sus propios servidores:

- Copias de seguridad.
- Seguimiento del entorno tecnológico para prever posibles migraciones de formatos o software obsoletos.
- Metadatos de preservación digital.
- Utilización de DOI.

POLÍTICA DE DERECHOS DE AUTOR

Aquellos autores/as que tengan publicaciones con esta revista, aceptan los términos siguientes:

a) En el momento en que una obra es aceptada para su publicación, se entiende que el autor cede a la Revista Expresión Tecnológica los derechos de reproducción, distribución de su artículo para su explotación en todos los países del mundo en formato de revista de papel y electrónica, así como en cualquier otro soporte magnético, óptico y digital.

b) Los autores/as conservarán sus derechos de autor y garantizarán a la revista el derecho de primera publicación de su obra, el cual estará simultáneamente sujeto a la Licencia de reconocimiento de Creative Commons que permite a terceros compartir la obra siempre que se indique su autor y su primera publicación esta revista.

c) Los autores/as podrán adoptar otros acuerdos de licencia no exclusiva de distribución de la versión de la obra publicada (p. ej.: depositarla en un archivo telemático institucional o publicarla en un volumen monográfico) siempre que se indique la publicación inicial en esta revista.

d) Se permite y recomienda a los autores/as difundir su obra a través de Internet (p. ej.: en archivos telemáticos institucionales, repositorios, bibliotecas, o en su página web), lo cual puede producir intercambios interesantes y aumentar las citas de la obra publicada.

POLÍTICA DE DIVULGACIÓN DE CONFLICTOS DE INTERESES

Los autores/as de un manuscrito, los editores/as de la revista que lo recibe y sus revisores/as (internos y externos), deben dar a conocer cualquier conflicto de intereses que pudiera influir en el manuscrito o en su revisión y aprobación. En caso de que los autores declaren un conflicto de intereses, éste debe ser informado a los revisores del manuscrito. A su vez, los invitados a revisar un manuscrito deben excusarse de hacerlo si tienen conflicto de intereses con los autores o el tema. La revista garantiza que serán escogidos los revisores más idóneos en términos de compatibilidad temática y de prestigio académico.

En caso de controversia, la Revista Expresión Tecnológica se compromete a dirimir estos casos a través de su Consejo Editorial. Que será el encargado de resolver estos casos, y se tomarán las medidas razonables para identificar e impedir la publicación de artículos en los que se hayan producido casos de mala conducta en la investigación. En ningún caso la Revista alentará dicha conducta impropia, ni permitirá, a sabiendas, que se produzca dicha conducta impropia.

En el caso de que el editor o los editores de la revista se enteren de cualquier acusación de mala conducta en la investigación, el editor informará al Comité de Bioética para que este tramite y sustancie las acusaciones apropiadamente.

POLÍTICA DE PLAGIO

El Comité Editorial considerará una conducta antiética, las siguientes:

- Copia textual, fiel o exacta de un determinado texto, con suplantación u omisión del autor del mismo. Esta copia puede ser total o parcial.
- Paráfrasis incorrecta mediante el cambio o sustitución de solamente algunas palabras de un texto, apropiándose de elementos sustanciales y estructurales de la obra reconocida como original de un autor, sin citar al mismo.
- Incumplimiento de normas de publicación o de citación propias del medio científico y académico, como, por ejemplo, la falta de comillas en reproducciones textuales de frases o párrafos cortos y omisión de la fuente, al no incorporarla al texto mediante el sistema autor-fecha, al no indicar la referencia al pie de página o mediante otro sistema de citas.
- Auto plagio o reproducción total o parcial que hace un autor de su propia obra antes publicada, sin señalar o citar su trabajo anterior. En los casos de uso de párrafos o fragmentos de la obra, este asunto queda corregido cuando se emplea el recurso de la auto cita. En situaciones de capítulos u obras completas, debe existir la aclaratoria o advertencia del autor, señalando que el trabajo ha sido publicado con anterioridad.
- Cualquier otra conducta antiética que atente contra las buenas prácticas editoriales, Las mismas deberán ser denunciadas ante el Comité Editorial para ser investigada y tomar las acciones a las que hubiere lugar.

La Revista pondrá a disposición de los árbitros los programas Anti plagios necesarios para garantizar las buenas prácticas investigativas y contribuir con una cultura de investigación apegada a los principios éticos universalmente aceptados.

El Comité de Bioética será el encargado de conocer, dirimir y solventar los casos

de plagio en sus distintas manifestaciones. También emitirá lineamientos, consultas y atención a cualquier autor o institución que lo solicite, en relación a los dilemas o contravenciones de las normas éticas vigentes.

DECLARACIÓN DEL USO DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Tomando como punto de partida la Declaración de Heredia de 2024, en lo relacionado a los principios que deben atenderse en cuando al uso de la Inteligencia Artificial, la revista propenderá:

En general

1. Los roles de edición, revisión y autoría están a cargo de seres humanos que pueden mediar el proceso de publicación de documentos científicos. En el ejercicio de dichos roles, las personas deben formarse para adoptar y alfabetizar en práctica responsables alrededor de la comunicación científica y de inteligencia artificial.

2. La IA no debe sustituir las responsabilidades o rendición de cuentas de las personas que ejercen estos roles. Tampoco el proceso editorial debe depender exclusivamente de acciones relacionadas con IA.

Sobre el rol de autoría

3. Son seres humanos quienes ejercen el rol de autoría, a estas personas se les puede reconocer la capacidad de –en ejercicio de su intelecto– crear, tomar decisiones y asumir las responsabilidades por las obras generadas. Así, los modelos de lenguaje, chatbots o la IA generativa no pueden ser considerados autores, pues no pueden asumir de manera integral estas tres condiciones.

4. Declarar explícitamente el uso de IA en los procesos de investigación y de elaboración de textos científicos –durante cualquier etapa del proceso de publicación científica– es una muestra de transparencia que suma a las buenas prácticas para garantizar la reproducibilidad de la ciencia. Al respecto, es necesario considerar una explicación solvente que mencione, al menos:

- El modelo de IA, su versión, la fecha de uso.
- Cómo se usó, identificar las interacciones y combinaciones que se pueden articular entre modelos.
- Qué productos y formatos –de los generados por dicha interacción– se integraron a la publicación de resultados.
- Citar y referenciar el modelo empleado, comprendiendo la diversidad y potencial complejidad de las interacciones y combinaciones que se pueden articular al emplear esta herramienta.

5. Se espera que las personas autoras hayan filtrado la información sobre los contenidos aportados como respuesta un modelo de IA y que a partir de estos insumos

generen nuevo conocimiento. Validar la veracidad de la información obtenida resulta aún más relevante en el contexto actual. No se pueden asumir como verdaderas o absolutas las respuestas que ofrece la IA. Evitar el plagio, la desinformación, la propagación de sesgos u otro fraude académico es parte de las acciones que las personas autoras deben realizar al momento de interactuar con los modelos de IA. Procurar que se usen insumos de manera legítima debe ser un interés permanente de quienes ejerzan el rol de autoría.

6. Se deben proteger los datos personales, confidenciales, sensibles o de terceros cuando no se cuente con una autorización explícita para utilizarlos como parte de consultas a un modelo de IA.

7. Se debe mencionar, también, si se ha contado con el financiamiento de un tercero para la implementación o uso de modelos de IA en el proceso de investigación o de publicación.

Sobre el rol de revisión

8. La responsabilidad del criterio emitido para recomendar, o no, la publicación de un texto científico –o para proponer correcciones y mejoras– es de la persona en el rol de revisión. La interacción con la IA no reemplaza su criterio experto o su rendición de cuentas.

9. Cuando se haya incorporado el uso de IA como complemento de la revisión, es necesario indicarlo al equipo editorial y, a través de ellos, a las personas autoras.

Indicar, al menos, el nombre del modelo, la versión, la fecha de uso, así como el enunciado como instrucción de evaluación es parte de un ejercicio transparente y trazable de la evaluación de contenidos.

10. Las personas revisoras deben estar en capacidad de explicar la interacción que han tenido con la IA, qué insumos han recibido y cuánto de dichos insumos han sido considerados en las observaciones, comentarios, recomendaciones y solicitudes de corrección que hayan emitido como criterios de evaluación de un texto científico.

Sobre el rol de edición

11. La responsabilidad del proceso de edición es de la persona editora y del equipo editorial que le acompaña. El uso de IA no debe reemplazar la responsabilidad de los seres humanos o su rendición de cuentas al ejercer tareas de edición o seguimiento a las acciones de personas revisoras y autoras. La labor de edición de textos científicos no debe depender del uso de IA.

12. Las personas editoras evidenciarán cuando hayan utilizado IA en alguna parte del proceso editorial. Se reportará el nombre del modelo, la versión, la fecha de uso, así como el enunciado de trabajo asignado.

13. Se establecerán estrategias de prevención para evitar la propagación de sesgo, la desinformación o cuando no se pueda garantizar el respeto o el abordaje

ético de los datos personales. Además, se promoverá el uso de datos abiertos, de calidad, fiable y respaldado por el consentimiento o autorizaciones que permitan a la IA hacer un uso legítimo de dicha información.

14. Se comunicará a las personas autoras y lectoras, cuando, en atención a la transparencia, las tareas editoriales o las de revisión se hayan apoyado en el uso de IA.





Expresión Tecnológica

JULIO - DICIEMBRE 2025 VOL. 3 Nº 2
Cabimas, Edo. Zulia

TOXICOLOGÍA LABORAL: IDENTIFICACIÓN, EVALUACIÓN Y CONTROL DE SUSTANCIAS QUÍMICAS EN ENTORNOS LABORALES. Occupational toxicology: Occupational toxicology: identification, evaluation and control of chemical substances in occupational environments. *María del Pilar Nava 1, Antonio Medina 2.*

FACTORES CONTAMINANTES EN EL AIRE COMPRIMIDO PARA EL RECUBRIMIENTO DE TABLETAS EN EL SECTOR FARMACÉUTICO. Contaminating factors in compressed air for tablet coating in the pharmaceutical sector. *Dr. Calixto José Hernández Gil 1.*

VALIDACIÓN DE UN MÉTODO VOLUMÉTRICO PARA DETERMINAR HIERRO (Fe) EN ADITIVOS DE PELETIZACIÓN. Validation of a volumetric method for determining iron (fe) in pelletizing additives. *Sivira Eilin 1, Páez Pedro 2, Castro José 3.*

PERFIL FÍSICO-QUÍMICO DE BEBIDAS CARBONATADAS: UNA CARACTERIZACIÓN EN EL MERCADO ACTUAL. Physical-chemical profile of carbonated beverages: A characterization of the current market. *Navas Eduar 1, Castro José 2.*

OPTIMIZACIÓN DE CO₂-EOR CON MODELO BAYESIANO Y APRENDIZAJE POR REFUERZO EN TIEMPO REAL, CUENCA ORIENTAL, VENEZUELA. CO₂-eor optimization with a bayesian model and real-time reinforcement learning, eastern basin, Venezuela. *Cabrera Kelvin 1.*

DISEÑO BIOMECÁNICO DE ÓRTESIS PARA TOBILLO PERSONALIZADA EN ASISTENCIA DE LA MARCHA EN ADULTOS JÓVENES. Biomechanical design of customized ankle orthosis for gait assistance in young adults. *Augusto Carrizo 1.*

TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN: UN MODELO ESTRATÉGICO-PARTICIPATIVO PARA OPTIMIZAR LA GERENCIA EDUCATIVA UNIVERSITARIA. Information and communication technologies: a strategic-participatory model for optimizing university educational management. *Pérez Markelly 1, González Ronald 2.*

PLANTA PARA LA PRODUCCIÓN DE BALDOSAS CERÁMICAS A PARTIR DE RESIDUOS DE VIDRIOS. Plant for the production of ceramic tiles from glass waste. *Briceño Luiseliz 1, De la Rosa Yoger 2, Carbono Mayra 3, Fray Richard 4, Pirela Jose 5.*

INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE GRANO EN LA DUREZA Y LA PROFUNDIDAD DE LA CAPA ENDURECIDA EN ACEROS MICROALEADOS AISI/SAE 8620 Y 4140. Influence of grain size on hardness and hardened layer depth in aisi/sae 8620 and 4140 microalloyed steels. *MSc. Ronald González 1, MSc. Luis Betancourt 2.*

DETERMINACIÓN DEL MECANISMO DE DEGRADACIÓN DE UN KIT DE EMBRAGUE UTILIZADO EN VEHÍCULOS LIVIANOS. Determination of the degradation mechanism of a clutch kit used in light vehicles. *MSc. González Ronald 1, MSc. Betancourt Luis 2, TSU. Briceño Diego 3, TSU. Génesis Medina 4.*

ISSN: 2244-8705

ISSN-E: 2244-8713

REVENCYT: RVR 077

DEPÓSITO LEGAL: PP201202ZU4039