



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**REVISTA
DE DIFUSION
N° 13
VOL. 1 (2024)
ISSN: 1390-7395**



Energía Mecánica

INNOVACIÓN Y FUTURO



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS
DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA



UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y

• CUERPO EDITORIAL

CRNL. DE C.S.M. VÍCTOR VILLAVICENCIO A. PhD.
Rector.

TCRN. DE E.M.S. DANIEL CHAMORRO MSc..
Director Sede Latacunga

ING. EDISÓN ESPONOSA G. PhD.
Jefe de Investigación (I+D+i) y Vinculación

ING. EURO MENA M. MSc.
Director General de la revista
Director del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

ING. GERMÁN ERAZO LAVERDE MSc.
Docente Tiempo Completo, Universidad de las Fuerzas Armadas
ESPE/ Editor General, Miembro Grupo SAEM R&D

**ENERGÍA MECÁNICA ,
INNOVACIÓN Y FUTURO**
Revista de Difusión No.11
ISSN : 1390 - 7395
Publicación Anual
500 EJEMPLARES

• RESPONSABLE LEGAL:

Universidad de Fuerzas Armadas - ESPE Sede Latacunga
Quijano y Ordóñez y Hnas. Páez.
Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
emecanica@espe.edu.ec
einnovacion-el@espe.edu.ec
wgerazo@espe.edu.ec
032810206 Ext. 4301
Diciembre 2022

• EQUIPO TÉCNICO:

Gestión Técnica
Ing. Sonia Chacón Claudio

Diseño de portadas:
Poveda.



• COMITÉ CIENTÍFICO EDITORIAL

PhD. ENDER CARRASQUERO C.
Director Académico del Centro Venezolano de Estudios del
Trabajo y Ergonomía

PhD. MARÍA ELENA VILLAPOLO
CYA.
Docente Auckland
University of Technology

PhD. GUSTAVO RODRÍGUEZ
CIYA - UTC
Universidad Técnica de Cotopaxi.

PhD. RICARDO URRUTIA
Universidad de Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga

ING. ÓSCAR ARTEAGA LÓPEZ MSc.
Universidad de Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga,
SAEM R&D

ING. NÉSTOR ROMERO G. MSc.
Universidad de Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga,

ÍNDICE

Simulación del proceso de doblado de una lámina de acero inoxidable 316L Cold 14 - 23

Simulation of the bending process of a 316L Cold stainless steel sheet

José G. Trujillo, José S. Arias, Juan P. Brazales, Mario P. Andrade

Aplicaciones y ventajas de la impresión 3D en la industria automotriz del Ecuador. 24 - 34

Applications and advantages of 3D printing in the automotive industry in Ecuador automotive industry in Ecuador

Oscar Patricio Ortiz Cundar, Abel Polibio Remache Coyago, Flavio Arroyo Morocho

Desarrollo de una aplicación de apoyo en el diagnóstico del sistema de inyección electrónica a gasolina utilizando programación Python 35 - 42

Development of an application to support the diagnosis of the electronic gasoline injection system using Python programming

Anthony Alexander Chávez Alvear , Havit Amin Garzozzi Calderón , Marcelo Xavier Estrella Guayasamín

Obtención del ciclo de conducción urbano para la ciudad de Riobamba en horas pico y no pico mediante la recolección de datos de los factores de operación y consumo energético obtenido por un dispositivo OBD 43 - 56

Obtaining the urban driving cycle for the city of Riobamba in peak and non-peak hours by collecting data on the operation factors and energy consumption obtained by an OBD device.

Paúl Montúfar, Roberto Calva, Andrés Flores

57 - 61

Medición de la Banda Óptica en Films Compuestos de PVA

Optical Band Measurement in PVA Composite Films

José I. Trujillo, José G. Trujillo, Mario P. Andrade



Desarrollo de una Metodología para la Generación de Mapas Cartográficos de Inyección y Encendido Utilizando una ECU Programable en Motores de Encendido Provocado con Cuerpo de Aceleración Electrónico 62– 69

Development of a Methodology for the Generation of Cartographic Maps of Injection and Ignition Using a Programmable ECU in Ignition Engines with Electronic Throttle Body

Josué Castro, Eddi Chancay, Marcelo Estrella

Determinación de niveles de ruido percibido en el interior del habitáculo de vehículos tipo sedan en recorridos urbanos de Guayaquil 70– 75

Determination of Perceived Noise Levels Inside Sedan Vehicles on Urban Routes in Guayaquil

Reinaldo Ramírez, Cristian Arechúa, José Bustamante

Diseño e implementación del sistema de alimentación alternativo GLP de quinta generación para motores de combustión interna GDI 76– 85

Design and implementation of the fifth generation LPG alternative feeding system generation for internal combustion engines GDI.

Guayanlema, Alejandro A, Feijoo Vivas Galo , Quiroz Leonidas

Sistema de estimación de consumo de combustible y autonomía de los motores de inyección directa funcionando con gas licuado del petróleo. 86– 91

Fuel consumption and range estimation system for direct injection engines running on liquefied petroleum gas.

Guano Rocha Santiago Joel, Ibarra López Ángel David

Dinámica de Motociclos Eléctricos 92– 97

Electric Motorcycle Dynamics

Daza Martínez, Eric Ricardo , Vargas Tuitise, Yubert Alan

REVISTA ENERGÍA MECÁNICA INNOVACIÓN Y FUTURO

Es una publicación de difusión científica de periodicidad anual con ISSN 1390 – 7395, que relaciona el área de Ciencias de la Ingeniería y Profesiones afines. Pertenece a la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, El Grupo de Investigación SAEM R&D, que permite difundir trabajos de investigación de profesionales internos y externos con temáticas relacionadas a: Diseño y Mecánica Computacional, Procesos de Manufactura, Mecánica de Sólidos, Energía y Termofluidos, Sistemas Automotrices, Petroquímica y Mecatrónica, a través de temas de interés, relevancia y actualidad tecnológica. Dispone de un comité editorial conformado por personal interno y externo, así como de un amplio grupo de profesionales que realizan la función de revisores que permiten seleccionar la información a ser difundida a través de la revisión por pares.





"La investigación es ver lo que todo el mundo ha visto y pensar lo que nadie más ha pensado."
— *Albert Szent-Györgyi.*

Me complace presentar la decimotercera edición de la revista "ENERGÍA MECÁNICA, INNOVACIÓN Y FUTURO", una publicación científica del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, que busca impulsar el conocimiento, la innovación y el pensamiento crítico dentro y fuera del ámbito académico.

Esta revista nace del esfuerzo conjunto de investigadores, docentes y profesionales comprometidos con el desarrollo de soluciones sostenibles y tecnologías que impacten positivamente a la sociedad. En sus páginas, se refleja una visión integral de la ingeniería moderna, entendida no solo como una herramienta técnica, sino como un puente entre la ciencia, la creatividad y el progreso.

La edición actual reúne una variedad de artículos que abordan temas clave relacionados con la energía, los sistemas mecánicos, la movilidad, los nuevos materiales y el uso de herramientas digitales en la industria. Cada trabajo es resultado de la dedicación, el análisis riguroso y la pasión por innovar.

A lo largo de este número, los lectores encontrarán estudios aplicados, desarrollos tecnológicos y propuestas de mejora que responden a los desafíos actuales del país y del mundo. Desde procesos de manufactura y tecnologías limpias, hasta soluciones digitales en el diagnóstico automotriz, esta edición demuestra la capacidad transformadora de la ingeniería cuando se combina con la investigación.

Agradecemos profundamente a todos quienes han aportado con su conocimiento, tiempo y esfuerzo para hacer posible esta publicación. Su compromiso no solo fortalece el rol de la universidad como espacio de pensamiento y acción, sino que también inspira a las futuras generaciones de ingenieros e investigadores.

Los invitamos a recorrer estas páginas con curiosidad y entusiasmo, recordando que el futuro se construye desde hoy, con ideas, ciencia y trabajo en equipo.

Ing. Daniel A. Chamorro E. MSc. .

TCRN. de E.M.S.

Director ESPE - SL



La edición número XIII de la Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro se enorgullece de presentar una cuidadosa selección de trabajos de investigación que abordan temas relevantes en las áreas de ingeniería automotriz, mecatrónica, petroquímica, diseño de materiales y otras disciplinas afines. Estos trabajos, realizados por destacados profesionales académicos y científicos, son el resultado de un riguroso proceso de selección basado en estándares de calidad científica y tecnológica establecidos por la comunidad académica y el Grupo de Investigación SAEM R&D.

Este número reúne una variedad de trabajos que abordan temáticas actuales y de gran impacto, desde simulaciones industriales, soluciones energéticas sostenibles, herramientas digitales aplicadas al diagnóstico vehicular. Cada artículo refleja el esfuerzo colaborativo de estudiantes, docentes e investigadores comprometidos con la innovación y el desarrollo tecnológico.

Agradecemos a todos los autores y colaboradores que han hecho posible esta edición. Su aporte fortalece el rol de la universidad como motor de conocimiento y progreso.

Nos sentimos motivados a fomentar la participación de la comunidad académica nacional e internacional, alentando la contribución y difusión de investigaciones a través de esta plataforma auspiciada por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE y el Grupo de Investigación SAEM R&D. Con esta iniciativa, aspiramos a promover la innovación y la excelencia en el campo de la ingeniería y disciplinas afines, impulsando el desarrollo científico y tecnológico tanto a nivel local como global.

Ing. Germán Erazo Laverde MSc.

Editor



PETROQUIMICA



***NÓMINA DE PROFESIONALES QUE COLABORAN COMO PARES DE REVISIÓN EN
LA REVISTA ENERGÍA MECÁNICA INNOVACIÓN Y FUTURO***

Ing. Celin Abad Padilla Padilla Msc.	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Ing. Juan Carlos Rocha Hoyos MSc.	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
MSc. Luis Tipanluisa PhD	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Ing. Daniel Vélez MSc.	Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi
MSc. Sebastián Puma PhD	Instituto Tecnológico de Monterrey, México
Ing. Zamir Mera PhD..	Universidad Técnica del Norte
Ing. Carlos Xavier Rosero PhD.	Universidad Técnica del Norte
Ing. María Fernanda Mogro MSc.	Universidad de Fuerzas Armadas ESPE
Ing. Alex Santiago Cevallos Carvajal	Universidad de Fuerzas Armadas ESPE
Ing. Alexandra Corral Díaz MSc.	Universidad de Fuerzas Armadas ESPE
Ing. Stefania Amaya Sandoval MSc.	Universidad de Fuerzas Armadas ESPE
Ing. Yadira Semblantes Claudia	Universidad de Fuerzas Armadas ESPE
Ing. Víctor Danilo Zambrano León MSc.	Universidad de Fuerzas Armadas ESPE
Dr. Wilson Marcelo Román Vargas Mg.	Universidad de Fuerzas Armadas ESPE
Ing. Patricia Constante MSc.	Universidad de Fuerzas Armadas ESPE
PhD. Julio César Pino Tarragó	Universidad Estatal del Sur de Manabí
Ing. Daniela Alexandra Jerez Mayorga MSc.	Universidad Internacional del Ecuador
Ing. Juan José Castro Mediavilla MSc.	Universidad Internacional del Ecuador
Ing. Edwin Homero Moreano Martínez MgC.	Universidad Técnica de Cotopaxi
PhD. Héctor Luis Laurencio Alfonso	Universidad Técnica de Cotopaxi
Ing. Fredy Rosero Obando MSc.	Universidad Técnica del Norte
Ing. Ramiro Rosero MSc.	Universidad Técnica del Norte
Ing. Cristian Laverde Albarracín PhD.	Universidad Técnica Estatal de Quevedo



TÍTULO DE ARTÍCULO A SER PRESENTADO EN LA REVISTA ENERGÍA MECÁNICA INNOVACIÓN Y FUTURO (EN ESPAÑOL)

TÍTULO DE ARTÍCULO A SER PRESENTADO EN LA REVISTA ENERGÍA MECÁNICA INNOVACIÓN Y FUTURO (EN INGLÉS)

1Nombre Apellido Autor, 2 Nombre Apellidos Autor, 3 Nombre Apellidos Autor,
1-2-3 Institución o filiación, Dirección

Correspondencia Autores: [email autor o autores](#)

Recibido: _____, Publicado: _____

Resumen—.

Se presentan las instrucciones generales para presentar el artículo científico en la Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro Vol. 4 necesarios para ser considerada su publicación.

El resumen presenta el objetivo, alcance, resultados que sean fácilmente identificables por los lectores.

Debe contener de 150 a 250 palabras. Use la letra tipo Times New Roman en tamaño 9 en texto justificado cursivo negrita.

Palabras clave—.

Palabras que relacionan el contenido del artículo que se encontrarán en el resumen serán de 3 ó 4 citándose en orden alfabético

Abstract— .

Traducción del resumen en Inglés.

Keywords—.

Traducción de las palabras clave

Documento en plantilla de Microsoft Word para la preparación de artículos. Incluye una descripción de las fuentes, espaciados e información relacionada para generar la versión final, se adjunta archivo de ejemplo.

Redactado en página A4 , los márgenes deben ser: superior, inferior , izquierdo y derecho 25 mm.

La hoja debe estar dividida en dos columnas.

La versión final del artículo se debe enviar sin el nombre de los autores para su revisión por pares ciegos en un archivo en formato PDF con el fin de publicarlo en línea y en formato Word , La información de autores se encontrará en el Sistema OJS.

Para consultas dirigirse a: wgerazo@espe.edu.ec , einnovacion-el@espe.edu.ec

Instrucciones.

El artículo en general no excederá más de 8000 palabras entre 10 y 12 carillas máximo e incluir:

- Título en español e inglés
- Autores y su filiación institucional
- Resumen en español e inglés
- Palabras clave en español e inglés

Contenido del Artículo:

- I. Introducción , contiene:
 - Fundamentación
 - Definiciones
 - Revisión de literatura
 - Formulación de objetivos y establecimiento de hipótesis

II. Materiales, fuentes y métodos

- Recopilación de datos
- Tratamiento de las variables
- Análisis estadístico
- Material adicional
- Figuras
- Tablas

III Análisis de resultados

- Discusión.

IV Conclusiones

- Referencias bibliográficas

NORMATIVA:

Título principal

El título del artículo debe estar centrado y con Fuente Times New Roman tamaño 14, escrito con letras mayúsculas

Nombre del Autor(s) y afiliaciones

Los nombres del autor(es) deben estar centrados abajo del título y con fuente Times New Roman tamaño 8, sin negrita tal como se indica en la parte superior de este documento.

Se escribirá primero el nombre y luego el apellido.

Si el artículo tiene más de un autor, los nombres estarán separados por comas de manera que todos los nombres se los autores estén en una sola línea. Los detalles de los autores no deben mostrar ningún título profesional como PhD, MSc, Dr.

Utilizar editor de ecuaciones.

Enumere las ecuaciones consecutivamente de ser el caso , colocando la numeración entre paréntesis y alineándola con el margen derecho.

Utilizar unidades del sistema métrico SI.

REFERENCIAS

Aquí se colocará la bibliografía utilizada.

Verificar las citas colocadas, considerar la norma : IEEE - APA

Las referencias se presentan al final ordenadas numéricamente en corchetes [1] según el orden de aparición en el texto. Un punto debe seguir al paréntesis

Referencias múltiples pueden citarse con paréntesis separados por un guión [1]–[3]. Cuando se cite un libro indicar las páginas con la información relevante.

Al final del artículo liste y enumere todas las referencias bibliográficas con una fuente Times New Roman tamaño 12.

Usar “et al” si hay más de tres autores.

Resultados y Discusión

Analizar datos, valores curvas obtenidas en el proceso de desarrollo del artículo o investigación.

Conclusiones

Obtenidas de los datos y tablas.

Biografía. Se ubicará en el Sistema OJS.

El resto de artes y diseños se colocarán por parte de la editorial.

PROCESO DE EVALUACIÓN POR PARES

La revista Energía y Mecánica dispone de registro ISNN 1390-7395 conferido por la SENESCYT a petición de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE. Todo artículo debe ser inédito, el mismo que se enviará previa convocatoria al Comité Editor de la Revista, la cual siguiendo el proceso de calificación y arbitraje por pares especialistas a ciegas quienes considerarán su publicación.

Responsabilidades de los Revisores

a) Aporte a la decisión editorial

El proceso de revisión por pares ayuda al Editor de la revista a tomar decisiones editoriales y a través de la comunicación editorial con el autor también ayuda a mejorar la calidad y el texto de un manuscrito sometido a la revista. Los revisores se comprometen en realizar una revisión crítica,

constructiva y honesta de la calidad científica de un manuscrito.

b) Respeto a los plazos de revisión

El revisor que no se sienta adecuado para realizar la tarea propuesta o que crea que no puede realizar la revisión en el tiempo requerido por la revista deberá informar al Editor de forma inmediata.

c) Confidencialidad

Cualquier texto asignado para su lectura será considerado confidencial. Por lo que dichos textos no deben discutirse con otras personas sin el permiso expreso del Editor.

d) Objetividad

La revisión por pares debe realizarse objetivamente. Cualquier juicio personal sobre el autor es inapropiado. Se requiere que los revisores justifiquen adecuadamente los juicios y comentarios realizados de un manuscrito.

e) Reconocimiento a fuentes de información

Los revisores se comprometen a indicar con precisión las referencias bibliográficas de trabajos fundamentales que el autor podría pasar por alto. Estas recomendaciones deben hacerse de manera transparente sin querer aumentar las citas a trabajos realizados por los mismos revisores. El revisor también debe informar al Editor de cualquier similitud o superposición del texto recibido para su revisión con otras obras que conozca.

f) Conflictos de interés y divulgación

La información confidencial o las indicaciones obtenidas durante el proceso de revisión por pares deben considerarse confidenciales y no pueden utilizarse para fines personales. Se requiere que los revisores no acepten revisar artículos para los que exista un conflicto de intereses debido a relaciones de colaboración o competencia con el autor y/o su institución de origen.

Responsabilidades de los Autores.

a) Acceso y retención de datos

Si el Editor lo considera apropiado, los autores de los artículos también deberán hacer

disponibles las fuentes o los datos en los que se basa la investigación desarrollada, para que puedan mantenerse durante un periodo de tiempo razonable después de la publicación y posiblemente hacerlos visibles.

b) Originalidad y plagio

Los autores deben garantizar que han escrito trabajos completamente originales y si los autores han utilizado el trabajo y/o las palabras de otros deberán indicarlo o citarlo correctamente en el manuscrito.

c) Publicaciones múltiples, repetitivas y/o concurrentes

El autor no debe publicar artículos que describan la misma investigación en más de una revista. Proponer el mismo texto a más de una revista al mismo tiempo es éticamente incorrecto e inaceptable.

d) Especificaciones de fuentes

El autor siempre debe proporcionar la indicación correcta de las fuentes y contribuciones mencionadas en el artículo. Un artículo debe contener suficientes detalles y referencias para permitir una respuesta.

e) Autoría de la obra

La autoría del trabajo debe ser correctamente atribuida y todos aquellos que han realizado una contribución significativa a la concepción, organización, implementación y reelaboración de la investigación que es la base del artículo deben indicarse como coautores. Si otras personas han participado significativamente en ciertas fases de la investigación, su contribución debe ser reconocida explícitamente. En caso de contribuciones de múltiples, el autor que envía el texto a la revista debe declarar que ha indicado correctamente los nombres de todos los demás coautores, que ha obtenido la aprobación de la versión final del artículo y su consentimiento para su publicación en la revista.

f) Conflicto de intereses y divulgación

Todos los autores deben indicar en su manuscrito cualquier conflicto financiero u otro conflicto de interés que pueda interpretarse de

manera tal que influya en los resultados o la interpretación de su trabajo. Todas las fuentes de apoyo financiero para el proyecto deben ser divulgadas correctamente.

g) Errores en artículos publicados

Cuando un autor descubra un error significativo o una imprecisión en su trabajo publicado, debe notificar de inmediato al Editor de la revista para retirar o corregir el texto.

CÓDIGO DE ÉTICA

Energía Mecánica Innovación y Futuro es una revista científica revisada por pares, inspirada en el código de ética para publicaciones desarrollada por el Comité de Ética de Publicaciones (COPE – Committee on Publications Ethics).

Responsabilidades de los Editores

a) Decisiones de publicación

El Editor de la revista es el responsable de decidir si publicar o no los artículos. El Editor se ampara en el Comité Científico de la revista y está sujeto a los requisitos de las leyes aplicables con respecto a la difamación, la infracción de derechos de autor y el plagio. El Editor de la revista puede comunicarse con otros editores o revisores para tomar sus propias decisiones.

b) Equidad

El Editor de la revista evalúa los artículos propuestos para su publicación en función de su contenido sin discriminación por motivos de raza, género, orientación sexual, religión, origen étnico, ciudadanía u orientación política de los autores.

c) Confidencialidad

El Editor y cualquier miembro del Equipo Editorial de la revista no pueden divulgar ninguna información sobre un manuscrito enviado para la evaluación de la revista a ninguna persona excepto al autor de correspondencia, revisores, revisores potenciales, consultor editorial y editores de sección según corresponda.

d) Conflictos de interés y divulgación

Los materiales no publicados contenidos en un manuscrito enviado no deben utilizarse en a investigación del Editor o un miembro del Equipo

Editorial de la revista sin el consentimiento expreso por escrito del autor.

POLÍTICAS PLAGIO

Energía Mecánica Innovación y Futuro fomenta la honestidad de los autores y sus publicaciones. En este sentido, el Editor General de la revista una vez que recibe el envío de un nuevo artículo se encarga de pasarlo por el sistema de detección de plagio, sistema que analizará el contenido completo de cada manuscrito y generará un informe completo acerca de su originalidad. Luego de este proceso, el Editor General analizará este informe y de acuerdo a los resultados presentados (porcentaje de similitud) y siempre al considerar que se respeten los derechos de autor de terceros trabajos, determinará si cada uno de los artículos sometidos a la revista Maskay puede continuar con el proceso de revisión por pares.

Manuscritos que presenten un porcentaje de similitud menor al 20% y que hayan respetado los derechos de autor de terceros serán procesados directamente.

Manuscritos que presenten un porcentaje de similitud menor al 20% donde se evidencia que los derechos de autor de terceros no han sido respetados serán devueltos a sus autores con los comentarios respectivos para que realicen las correcciones pertinentes.

Manuscritos que presenten un porcentaje de similitud moderado, es decir entre el 20% y 50%, serán devueltos a sus autores con los comentarios respectivos para que realicen las modificaciones necesarias con el fin de reducir el porcentaje de similitud. Además, se solicitará a los autores que envíen una carta donde se justifique el moderado porcentaje de similitud.

Manuscritos que presenten un porcentaje de similitud elevado, es decir mayor al 50%, serán rechazados y sus autores pasarán a formar parte de una lista de autores de riesgo de la revista. Una vez que los autores hayan sido ingresados en esta lista podrán solicitar salir de la misma siempre y cuando presenten una carta donde se justifique de manera extensa el alto porcentaje de similitud alcanzado

Simulación del proceso de doblado de una lámina de acero inoxidable 316L Cold Simulation of the bending process of a 316L Cold stainless steel sheet

José G. Trujillo, José S. Arias, Juan P. Brazales, Mario P. Andrade

"Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE" "Escuela Técnica de la Fuerza Aérea" / Departamento de Seguridad y Defensa, Latacunga, Ecuador.

Correspondencia Autores: jgtrujillo1@espe.edu.ec, jbrazales@fae.mil.ec, mandrade@fae.mil.ec

Recibido: 18 de julio 2024, Publicado: 18 de diciembre 2024

Resumen— Este estudio consiste en establecer ciertos aspectos básicos necesarios para la fabricación de un producto o una parte del producto por medio de procesos de deformación plástica. El objetivo de este artículo será de diseñar y simular las condiciones técnicas de un proceso de doblado de una lámina de acero inoxidable 316L COLD, a partir de ciertas condiciones y datos iniciales básicos como: proceso, producto inicial, producto final y material. Además, se considera una deformación plástica del material a un volumen constante en donde se podrán verificar y detectar las variaciones de las dimensiones planificadas al inicio, su fuerza aplicada en el proceso de deformación, los criterios de estricción, radio mínimo de doblado y los esfuerzos generados en el proceso de doblado y estirado. Finalmente, se utilizará un software para simulación de deformaciones y análisis en 3D del flujo del proceso de manufactura en el material propuesto.

Palabras clave— Deformación plástica, doblado, plasticidad, conformado.

Abstract— This study consists of establishing certain basic aspects necessary for the manufacture of a product or a part of the product through plastic deformation processes. The objective of this paper will be to design and simulate the technical conditions of a bending process for a 316L COLD stainless Steel sheet, based on certain conditions and basic initial data such as: process, initial product, final product and material. In addition, a plastic deformation of the material at a constant volume is considered where variations in the dimensions planned at the beginning, the force applied in the deformation process, the necking criteria, minimum bending radius and the stresses can be verified and detected in the bending and stretching process. Finally, software will be used to simulate deformations and 3D analysis of the manufacturing process flow in the proposed material.

Keywords— Plastic deformation, bending, plasticity, conformed.

I INTRODUCCIÓN

El doblado de metales se define como la deformación de láminas alrededor de un determinado ángulo. Estos ángulos pueden ser clasificados como abiertos (si son mayores a 90 grados), cerrados (menores a 90°) o rectos. Durante la operación de doblado, las fibras externas del material están en tensión, mientras que las interiores se encuentran a compresión. Es importante acotar que el doblado no produce cambios significativos en el espesor de la lámina metálica [1].

Existen diferentes formas de doblado, las más comunes son: doblado entre dos formas y el doblado deslizante.



Figura 1: Dobrado entre formas

[2][3]. En el doblado deslizante, una placa presiona la lámina metálica a la matriz o dado mientras el punzón le ejerce una fuerza que la dobla alrededor del borde del dado. Este tipo de doblado está limitado para ángulos de 90°.

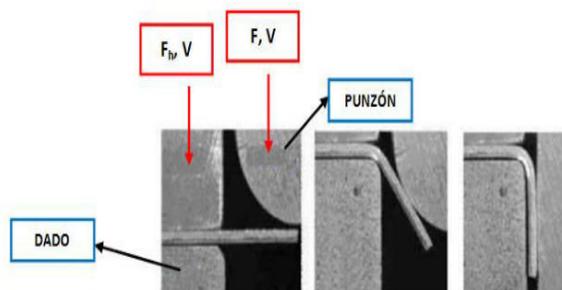


Figura 2: Doblado deslizante

Cuando se remueve la fuerza de doblado, la lámina intenta regenerarse gracias a una propiedad elástica de los metales conocida como memoria, restitución o recuperación. Esta propiedad no sólo se observa en láminas y placas planas, sino también en varillas, alambres y barras con cualquier perfil transversal.

[4].El acero 316L Cold es uno de los más comunes después del acero inoxidable tipo 304. Tiene buena resistencia a la corrosión en general, buena resistencia, dureza, maleabilidad y excelente soldabilidad.

Su composición incluye 2-3% de molibdeno lo que previene la aparición de la corrosión por picadura y mejora su resistencia a la misma. El acero 316L es una variante del 316 que tiene un contenido de carbono inferior, menor límite elástico y menor resistencia a la tracción.

[5].Los bajos contenidos de carbono presentes en el acero 316 L previenen la sensibilización (precipitación de carburos de cromo en los límites de grano) y por consiguiente, la corrosión intergranular. Es por esto, que el grado 316 L es ampliamente utilizado para soldar componentes de grueso espesor.

El acero 316 L es un material no magnético en condiciones de recocido. Sin embargo, puede llegar a adquirir un ligero magnetismo cuando es deformado en frío.

El tipo 316 L puede ser embutido, estampado, doblado y troquelado sin dificultad alguna. Como todos los inoxidables austeníticos, el acero 316 L tiende a endurecerse por el trabajo en frío. Por tal motivo, cuando es severamente deformado, un tratamiento de recocido posterior puede ser necesario en algunas ocasiones. La microestructura austenítica proporciona a este acero una muy buena resistencia, incluso a temperaturas criogénicas.

[6].Para servicio continuo a temperaturas elevadas el acero 316 L exhibe una buena resistencia a la oxidación hasta cerca de los 927 °C (1700 °F). En servicio intermitente, la temperatura máxima de exposición es alrededor de los 870°C (1600 °F).

El acero inoxidable tipo 316 L es fácilmente soldable por todas las técnicas convencionales de soldadura por fusión y resistencia (GTAW, TIG, GMAW, MIG, SAW), excepto con el gas oxiacetilénico. El grado 316 L generalmente es considerado a tener menor soldabilidad que los aceros 304 y 304 L. El elevado contenido de níquel de esta aleación requiere consideraciones especiales durante la soldadura con el fin de evitar el agrietamiento en caliente por la formación de ferrita en el depósito de soldadura.

[7].Este acero, tiene aplicaciones tales como:

- Intercambiadores de calor
- Condensadores
- Recipientes a presión
- Filtros
- Válvulas
- Bridas y conexiones
- Implantes médicos
- Aplicaciones marinas
- Equipos procesadores de alimentos
- Equipos procesadores de medicinas
- Utensilios de cocina

Su composición química, propiedades físicas y mecánicas y microestructura se presenta a continuación:

Tabla 1: Composición Química Acero Inoxidable 316L [9].

COMPOSICIÓN QUÍMICA (% EN PESO)	
ELEMENTO	AISI 316 L UNS S31603 ASTM A240
CARBONO	0,030 max.
MANGANESO	2,0 max.
FÓSFORO	0,045 max.
AZUFRE	0,030 max.
SILICIO	0,75 max.
CROMO	16,0 - 18,0
NÍQUEL	10,0 - 14,0
MOLIBDENO	2,00 - 3,00
NITRÓGENO	0,10 max.
COBRE	----
HIERRO	Balance

Tabla 2: Propiedades Físicas Acero Inoxidable 316L [9].

PROPIEDADES FÍSICAS (CONDICIONES DE RECOCIDO)	
PROPIEDAD	AISI 316 L UNS S31603 ASTM A240
Densidad g/cm3 (lb/in3)	8,0 (0,29)
Módulo elástico GPa (106 psi)	193 (28,0)
Resistencia eléctrica n m	740
Calor específico J/Kg*°K (Btu/lb*°F)	500 (0,12)
Conductividad térmica a 100°C W/m*°K (Btu/ft*h*°F)	16,2 (9,4)
Rango de fusión °C (°F)	1375 - 1400 (2500 - 2550)

Tabla 3: Propiedades Mecánicas Acero Inoxidable 316L [9].

PROPIEDADES MECÁNICAS (CONDICIONES DE RECOCIDO)	
PROPIEDAD	AISI 316 L UNS S31603 ASTM A240
Resistencia Máxima a la tensión ksi (MPa)	70(485) min
Límite Elástico o Esfuerzo de Fluencia al 0.2 %,ksi (MPa)	25 (170) min
Alargamiento, % a 2" (50,8% mm)	40,0 min
Dureza, Rockwell	B95 max
Constante de Hollomon k (MPa)	1200
Coefficiente de endurecimiento n	0,44

[9].El acero tipo 316 L presenta una estructura de grano austenítico uniformemente equiaxiado.

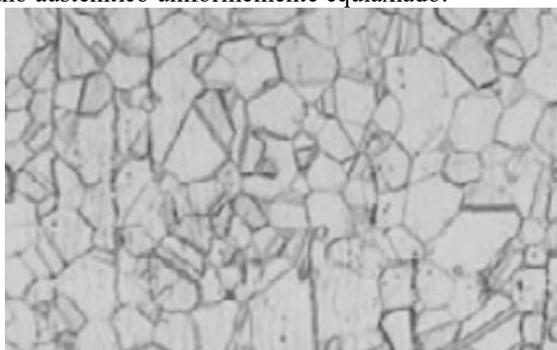


Figura 3: Microestructura austenítica Acero Inoxidable 316L

II MÉTODOS Y MATERIALES

FUERZA DE DOBLADO

[8].La fuerza de doblado está en función de la resistencia del material, la longitud L de la lámina, el espesor t de la lámina, y el tamaño W de la abertura del dado. Para un dado en V, se suele

aproximar la fuerza máxima de doblado, FD, con la siguiente ecuación:

$$F_D = \frac{L \cdot t^2 \cdot S_{ut}}{W}$$

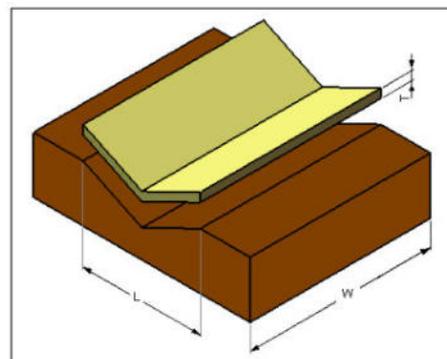


Figura 4: Cálculo de la Fuerza de doblado

Donde:

Sut: Esfuerzo último de tensión (psi o Pa)

L: longitud de la lámina (pulg o mm)

t: espesor (pulg o mm)

W: luz entre apoyos o abertura del dado (pulg ó mm)

$$F_D = \frac{98,99 \cdot 2^2 \cdot 485}{75} = 2560,67067 \text{ N}$$

Tabla 4: Resultados de cálculo de fuerza de doblado

CÁLCULO DE LA FUERZA DE DOBLADO			
L (mm)	T(mm)	W(mm)	Fd (N)
98,995	2	75	2560,671

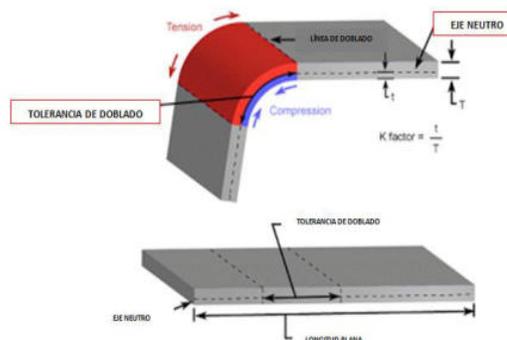


Figura 5: Tolerancia de doblado

TOLERANCIA DE DOBLADO

Si el radio del doblado es pequeño con respecto al espesor del material, el metal tiende a estirarse durante el doblado. Es importante poder estimar la magnitud del estirado que ocurre, de manera que la longitud de la parte final pueda coincidir con la dimensión que se requiere. El problema es determinar la longitud del eje neutro antes del doblado, para tomar en cuenta el estirado de la sección doblada final. Esta longitud se llama tolerancia de doblado y se puede determinar con la siguiente ecuación:

$$BA = 2 \cdot \pi \cdot \frac{A}{360} (R + k_{ba} \cdot t)$$

Donde:

BA: tolerancia de doblado (mm)

A: ángulo de doblado (°)

R: radio de doblado (mm)

t: espesor del material (mm)

K_{ba}: factor para estimar el estirado

Los siguientes valores de diseño que se recomiendan para K_{ba}:

si R < 2t , K_{ba} = 0.33; y

si R > 2t, K_{ba} = 0.50.

Estos valores de K_{ba} predicen que el estiramiento ocurre solamente si el radio de doblado es más pequeño en relación con el espesor de la lámina.

Aplicando la ecuación anterior en los radios de doblado, se tienen los siguientes resultados:

Tabla 5: Resultados de tolerancia de doblado

TOLERANCIA DE DOBLADO				
A (°)	R (mm)	t (mm)	K _{ba}	BA (mm)
45	3	2	0,33	2,880
90	5	2	0,50	9,425

LONGITUD INICIAL DE LA PIEZA.

Para calcular la longitud inicial de la pieza a doblar, se debe considerar las longitudes efectivas y las tolerancias en los puntos de doblado.

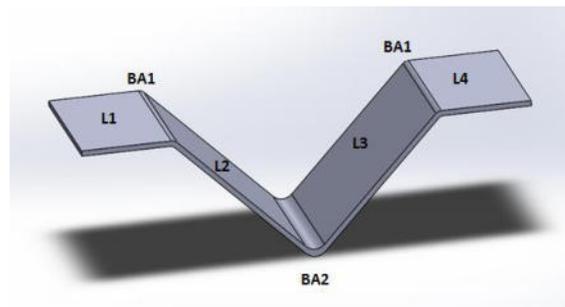


Figura 6: Longitud inicial de la pieza

De la figura anterior, se desprende que la longitud inicial de la pieza se define en este caso como:

$$Li = L1 + L2 + L3 + L4 + 2 \cdot BA1 + BA2$$

Tabla 6: Resultados de longitud inicial de la platina

LONGITUD INICIAL DE LA PIEZA						
L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	L4 (mm)	BA1 (mm)	BA2(mm)	Li(mm)
35	70	70	35	2,880	9,425	225,184

RECUPERACIÓN ELÁSTICA O SPRINGBACK.

Cuando la fuerza de doblado se retira, la energía elástica permanece en la parte doblada haciendo que ésta recobre parcialmente su forma original. Esta recuperación elástica llamada recuperación elástica o springback y se define como el incremento del ángulo comprendido por la parte doblada en relación con el ángulo comprendido por la herramienta formadora después de que ésta se retira. Esto se puede expresar en la siguiente figura 7 y se expresa como:

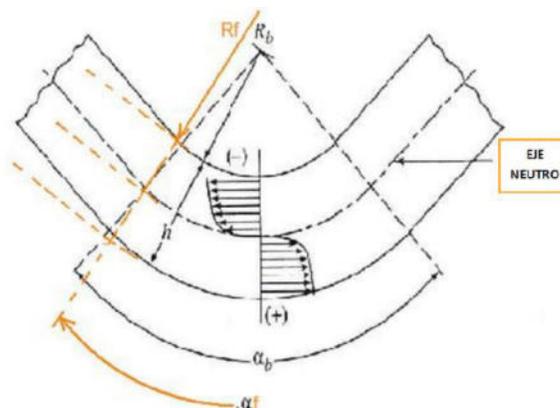


Figura 7: Relaciones de radios y ángulos en recuperación elástica

$$\frac{Rb}{Rf} = 1 - 3 \left(\frac{Rb \cdot Sy}{t \cdot E} \right) + 4 \left(\frac{Rb \cdot Sy}{t \cdot E} \right)^3$$

$$\alpha_f \left(R_f + \frac{t}{2} \right) = \alpha_b \left(R_b + \frac{t}{2} \right)$$

donde:

Rb: radio de doblado (mm)

Rf: radio de recuperación (mm)

t: espesor (mm)

Sy: esfuerzo de fluencia del material (MPa)

E: módulo de Young (MPa)

α_b : ángulo de doblado

α_f : ángulo de recuperación

Para los radios de curvatura de 3 y 5 mm, y los ángulos de 45° y 90° respectivamente, se tienen los siguientes resultados:

Tabla 7: Resultados de Springback

CÁLCULO DE LA RECUPERACIÓN ELÁSTICA O SPRINGBACK							
Rb(mm)	Sy(Mpa)	t (mm)	E (Mpa)	(Rb.Sy)/(t.E)	α_b (°)	Rf (mm)	α_f (°)
3	170	2	193000	0,001321	45	3,012	44,866
5	170	2	193000	0,002202	90	5,033	89,504

CRITERIO DE ESTRICCIÓN

Considerando la estricción, la deformación de la fibra extrema debe ser menor que la que produce estricción, por lo tanto:

$$\epsilon_t < \epsilon_u$$

Para la ley de potencia $\epsilon_u = n$

ϵ_u y ϵ_t son las deformaciones en la estricción de ingeniería y real

$$\epsilon_u = \ln(\epsilon_u + 1)$$

$$e_t = \frac{1}{\frac{2 \cdot R_b}{t} + 1}$$

Tabla 8: Resultados de Cálculo del Criterio de estricción

CÁLCULO DEL CRITERIO DE ESTRICCIÓN						
Rb (mm)	t (mm)	2Rb/t	et	n	eu	CONDICIÓN
3	2	3	0,25	0,4	0,492	SI
5	2	5	0,17	0,4	0,492	SI

Para los dos radios de doblado, el valor de ϵ_t es menos que ϵ_u , por lo tanto si es posible realizar el proceso de doblado.

CÁLCULO DEL RADIO MÍNIMO DE DOBLADO

Considerando la fractura, el radio mínimo de doblado es:

$$R_b = t (1/2q) - 1 \quad \text{si } q < 0,2$$

$$R_b = t ((1-q)^2 / (2q-q^2)) \quad \text{si } q > 0,2$$

donde:

q: es la reducción del área proveniente del ensayo de tensión = 0,45 para aceros, por lo tanto la siguiente tabla muestra el valor del radio mínimo que se puede doblar.

Tabla 9: Resultados de Cálculo del radio mínimo de doblado

CÁLCULO DEL RADIO MÍNIMO DE DOBLADO				
t (mm)	q	(1-q)^2	2q-q^2	Rb min (mm)
2	0,45	0,303	0,7	0,867

CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN DEL PROCESO DE DOBLADO

La simulación de este proceso de doblado se realizó en un programa CAE que permite analizar el flujo tridimensional del proceso de doblado en la lámina de acero inoxidable 316 Cold. Este programa basado en el método de elementos finitos es una gran herramienta para predecir el flujo de deformaciones en el material de este trabajo investigativo.

Primero, se construyen las matrices y punzones en un software CAD. En base al siguiente esquema en donde se puede observar los herramientas utilizados para este proceso de doblado:

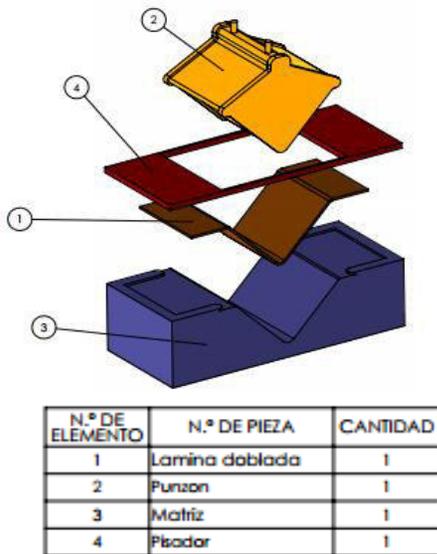


Figura 7: Herramental a utilizar en proceso de simulación

III. PRUEBAS Y RESULTADOS

En la siguiente Figura, se presenta la metodología a seguir para la simulación del proceso de doblado de una lámina de acero inoxidable 313 L Cold y se detalla a continuación:



Figura 8 Metodología para simulación numérica

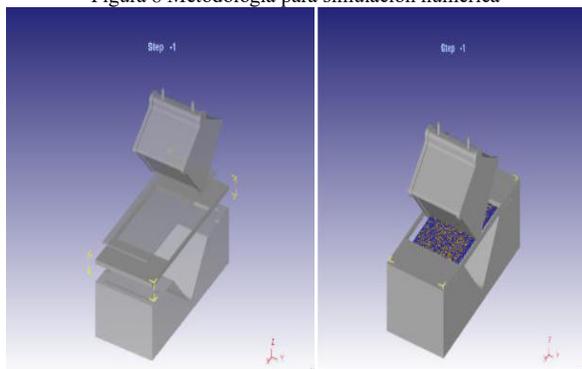


Figura 9 : Inserción de los elementos para simulación

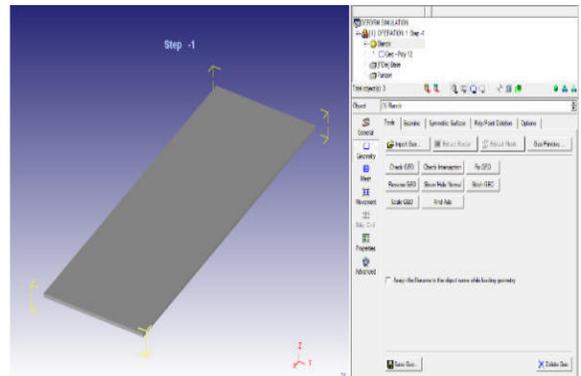


Figura 10 : Selección del Blank

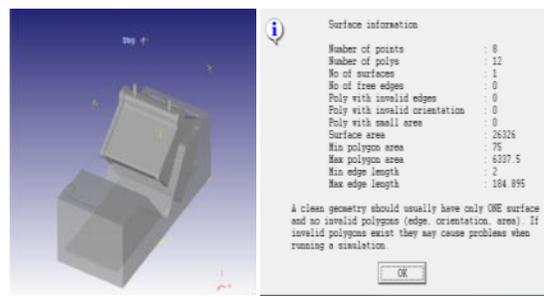


Figura 11 : Checking de los elementos insertados

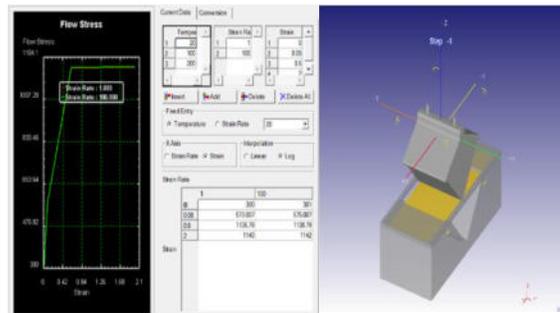


Figura 12 : Aplicación de condiciones de frontera y selección de material

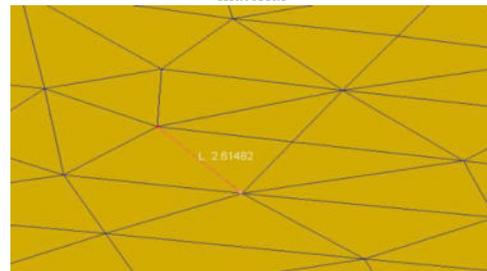


Figura 13 : Configuración de malla

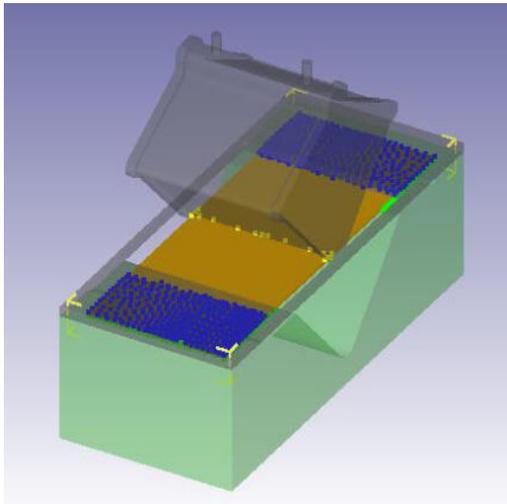


Figura 14 : Vizualización de contactos

Por medio de la simulación gráfica se puede observar cómo se deforma y cuánto descende el punzón con los parámetros configurados en el software, tales como: velocidad del punzón, fricción, interferencias entre sólidos, configuración de mallado, tiempo de simulación etc.

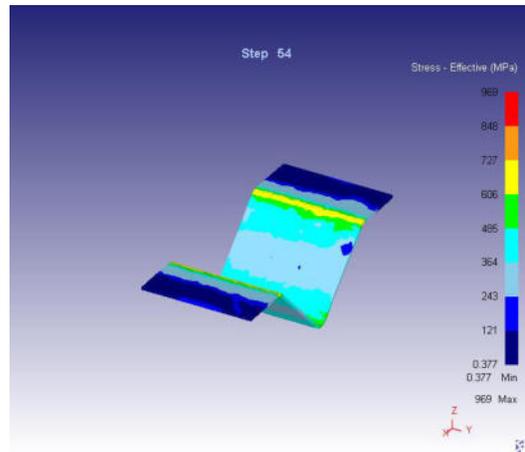


Figura 16 : Simulación de esfuerzos en proceso de doblado

Una vez terminado el procesamiento de la base de datos, se accede al post procesador para verificar las diferentes cargas que actúan sobre el blank, en donde se escogen cinco puntos en el blank para el respectivo análisis y se exportan los resultados de los esfuerzos máximos y mínimos de los puntos seleccionados.

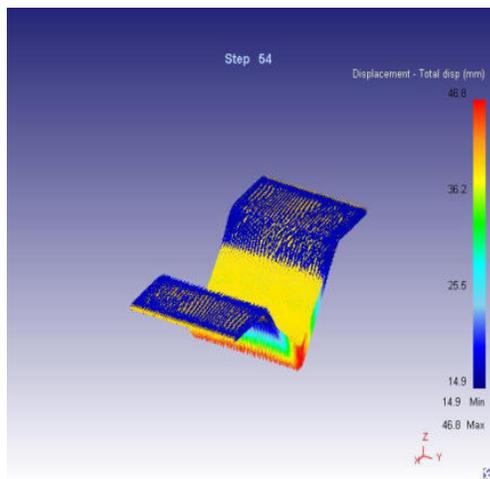


Figura 15 : Simulación de desplazamientos en proceso de doblado

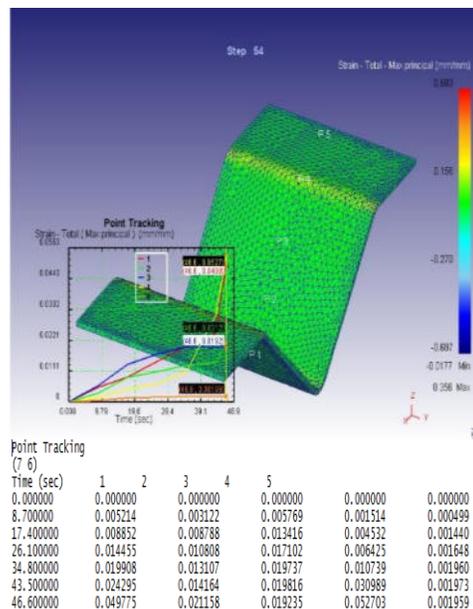


Figura 17 : Esfuerzos máximos

Artículo Científico / Scientific Paper

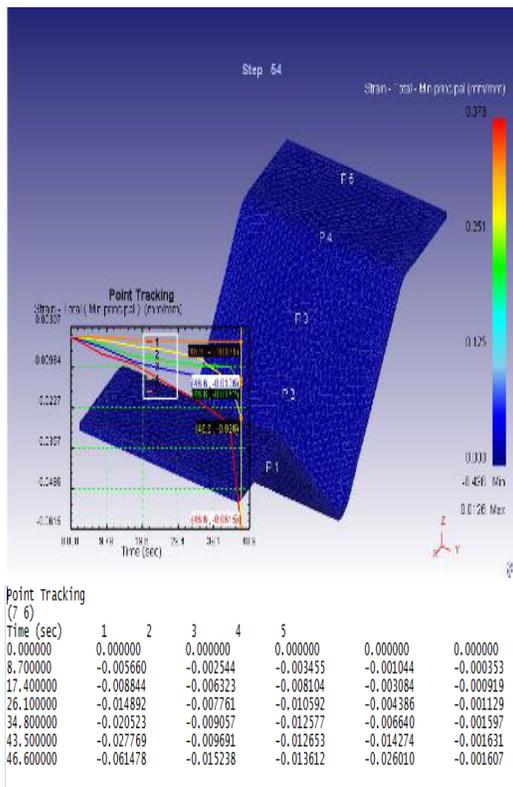


Figura 18 : Esfuerzos mínimos

El producto que se debía realizar se lo consiguió de acuerdo a los parámetros finales de diseño propuesto, además, se debió acondicionar las partes necesarias para poder realizar el proceso conforme a la realidad, tanto para el punzón como para la matriz es decir, para que el producto final sea un producto uniforme se realizó el diseño del proceso que permita cumplir lo requerido en el producto final, permitiendo de esta manera corregir las fallas que se presentaron y que no permitían obtener el producto final uniforme deseado.

Para poder lograr el producto final de acuerdo a las medidas establecidas se debió realizar los cálculos necesarios, principalmente por las 3 dobladuras (2 de 45° y 1 de 90°) las cuales modifican la longitud Inicial (Li) que teóricamente era 210 mm. pero finalmente fue establecido mediante cálculos por un valor de 225,1844 mm.

Por otro lado, el tiempo de simulación es corto, en vista que el proceso para obtener la pieza es simple, como se puede visualizar en la ejecución del programa el tiempo desde el estado inicial de la lámina hasta la obtención de la pieza es máximo 50 segundos. Sin embargo, se debe considerar tiempos como por ejemplo:

acomodar la lámina, accionar el punzón, retirar la pieza ya doblada, etc.

Una vez finalizada la simulación se verifica las medidas y comparara con los planos adjuntos del doblado de la placa.

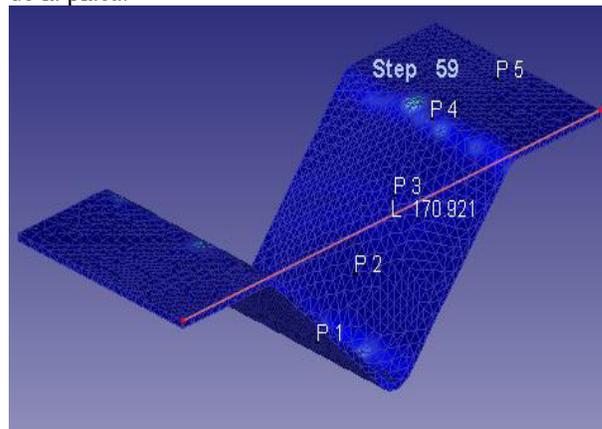


Figura 19: Verificación de las medidas

Posteriormente se procede a calcular la Fuerza aplicada en el eje Z y la variación del espesor

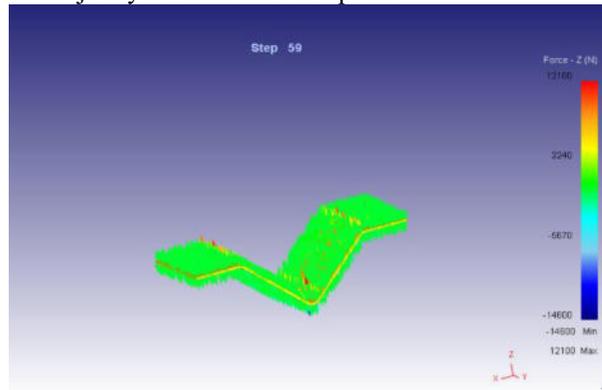


Figura 20: Fuerza en el eje z

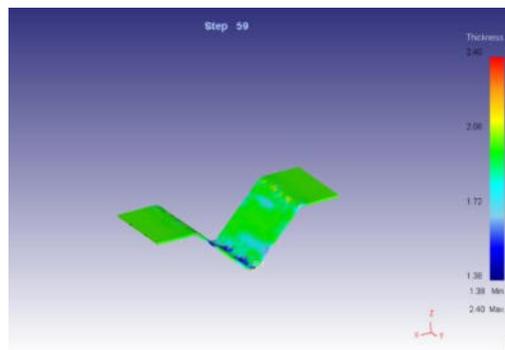


Figura 21: Variación del espesor

Ahora se procede a graficar, la curva carga del punzón (carga para deformar) vs stroke

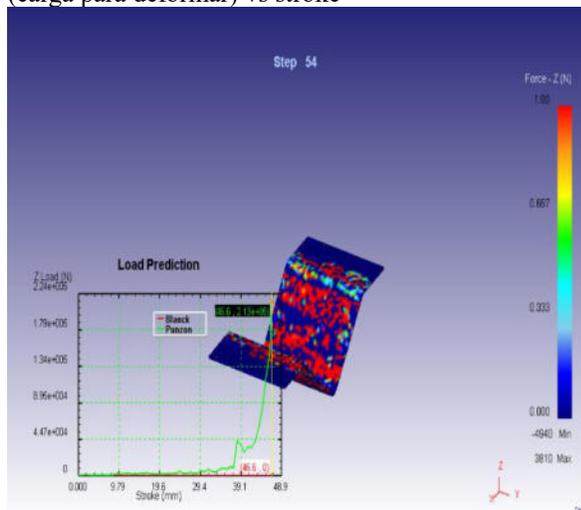


Figura 22: Curva carga del punzón (carga para deformar) vs stroke

También se grafica, la carga del punzón vs. el esfuerzo equivalente en la etapa final del formado.

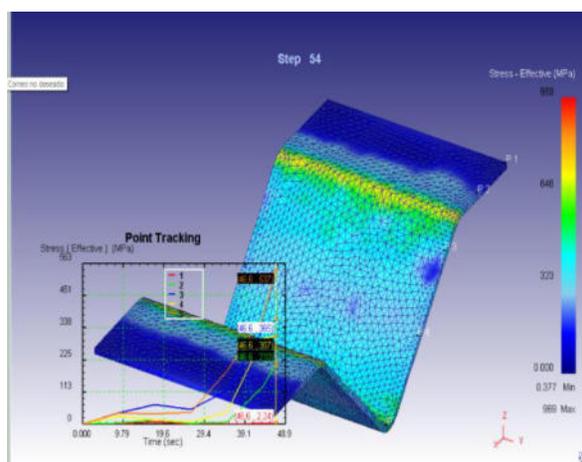


Figura 23: Curva carga del punzón vs. esfuerzo equivalente en la etapa final del formado

Comparación entre los resultados de algún valor de la simulación y el modelo analítico del proceso.

Análiticamente la fuerza requerida para poder obtener la pieza final es de $FD = 2560,67 N$, esta fuerza fue calculada en base a la fórmula para doblado de láminas, mediante la simulación se obtuvo un valor de $FZ =$

2800 N aproximadamente lo que concuerda con un margen de error mínimo.

Con respecto a la variación del espesor, se pudo determinar que existen puntos principalmente en los dobleces en los cuales el material se estira y comprime, por estas variaciones la dimensión inicial para obtener la pieza requerida debe ser mayor. $Li = 225,1844mm$.

Comparación entre los estados de esfuerzo y deformación de los puntos de seguimiento de la malla

Se estableció 5 puntos de seguimiento a lo largo de la lámina para determinar los puntos de máximo esfuerzo mínimo esfuerzo y deformación. Es necesario indicar que mediante la simulación el esfuerzo máximo ocurre en el proceso de doblado de 45° de $Emáx = 736 MPa$ y en el proceso de doblado de 90° el $Emáx = 614 MPa$. De acuerdo a los esfuerzos equivalentes se determina que el punto 4 es en donde se puede localizar el máximo y mínimo esfuerzo y es precisamente ahí donde se desarrolla el proceso de doblado de 45° . Es necesario indicar que en este punto ocurre una tensión y compresión lo que hace a este punto al más crítico y del cual se debe tener las precauciones necesarias para que la pieza final cumpla con los parámetros de fabricación.

IV. CONCLUSIONES

Considerando una deformación plástica y un volumen constante, se puede verificar que la variación de las dimensiones planificadas para la pieza de acero inoxidable 316L COLD, no sobrepasa el 1.12%, valor que se considera muy aceptable dentro del proceso de diseño.

El diseño del herramental permite obtener un proceso de doblado más seguro, es por esto que el pisador permite que la placa que se doblará, no se desplace y permanezca fija durante todo el proceso. La Fuerza aplicada al pisador puede ser la misma que se aplica al punzón.

Dentro del proceso de doblado y estirado, el material no presenta fisuras, deformaciones representativas ni desgarres.

La zona elástica se puede eliminar al final de la carrera del punzón por uno de los dos medios. Primero, los dos extremos de la lámina, se pueden sujetar antes de que el punzón toque fondo, así que el final de la carrera involucra el estirado de la lámina, causando cedencia por tensión en todo el espesor de la misma. En el segundo método, la nariz del punzón está conformada para penetrar en la lámina, de manera que la compresión plástica ocurra en todo el espesor de la misma

Este proceso de doblado, se podría asemejar al conformado por estiramiento, ya que la hoja metálica se sujeta por sus extremos y después se estira sobre una matriz, bloque o punzón formador.

Este proceso de doblado, debido a las condiciones geométricas y de material requiere muy poca, o ninguna, lubricación.

Los materiales menos dúctiles, pueden doblarse requiriendo una temperatura elevada, ya que la resistencia a la cedencia es menor y con ello la recuperación elástica también lo es.

La fuerza de doblado calculada en forma analítica y la obtenida de forma de simulación, prácticamente coinciden; su variación depende por la consideración del valor de S_{yt} .

El proceso de manufactura, dependerá del tipo de máquina seleccionada, habilidad del operario y velocidad de doblado.

El tiempo utilizado para el proceso de doblado netamente es de 50 segundos aproximadamente, sin embargo, es importante considerar otros tiempos como preparación, colocación y retiro de la pieza desde la máquina.

Para los punzones y matrices se recomienda utilizar una aleación de acero de alta resistencia CrMo, > 1000 N/mm² mínimo para máxima durabilidad o un acero para herramientas de alta calidad

[9] www.mexinox.com / www.sandmeyersteelcompany.com

REFERENCIAS

- [1] Kalpakjian S. Schmid S,(2008), Manufactura, Ingeniería y Tecnología, México, Quinta Edición, Pearson Prentice Hall
- [2] Schey John, (2002), Procesos de Manufactura, México; Tercera Edición, Mc. Graw Hill
- [3] Swift K,Booker J. (2003), Process Selection from Design to Manufacture, Oxford, Second Edition, BH.
- [4] Ashby M, (2011), Materials Selection in Mechanical Design, USA, Fourth Edition, BH
- [5] Budynas-Nisbett, (2006), Shigley's Mechanical Engineering Design, United States of America, Eighth Edition, Mc Graw-Hill
- [6] Norton L. Robert, (1999), Diseño de Máquinas, México, Primera Edición en español, Pearson
- [7] WILA, (2012), Catálogo de Productividad de la Prensa Dobladora
- [8] Riofrío P. (2014), Selección del Proceso de Manufactura; Sangoquí, Presentación Power Point Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.

Aplicaciones y ventajas de la impresión 3D en la industria automotriz del Ecuador.

Applications and advantages of 3D printing in the automotive industry in Ecuador automotive industry in Ecuador

¹Oscar Patricio Ortiz Cundar, ¹Abel Polibio Remache Coyago, ¹Flavio Arroyo Morocho

¹Universidad Central del Ecuador – UCE /Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Quito, Ecuador

Correspondencia Autores: oportiz@uce.edu.ec, apremache@uce.edu.ec, frarroyo@uce.edu.ec.

Recibido: 8 de agosto 2024, Publicado: 18 de diciembre de 2024

Resumen— El proyecto investigativo se centró en evaluar la adopción y el impacto de la tecnología de impresión 3D en la industria automotriz en Ecuador mediante investigación bibliográfica. Se realizó un estudio mediante encuestas a empresas del sector para determinar el uso actual de esta tecnología, los beneficios percibidos y las barreras que enfrentan. Los resultados indican que la impresión 3D es valorada por su capacidad para reducir costos y tiempos de desarrollo, así como para personalizar productos. Sin embargo, el alto costo de inversión inicial y la falta de personal capacitado son obstáculos significativos. La mayoría de los negocios que no la utilizan están considerando su implementación, viendo en ella un potencial para obtener ventajas competitivas. Además, se destaca la necesidad de mejorar el acceso a materiales y equipos, y de recibir capacitación especializada. Este estudio proporciona una visión general y las perspectivas futuras en el sector, ofreciendo recomendaciones para fomentar su aplicación.

Palabras clave— Impresión 3D, Autopartes, Automotriz, Polímeros, Tecnologías

Abstract— The research project focused on evaluating the adoption and impact of 3D printing technology in the automotive industry in Ecuador through bibliographic research. A survey of companies in the sector was conducted to determine the current use of this technology, the perceived benefits and the barriers they face. The results indicate that 3D printing is valued for its ability to reduce costs and development times, as well as to customize products. However, the high initial investment cost and lack of trained personnel are significant barriers. Most businesses that do not use it are considering its implementation, seeing in it a potential for competitive advantage. In addition, the need for improved access to materials and equipment and specialized training is highlighted. This study provides an overview and prospects in the sector, offering recommendations to promote its implementation.

Keywords— 3D Printing, Auto Parts, Automotive, Polymers, Technologies.

I INTRODUCCIÓN

La industria automotriz ha evolucionado significativamente desde sus inicios, logrando hitos que han redefinido su capacidad productiva y competitiva a nivel global. En Ecuador, sin embargo, este sector enfrenta desafíos considerables frente a las importaciones, lo que ha reducido su participación en el mercado local, afectando tanto la producción nacional como la generación de empleo [1]. A pesar del crecimiento sostenido de las ventas de automotores en años recientes, la industria automotriz ecuatoriana continúa mostrando desventajas competitivas frente a países vecinos como Colombia y Venezuela, especialmente en costos de producción y niveles de innovación [2].

Históricamente, la fabricación y ensamblaje de automóviles en Ecuador comenzó en los años 50 con la producción de carrocerías y piezas metálicas por empresas locales. Sin embargo, la industria ha experimentado un marcado declive en los últimos años. La participación de vehículos ensamblados localmente cayó del 39.9% en 2011 al 14.7% en 2021, favoreciendo a los automóviles importados [3]. Factores como los altos aranceles sobre insumos y piezas, la depreciación de monedas en países vecinos y la preferencia del consumidor por vehículos más grandes y cómodos tipo SUV, han intensificado esta problemática [4]; [5]. Adicionalmente, la pandemia de COVID-19 impactó significativamente en las ventas automotrices nacionales, con una caída del 35% en 2020 respecto a 2019. Aunque se registró una recuperación del 39% en 2021, el sector aún se mantiene por debajo de niveles prepandémicos [6]. Frente a estos desafíos, es necesario implementar nuevas estrategias que impulsen la competitividad de la industria automotriz ecuatoriana, aprovechando tecnologías emergentes como la impresión 3D. La Industria 4.0, que

abarca tecnologías avanzadas de manufactura, está transformando sectores productivos en todo el mundo. Sin embargo, su implementación en países emergentes, como Ecuador, avanza de manera desigual debido a limitaciones tecnológicas e infraestructurales [7]. En este sentido, la adopción de la impresión 3D surge como una solución prometedora para superar barreras productivas y de costos. Esta tecnología permite la fabricación de piezas con geometrías complejas, imposibles de producir mediante métodos tradicionales, a menores costos y en tiempos más reducidos [8]. Además, la impresión 3D facilita la personalización masiva de productos, lo que permite a los fabricantes ofrecer soluciones adaptadas a las necesidades específicas del mercado ecuatoriano. Al reducir la dependencia de piezas importadas, esta tecnología contribuiría a fortalecer la industria local, mitigando los efectos negativos de la volatilidad comercial y estimulando la innovación tecnológica [9]. Esto representa una oportunidad transformadora que puede mejorar la competitividad del sector automotriz nacional, tanto en el mercado local como en el internacional.

El presente tiene como objetivo analizar las aplicaciones y ventajas de la tecnología de impresión 3D en la industria automotriz ecuatoriana, con el fin de identificar oportunidades para fortalecer su competitividad. Mediante el análisis de avances recientes en esta tecnología, se busca evaluar su potencial para reducir costos, fomentar la innovación en diseño y producción, y cerrar brechas frente a las industrias automotrices de países desarrollados [10]. Asimismo, el estudio describe el nivel de conocimiento y adopción actual de la impresión 3D en la industria automotriz nacional, utilizando fuentes bibliográficas, encuestas y entrevistas como base metodológica.

II MÉTODOS Y MATERIALES

Diseño de la investigación

La investigación es cuantitativa, cualitativa y exploratoria y se basa en el análisis de datos bibliográficos y estadísticos obtenidos mediante la investigación de empresas dedicadas a la producción de piezas de automoción y al montaje de automóviles.

Población y muestreo

Uno de los métodos de muestreo más básicos es el guiado por objetivos, que consiste en dividir la población de interés en categorías y seleccionar un número relativamente pequeño de casos de cada grupo para su posterior estudio [11]. Se partió de la base de que todo el poder económico que produce la industria automotriz en el Ecuador es aportado por 3.745 empresas autorizadas, de las cuales el 60% se dedican al comercio de autopartes, y el énfasis está mayoritariamente en el comercio de

autopartes, pequeñas y medianas empresas. Según la ENEMDU 2021, la industria automotriz emplea a 155.943 personas a finales de 2021. El sector más intensivo en mano de obra es el de mantenimiento y reparación de vehículos, que emplea aproximadamente a 87 000 personas, seguida de la venta de autopartes (33.143 empleos) y vehículos (22.095 empleos). Esta situación muestra la importancia del sector del automóvil, que proporciona empleo al 1,8% de la población económicamente activa, para la población activa [6].

Tabla 1. Empresas del sector automotor. Fuente: INEC

Actividad	Número de empresas
Fabricación de vehículos, remolques y semirremolques	11
Fabricación de carrocerías	70
Fabricación de autopartes	39
Venta de vehículos	295
Mantenimiento de vehículos	838
Venta de autopartes	2,266
Venta y mantenimiento de motocicletas	226
Total	3,745

En el informe anuario del 2021 de la AEADE se registra 11 empresas destinadas a la fabricación de vehículos, remolques y semi remolques, y 39 empresas a la fabricación de autopartes donde este grupo conforma el segmento de interés para la investigación en el cual se tiene 50 empresas relacionadas a la fabricación de autos y autopartes. Para determinar la muestra del estudio se toma una muestra aleatoria simple (MAS), la cual se obtiene a través de las siguientes fórmulas:

$$n_0 = \frac{z^2 * PQ}{e^2}$$

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0 - 1}{N}}$$

Donde

z = nivel de confianza, P = probabilidad de éxito, Q = probabilidad de fracaso, e = error máximo admisible en términos de proporción) y N = tamaño de la población. Se tomó la muestra considerando una población de 50 elementos correspondientes a las empresas manufactureras existentes en el país. Con una precisión

del 95%, se utilizó un valor de $z = 1.96$ y una varianza $PQ = 0.25$, determinando un error permisible del 10%.

$$n_0 = \frac{(1,96)^2 * 0,25}{0,1^2} = 96,4$$

$$n = \frac{96,4}{1 + \frac{96,4 - 1}{50}} = 33,14$$

Se calculó la muestra de 33 empresas relacionadas a la fabricación de autos y autopartes.

Técnicas para la recolección de datos

Revisión Bibliográfica: Se recolectó información de estudios, procesos, diseños y proyectos relacionados con el desarrollo de partes automotrices fabricadas mediante el método de impresión 3D.

Encuestas: Para el enfoque de la encuesta, se dividió en tres secciones:

Primera Sección: Esta sección está enfocada en determinar el tipo de empresa que se está encuestando, ya sea ensamblaje de autos, fabricación de autopartes, o personalización. Además, se busca determinar si la empresa cuenta con tecnología 3D entre sus servicios o procedimientos.

Segunda Sección: Esta sección solo se puede contestar si la empresa cuenta con servicios o procedimientos 3D. Se obtiene información sobre el tipo de procedimiento 3D que usa la empresa, tales como: Prototipado de piezas, Fabricación de herramientas y moldes, Producción de componentes finales, FDM (Modelado por Deposición Fundida), SLA (Estereolitografía), SLS (Sinterizado Selectivo por Láser), DMLS (Sinterizado Directo de Metal por Láser), MJF (Multi Jet Fusion). Además, se indagó sobre el tipo de materiales utilizados, como plásticos (PLA, ABS, PETG, etc.), resinas, metales, compuestos (materiales compuestos de fibra de carbono), y cerámicas. También se recoge información sobre los beneficios y desafíos que el uso de la impresión 3D ha generado en el negocio.

Tercera Sección: Esta sección está dirigida a las empresas que no cuentan con tecnología 3D en sus servicios. Está diseñada para recabar información sobre: Falta de conocimiento sobre la tecnología, Costos iniciales de inversión, Falta de personal capacitado, No haber identificado una aplicación adecuada, Limitaciones técnicas de las impresoras 3D, Interés en la tecnología de escaneo e impresión 3D, Posibilidad de implementar la impresión 3D, Además, se busca conocer si consideran que la impresión 3D podría ofrecer ventajas competitivas a su empresa en el futuro y qué expectativas tendrían

respecto al rendimiento y la calidad de las piezas producidas mediante impresión 3D.

III. PRUEBAS Y RESULTADOS

La impresión 3D en Ecuador se ha desarrollado significativamente en los últimos años y ha sido adoptada por muchas industrias para aumentar la eficiencia y productividad del sector. Los negocios ecuatorianos utilizan esta tecnología para generar prototipos rápidos, producir piezas funcionales y personalizadas y perfeccionar el diseño. Se utiliza en sectores como la automoción, la sanidad, la educación y la fabricación, lo que permite a diseñadores y fabricantes examinar y desarrollar diseños. Además, la herramienta se maneja para crear herramientas y bocetos personalizados que aumentan la producción. La adopción en el país fomenta la innovación y proporciona una ventaja competitiva a las empresas que la implementan (Porras, 2018).

Empresas Ecuatorianas destacadas en la Impresión 3D

TAICED

Empresa de sistemas e industria avanzada con más de 8 años de experiencia en Ecuador, utiliza tecnologías como FDM y SLA para trabajar con plásticos, chatarra y metales.

Especializada en el sector de la automoción, facilita la mejora del rendimiento y la longevidad de los automóviles ofreciendo prototipado rápido, piezas totalmente funcionales y diseño de precisión, que ha emprendido con éxito numerosos proyectos nacionales e internacionales, apoya la adopción en el país de la impresión 3D, que destaca por su adaptabilidad y calidad en autopartes de vehículos [12].

RadLab

RadLab es una compañía ecuatoriana especializada en diseño, fabricación y de producción manipulando las últimas tecnologías 3D como FDM y DLP. Destacan por su capacidad para producir rápidamente piezas personalizadas utilizando múltiples herramientas. Ofrece prototipado rápido, autopartes duraderas y opciones de impresión en la industria del automóvil con alta calidad y plazos de entrega cortos. Centrarse en la innovación ha sido la clave del éxito de la industria automovilística nacional, aumentando la eficiencia y la eficacia [13].

MakerGroup Ecuador

Maker Group Ecuador es una empresa de Quito especializada en diseño e impresión 3D. Utilizan tecnologías como FDM y SLA para trabajar con una variedad de materiales como PLA, ABS, PETG y resinas sólidas. Maker Group aumenta el rendimiento y la vida útil de los vehículos proporcionando prototipos rápidos, piezas sostenibles y servicios de fabricación de piezas y componentes personalizados en la industria del automóvil. Han logrado el éxito en muchos proyectos del sector de la automoción y están bien posicionados para centrarse en la calidad, la innovación y la eficiencia en Ecuador [14]

Laboratorio de Impresión 3D de metales en Ecuador

Ecuador ha inaugurado el primer laboratorio de impresión 3D en metal de América Latina, gracias a una empresa multinacional ecuatoriana situada en Guayaquil, este Centro de Innovación (CITH) utiliza un sistema robótico avanzado para imprimir piezas personalizadas utilizando metales flexibles y resistentes capaces de formar formas complejas. El laboratorio también cuenta con un centro de control y un asistente de IA para aumentar la productividad [15].

Principales Ventajas de la Impresión 3D en Ecuador

Tabla 2. Ventajas de la Impresión 3D en Ecuador

Ventajas	Descripción
Reducción de costos de producción	La impresión 3D permite fabricar piezas automotrices de manera más económica que los métodos tradicionales.
Personalización y diseño innovador	Permite la creación de componentes automotrices personalizados y diseños más innovadores.
Flexibilidad en la producción	Capacidad para producir piezas bajo demanda y ajustar la producción según las necesidades.

Prototipado rápido y iterativo	Facilita la rápida iteración y mejora de diseños de prototipos automotrices.
Menores tiempos de desarrollo	Agiliza el tiempo desde el diseño hasta la fabricación de nuevas piezas y vehículos.
Impulso a la innovación y la tecnología	Promueve el desarrollo y la adopción de tecnologías avanzadas en el sector automotriz.
Apoyo a sectores estratégicos	Beneficia a otros sectores como la educación técnica y la investigación en tecnología.

Datos

Para la recolección de datos, se llevaron a cabo 51 encuestas a empresas automotrices con el objetivo de determinar si cuentan con tecnología de impresión 3D entre sus servicios.

Sección 1 Áreas de Enfoque de las Empresas

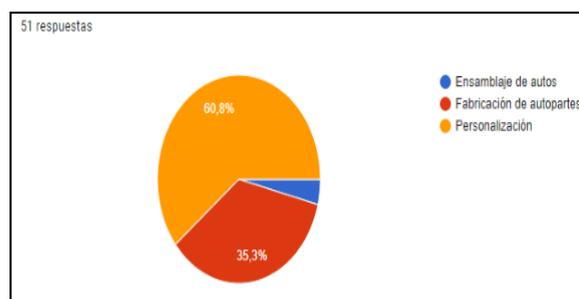


Figura 1. Sección 1 Enfoque de Empresa

De las 51 empresas encuestadas en el sector automotriz, el 60.8% se dedica a la personalización de vehículos, indicando una fuerte orientación hacia la adaptación y modificación según las preferencias del cliente. El 35.3% se centra en la fabricación de autopartes, reflejando la importancia de la producción de componentes esenciales, mientras que el 3.9% realiza otras actividades. Estos resultados

destacan que la personalización es una tendencia predominante y sugieren que la introducción de tecnologías innovadoras, como la impresión 3D, podría ofrecer beneficios significativos en la personalización y fabricación de autopartes.

Tecnología de ensamblaje e impresión 3D en empresas

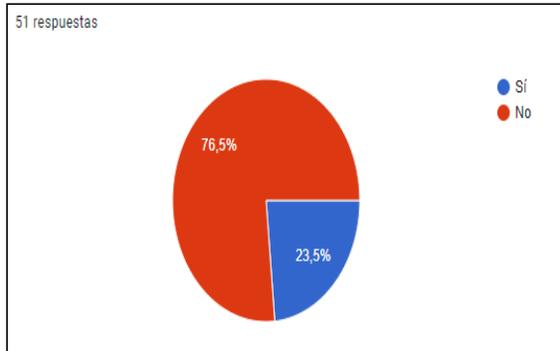


Figura 2. Sección 1 Tecnología de Impresión 3D

Los resultados reflejan que el 76.5% (equivalente a 39 empresas) no está utilizando tecnología de impresión 3D en sus servicios automotrices, mientras que el 23.5% (equivalente a 12 empresas) sí la están incorporando. Esto indica que, aunque la impresión 3D podría ofrecer un valor añadido significativo a la mayoría de las empresas encuestadas, todavía hay un gran porcentaje que no está aplicando esta tecnología, y solo una minoría la está integrando en sus procesos.

Sección 2

La Sección 2 está enfocada en las empresas que utilizan impresoras 3D en sus procesos de trabajo ofreciendo como un servicio complementario.

Proceso en que se utiliza la impresión 3D

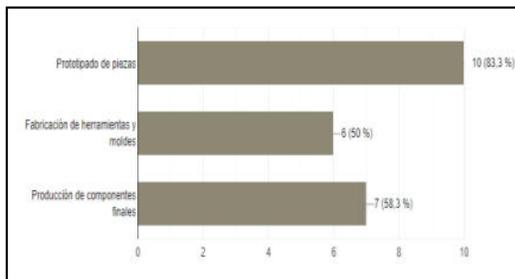


Figura 3 Sección 2 Proceso Impresión 3D

Es importante señalar que las empresas podían seleccionar más de una opción en esta pregunta. Al analizar los datos, se observó que al menos 10 de las 12 empresas que utilizan la impresión 3D lo hacen principalmente para el prototipado de piezas. Además, la mitad de estas empresas emplean la tecnología para la fabricación de herramientas y moldes, mientras que 7 empresas la utilizan para la producción de componentes finales. Esto sugiere que, entre las empresas que han adoptado la impresión 3D, hay una clara preferencia por su uso en el desarrollo y prueba de prototipos, seguido por la creación de herramientas especializadas y la producción final de piezas. Esta tendencia indica que la impresión 3D se está convirtiendo en una herramienta valiosa y multifacética en la industria automotriz, aunque su adopción aún no es universal.

Tecnología de impresión 3D utilizada en la empresa

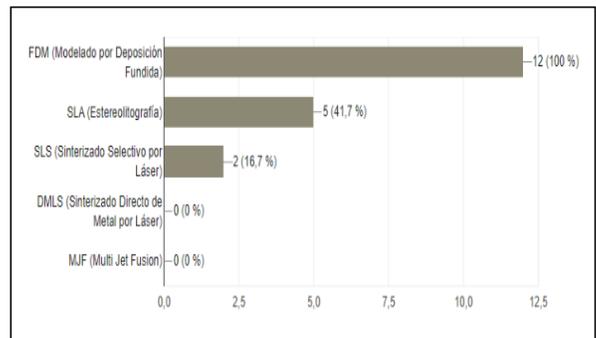


Figura 4 Sección 2 Tecnología de impresión 3D

Según las respuestas emitidas, se puede determinar que el 100% de las empresas usa la tecnología de FDM (Modelado por Deposición Fundida), seguida por la Estereolitografía (SLA) con 5 empresas, y el Sinterizado Selectivo por Láser (SLS) con 2 empresas. La popularidad de FDM puede justificarse por su costo relativamente bajo, la facilidad de uso y la versatilidad en el manejo de diversos materiales, lo que la convierte en una opción accesible y eficiente para múltiples aplicaciones dentro de la industria automotriz.

Materiales utilizados en la empresa en los procesos de impresión 3D

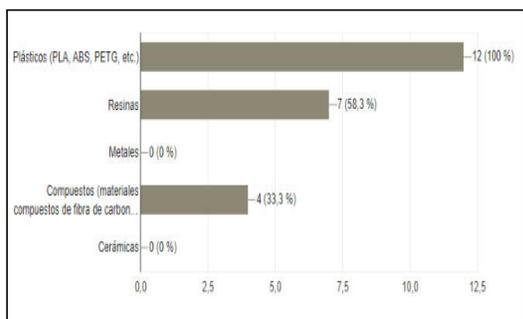


Figura 5 Sección 2 Materiales Impresión 3D

Para el tipo de material que usan las empresas encuestadas en la impresión 3D, el 100% (equivalente a 12 empresas) utiliza plásticos como PLA, ABS y PETG. Además, el 58.3% (7 empresas) usa resinas, y el 33.3% (4 empresas) emplea metales y compuestos de fibra de carbono. Esto sugiere que los principales productos impresos por estas empresas son autopartes plásticas, aunque también se fabrican componentes metálicos. Es relevante mencionar que el costo de los plásticos (PLA, ABS, PETG) es mucho más bajo y su disponibilidad en el mercado ecuatoriano es mayor, lo que facilita su adopción y uso extensivo en los procesos de impresión 3D.

Beneficios reflejados en la empresa al utilizar la impresión 3D

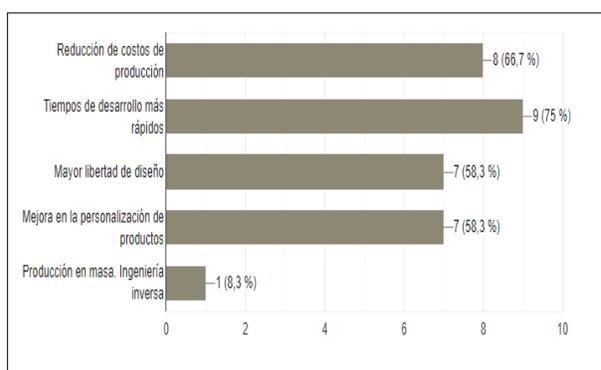


Figura 6 Sección 2 Beneficios Impresión 3D

Dentro de los beneficios principales que se pueden obtener al emplear tecnología de impresión 3D, se destaca que los tiempos de desarrollo son más rápidos, lo que permite entregar los vehículos en menos tiempo. Además, hay una reducción de costos de producción y una mayor libertad de diseño, lo que mejora la personalización de los productos, aspectos en los que la gran mayoría de las empresas encuestadas

coinciden. Sin embargo, es importante acotar que, al tener un negocio propio de impresión 3D, la opción de producción en masa está muy descartada como beneficio. Esto se debe probablemente a los altos costos, la inversión de mucho tiempo y el mantenimiento constante que requiere la impresora 3D. Es fundamental señalar que, en esta pregunta, se ofreció la opción de añadir respuestas bajo la categoría "otras". Por lo tanto, también se deben tener en cuenta las opciones de producción en masa e ingeniería inversa, que fueron mencionadas por los encuestados como un beneficio que se presentó.

Desafíos o limitaciones al implementar la impresión 3D en la fabricación de autos o autopartes

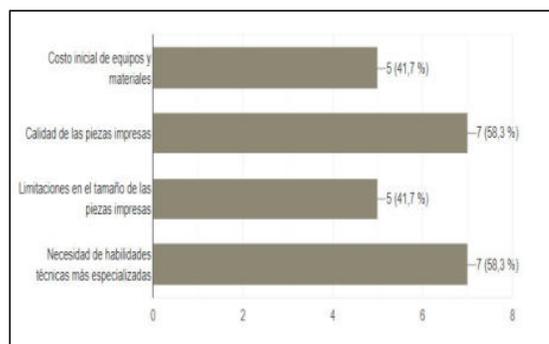


Figura 7 Sección 2 Limitación Impresión 3D

Las principales limitaciones que enfrentan los negocios automotrices al adoptar la tecnología de impresión 3D incluyen la necesidad de habilidades técnicas especializadas y la calidad de las piezas producidas. Además, aunque en menor medida, el costo inicial de los equipos y las restricciones de tamaño de las impresoras también representan desafíos. Para aprovechar al máximo la tecnología, es esencial invertir en equipos adecuados y en la formación técnica necesaria. Asimismo, las impresoras de menor tamaño pueden limitar la capacidad de producir autopartes más grandes, afectando la flexibilidad en la fabricación de ciertos componentes.

Comentarios o sugerencias sobre el uso potencial de la impresión 3D en la industria automotriz en general

Dentro de las sugerencias emitidas se estableció que para optimizar el uso de la impresión 3D, es crucial no solo basarse en conceptos generales sobre los materiales, sino también guiarse por fichas técnicas y especificaciones de los proveedores de

maquinaria y materiales. Esto permitirá hacer los ajustes de impresión adecuados según las condiciones de uso y los diseños 3D. Sería beneficioso mejorar los impuestos de importación de materiales para la misma y priorizar aquellos utilizables como producto final. Además, la disponibilidad limitada de ciertas máquinas con esta tecnología en el país, junto con los elevados costos de importación, dificulta la adquisición de equipos que podrían mejorar los acabados y la producción de piezas más grandes en menos tiempo.

El diseño constante de nuevas piezas y la rápida iteración hacia el diseño final representan un cuello de botella significativo. Además, existe una falta de capacitación y actualización en la reparación de piezas y en la creación de nuevos diseños. Por ello, se requiere capacitación específica y servicios de escaneo. Finalmente, se recurre a guías para el corte de lona para tapizados en tela y cuero solo cuando los pedidos son grandes, y también para la reparación de piezas plásticas de las máquinas.

Sección 3

La sección 3 está dirigida a empresas que actualmente no cuentan con impresoras 3D. Que por su parte son 39 empresas, las preguntas de esta sección se enfocan en las razones por las que no utilizan esta tecnología, la posibilidad de implementarla en el futuro, y sus expectativas sobre los beneficios que podría ofrecer. Además, se explora si creen que la impresión 3D podría generar ventajas competitivas y mejorar sus servicios frente a la competencia.

Razones principales por las que su empresa no utiliza actualmente la impresión 3D

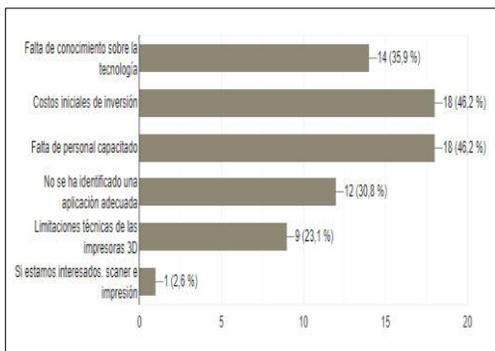


Figura 8 Sección 3 Razones de no uso Impresión 3D

Se puede identificar las dos principales razones por las que las empresas no cuentan con tecnología de impresión 3D, cada una con 18 votos respectivamente. La primera razón es el costo inicial de inversión, ya que una impresora 3D básica puede costar alrededor de 400 dólares, mientras que una impresora capaz de producir autopartes automotrices puede oscilar entre 3000 y 5000 dólares. La segunda razón es la falta de personal capacitado, lo cual también implica una gran inversión en capacitaciones, que pueden costar entre 700 y 1000 dólares. Otras razones influyen son la falta de conocimiento sobre la tecnología de impresión 3D, la falta de identificación de una aplicación necesaria en el taller, y las limitaciones de la impresión 3D en la producción de autopartes. Es importante destacar que, en esta pregunta, los encuestados también tuvieron la opción de seleccionar "otras" razones. Entre estas respuestas, se debe considerar que algunos mostraron interés tanto en adquirir un escáner como en una impresora 3D. Esto refleja un interés en la integración completa de la tecnología que puede ser relevante para para el desarrollo de una empresa.

Posibilidad de implementar la impresión 3D

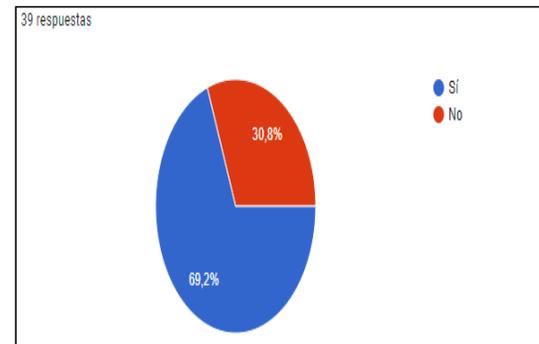


Figura 9 Sección 3 Posibilidad de Implementación Impresión 3D

Este análisis permite determinar que un gran porcentaje de las empresas que no cuentan con esta tecnología han considerado la posibilidad de optar por la impresión 3D. De las 39 empresas encuestadas, 27 (equivalente al 69.2%) han evaluado la implementación de esta tecnología, mientras que el 30.8% (equivalente a 12 empresas) consideran que este tipo de tecnología no es realmente necesaria para su negocio.

Ventajas competitivas en el futuro desde la perspectiva de la empresa

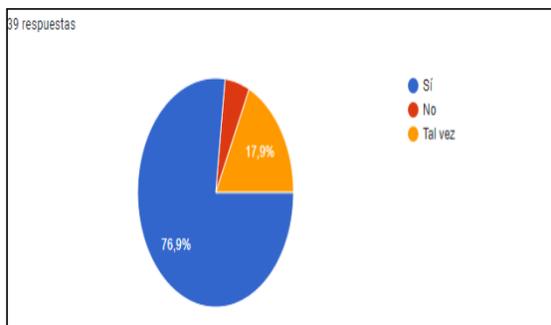


Figura. 10 Sección 3 Ventajas Competitivas

Se observa que el 76.9% (equivalente a 30 empresas) considera que esta tecnología tiene la capacidad de ofrecerles una ventaja competitiva significativa, debido a la posibilidad de fabricar piezas que suelen ser difíciles de conseguir en el mercado automotriz. El 17.9% (equivalente a 7 empresas) respondió "Tal vez" indicando que no están completamente seguros de los beneficios potenciales, mientras que el 5.1% (equivalente a 2 empresas) considera que las ventajas de la impresión 3D no serían representativas para su negocio.

Expectativas de empresa respecto al rendimiento y la calidad de las piezas producidas mediante impresión 3D

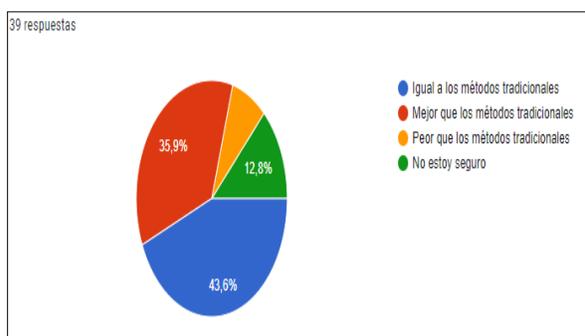


Figura 11 Sección 4 Expectativas de Impresión 3D

Es importante acotar que la opción más alta tiene un porcentaje de 43.6% (equivalente a 17 empresas), que esperan que los resultados de la impresión 3D tengan el mismo rendimiento y calidad que los métodos tradicionales. Esto puede interpretarse como una expectativa de que las autopartes impresas no presenten fallos y puedan ser utilizadas con la misma seguridad y eficiencia que las producidas por métodos convencionales.

La siguiente opción, con un 35.9% (equivalente a 14 empresas), espera que la calidad del producto final sea superior a la de los métodos tradicionales, probablemente para justificar la inversión, ya que, si la calidad se mantiene igual, no representaría una mejora significativa en el producto final. Las 8 empresas restantes consideran que el producto final no será suficientemente bueno o no tienen expectativas claras sobre el resultado de la impresión 3D.

Comentarios o sugerencias sobre el uso potencial de la impresión 3D

Varios comentarios y sugerencias destacan el potencial de la impresión 3D en la industria automotriz. Por ejemplo, la impresión 3D podría ser útil para la reparación de piezas rotas como rieles y vinchas, aunque se requiere capacitación para su implementación. Algunas empresas expresan interés en aprender cómo esta tecnología podría ayudarlas a crear prototipos de empaques personalizados, ofreciendo flexibilidad en el diseño y soluciones que actualmente no están disponibles en el mercado. Sin embargo, la falta de información y personal capacitado son barreras significativas que impiden su adopción.

A pesar de las solicitudes para producir piezas mediante impresión 3D, muchas empresas no disponen de esta tecnología y recurren al reciclaje de piezas de autos. Algunas consideran que la inversión inicial y el conocimiento necesario son elevados. En este contexto, la impresión 3D podría ser crucial para evitar la importación de piezas desde China y mejorar la oferta de productos en el tuning, permitiendo la creación de piezas personalizadas y estéticas.

Además, la impresión 3D podría facilitar la fabricación de herramientas personalizadas para el corte y ensamblaje de moquetas, mejorando la precisión y reduciendo el tiempo de producción. También se podría utilizar para reemplazar la madera en recubrimientos de fibra de vidrio, siempre que sea rentable, y para fabricar piezas plásticas desgastadas, como piñones que ya no se encuentran en el mercado. Finalmente, la tecnología podría ser beneficiosa para replicar piezas como emblemas, adornos y piezas de carros antiguos, facilitando el trabajo de los talleres automotrices.

Análisis de desafíos en la industria ecuatoriana con respecto a la impresión 3D.

Tab. 3. Desafíos Impresión 3D en la industria ecuatoriana

Parámetros	Nº
Costo inicial de equipos y materiales	5
Calidad de las piezas impresas	7
Limitaciones en el tamaño de las piezas impresas	5
Necesidad de habilidades técnicas más especializadas	7
Falta de conocimiento sobre la tecnología	14
Costos iniciales de inversión	18
Falta de personal capacitado	18
No se ha identificado una aplicación adecuada	13
Limitaciones técnicas de las impresoras 3D	9

Durante el análisis de los obstáculos en la Tabla 3 se aprecia que en la adopción de la tecnología de impresión 3D en la industria automotriz ecuatoriana, se han detectado los principales obstáculos en la adopción de la tecnología de impresión 3D en la industria automotriz ecuatoriana. Los costes elevados de equipos y materiales, junto con la inversión inicial, son obstáculos significativos para diversas organizaciones. Asimismo, la falta de comprensión acerca de la tecnología y la carencia de personal con las habilidades necesarias dificultan la adopción de la impresión en 3D.

De igual manera, las cuestiones acerca de la calidad y las limitaciones en el tamaño de las piezas impresas, así como las limitaciones técnicas de las impresoras en 3D, también representan obstáculos relevantes. Estos factores,

junto con la ausencia de aplicaciones adecuadas identificadas, señalan que la industria requiere progresos tecnológicos y una mayor integración de la impresión en los procesos de fabricación. Dentro de estos obstáculos, se podría incrementar significativamente la competitividad de la industria automotriz ecuatoriana, posicionándola mejor en el mercado internacional.

Análisis de ventajas competitivas en la industria automotriz.

Tabla 4. Ventajas competitivas en la industria automotriz

Parámetros	Nº
Reducción de costos de producción	8
Tiempos de desarrollo más rápidos	9
Mayor libertad de diseño	7
Mejora en la personalización de productos	7

En la Tabla 4 se plantea el análisis de las ventajas competitivas de la tecnología de impresión en 3D en la industria automotriz ecuatoriana donde se resalta diversos beneficios fundamentales. Los hallazgos evidencian que las organizaciones reconocen la capacidad de la impresión en 3D para disminuir los costos de producción y prolongar los tiempos de desarrollo. Estas ventajas son fundamentales en un mercado competitivo, ya que posibilitan a las organizaciones optimizar sus recursos y responder con rapidez a las demandas del mercado. Asimismo, la amplia libertad de diseño y la mejora en la personalización de productos, cada una de las cuales se menciona por los negocios automotrices encuestados, respaldan el potencial de la impresión en 3D para innovar en el diseño de piezas y ajustarse a las demandas específicas de los clientes. Estas ventajas posibilitan a las organizaciones ofrecer productos más diversificados y personalizados, lo cual puede incrementar su prestigio y prestigio en el mercado. En resumen, la adopción de la impresión en 3D

puede otorgar a la industria automotriz ecuatoriana una ventaja significativa al disminuir los costos, mejorar la eficiencia e impulsar la innovación en el diseño y la personalización de productos.

La impresión 3D ofrece importantes ventajas en la industria automotriz al permitir una reducción significativa de costos y tiempos de desarrollo mediante la eliminación de moldes, lo que facilita la producción rápida y económica de prototipos y recambios descatalogados. Esta tecnología se está integrando en procesos de fabricación y diseño, como en empresas automovilísticas y equipos de Fórmula 1, donde la capacidad de producir piezas personalizadas y pequeñas sin los costos adicionales de moldes resulta crucial. Además, permite la fabricación de piezas para modelos clásicos que ya no tienen recambios disponibles, destacándose por su capacidad para ofrecer un amplio abanico de materiales y acabados de alta calidad, lo que la convierte en una herramienta cada vez más relevante en la automoción [16].

IV. CONCLUSIONES

Un número considerable de empresas automotrices está considerando adoptar las herramientas de impresión 3D debido a sus numerosos beneficios. Los negocios automotrices que ya la utilizan destacan su capacidad para reducir los tiempos de desarrollo, disminuir los costos de producción y ofrecer mayor personalización y flexibilidad en el diseño. No obstante, aquellas que aún no han integrado esta tecnología citan el alto costo inicial y la falta de personal capacitado como principales obstáculos. Esto indica que se percibe como una herramienta valiosa, existen barreras económicas y de formación que deben superarse para lograr una adopción más extensa.

La mayoría de las empresas encuestadas que utilizan la impresión 3D prefieren materiales plásticos como PLA, ABS y PETG debido a su menor costo y disponibilidad en el mercado ecuatoriano. La tecnología más utilizada es el Modelado por Deposición Fundida (FDM), seguido por Estereolitografía (SLA) y Sinterizado Selectivo por Láser (SLS). Esto indica que las empresas valoran la accesibilidad y versatilidad de los materiales plásticos y las tecnologías de impresión más comunes, lo que les permite integrar esta tecnología en sus procesos sin incurrir en gastos excesivos.

Muchas empresas ven un gran potencial en la impresión 3D para mejorar su competitividad y diversificar su oferta de productos. Sin embargo, también reconocen la necesidad de capacitación y actualización

constante para maximizar los beneficios de esta tecnología. La falta de disponibilidad de ciertas máquinas avanzadas y los altos costos de importación son desafíos adicionales que deben abordarse. Las empresas sugieren que la impresión 3D podría ser especialmente útil en áreas como el tuning, la fabricación de herramientas personalizadas y la creación de prototipos de empaques, destacando la importancia de apoyo gubernamental y empresarial para facilitar el acceso y la capacitación en esta tecnología emergente.

Para superar la barrera de la falta de personal capacitado, se recomienda que las empresas y las instituciones educativas colaboren para desarrollar programas de formación específicos en tecnología de impresión 3D. Estos programas deben incluir tanto aspectos teóricos como prácticos, y estar diseñados para diferentes niveles de experiencia. Además, podrían ofrecerse cursos especializados en el mantenimiento y operación de impresoras 3D, así como en el diseño de piezas y prototipos para la industria automotriz. Facilitar el acceso a estas capacitaciones podría aumentar significativamente la adopción de la tecnología y mejorar su implementación.

Dado que el costo inicial de inversión es un obstáculo importante para muchas empresas, se recomienda buscar formas de reducir estos costos. Esto podría incluir la implementación de incentivos fiscales, subvenciones o programas de financiamiento que ayuden a las empresas a adquirir la tecnología necesaria. También sería beneficioso promover la creación de centros de impresión 3D compartidos donde las empresas puedan acceder a equipos avanzados sin tener que asumir el costo total de compra y mantenimiento. Esto permitiría a más empresas experimentar con la tecnología y comprender su potencial antes de realizar una inversión significativa.

Para asegurar un suministro constante y económico de materiales de impresión 3D, sería importante fomentar la producción local de materiales como PLA, ABS y PETG. Esto no solo reduciría los costos de importación, sino que también podría generar empleo y apoyar la economía local. Además, es importante trabajar con proveedores para garantizar la disponibilidad de fichas técnicas detalladas y especificaciones del material, permitiendo a las empresas optimizar sus procesos de impresión. Desarrollar una cadena de suministro sólida y confiable contribuirá a la sostenibilidad y expansión del uso de la impresión 3D en la industria automotriz.

REFERENCIAS.

- [1] P. ECUADOR, «ANÁLISIS SECTORIAL AUTOMOTRIZ Y AUTOPARTES,» 2011.

- [2] E. Tapia, «Ensambladores de vehículos recortan gastos y buscan nuevos nichos,» *Primicias*, 17 Mayo 2022. 17/342961/REPORT%20%281%29_fitxer%20e%20consulta.pdf .
- [3] Cámara de la Industria Automotriz Ecuatoriana, Quito, 2021. [17] «<https://www.planillaexcel.com>,» 05 Noviembre 2024. [En línea]. Available: <https://www.planillaexcel.com/planilla-de-excel-para-conversion-de-unidades>.
- [4] AEADE, «Anuario 2015 70 años de camino,» 2016.
- [5] J. Ortega, «ANÁLISIS DEL SECTOR AUTOMOTOR ECUATORIANO,» *Banco Central del Ecuador*, pp. 0-52, 2005.
- [6] AEADE, «Anuario 2021,» AEADE, 2022. [En línea]. Available: <https://www.aeade.net/wp-content/uploads/2022/03/Anuario-Aeade-2021.pdf>.
- [7] F. & A. O. Arroyo, «Ciencia Latina,» 28 Julio 2021. [En línea]. Available: <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/artic le/view/533> .
- [8] C. W. J. Lim, K. Q. Le, Q. Lu y C. C. Wong, «IEEEExplore,» Potenciales IEEE, Julio-Agosto 2016. [En línea]. Available: doi: 10.1109/MPOT.2016.2540098.
- [9] R. Nichols, «How does the automotive industry benefit from 3D metal printing,» [En línea]. Available: doi: 10.1016/j.mprp.2019.07.002.
- [10] SENESCYT, «Índice de competitividad del Ecuador,» 2022.
- [11] T. Otzen y C. Manterola, «Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio», *Int. J. Morphol*, Mexico, 2017.
- [12] TAICED, «Impresión 3D y Diseño Digital,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.taiced.com/>.
- [13] RadLab, «Partes Personalizadas Impresas en 3D,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.radlab.com.ec/>.
- [14] MakerGroup, «Diseño e Impresión 3D,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.makergroupecuador.com/>.
- [15] Primicias, «Primicias.ec,» 09 Noviembre 2019. [En línea]. Available: <https://www.primicias.ec/noticias/economia/pro duccion-vehiculos-ecuador-ensambladoras-importaciones/>.
- [16] K. Moreno, «Estudio de las aplicaciones y ventajas que ofrece la impresión 3D en el ámbito de la automoción,» 2021. [En línea]. Available: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/21>

Desarrollo de una aplicación de apoyo en el diagnóstico del sistema de inyección electrónica a gasolina utilizando programación Python

Development of an application to support the diagnosis of the electronic gasoline injection system using Python programming

Anthony Alexander Chávez Alvear¹, Havit Amin Garzozzi Calderón¹, Marcelo Xavier Estrella Guayasamín¹

¹ Universidad Politécnica Salesiana /Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas/ GMovInt, Guayaquil, Ecuador

Correspondencia Autores: achaveza3@est.ups.edu.ec, hgarzozzi@est.ups.edu.ec, mestrellag@ups.edu.ec,

Recibido: 10 de septiembre 2024, Publicado: 18 de diciembre de 2024

Resumen— *En el presente estudio ha dado lugar al desarrollo de una aplicación diseñada para servir como guía en las reparaciones automotrices relacionadas con el sistema de inyección a gasolina. La programación de esta aplicación se llevó a cabo utilizando el método ADDIE (Analizar, Diseñar, Desarrollar, Implementar y Evaluar), lo que implicó el uso del entorno de desarrollo integrado (IDE) “Kivy” y la librería “KivyMD”. Esto permitió crear una interfaz gráfica compatible con sistemas operativos Android, asegurando un proceso de desarrollo ordenado, respaldado por la elaboración de un diagrama de flujo que sirvió de guía durante la creación de la aplicación. Además, para desarrollar los comandos, se optó por el lenguaje de programación Python, que facilitó la conexión entre el código y la interfaz de usuario. Para la migración del código a Java se utilizó “Buildozer”, con el fin de crear la aplicación Android. En cuanto a la adquisición de datos, se utilizaron equipos de medición normalizados como el multímetro ANENG A3005 y el osciloscopio Micsig tBook mini, fundamentales para medir los parámetros normales de funcionamiento de los sensores, información que será utilizada en la aplicación. Como resultado, se obtuvo una aplicación con una interfaz interactiva que ofrece una guía para la localización y reparación de averías en el sistema de inyección.*

Palabras clave— *ADDIE, IDE, Python, Buildozer, Java, Android*

Abstract— The present study has led to the development of an application designed to serve as a guide in automotive repairs related to the gasoline injection system. The programming of this application was carried out using the ADDIE method (Analysis, Design, Development, Implementation and Evaluation), which involved the use of the integrated development environment (IDE) “Kivy” and the “KivyMD” library. This allowed for the creation of a graphical interface compatible with Android operating systems, ensuring an orderly development process, supported by the elaboration of a flowchart that served as a guide during the creation of the application. Additionally, to develop the commands, the Python programming language was chosen, which facilitated the connection between the code and the user interface. For the migration of the code to Java, “Buildozer” was used, in order to

create the Android application. Regarding the acquisition of data, standardized measuring equipment such as the ANENG A3005 multimeter and the Micsig tBook mini oscilloscope were used, essential for measuring the normal operating parameters of the sensors. As a result, an application with an interactive interface was obtained, offering a guide for locating and repairing faults in the injection system.

Keywords— *ADDIE, IDE, Python, Buildozer, Java, Android*

I INTRODUCCIÓN

En la actualidad la Industria 4.0, ha generado una significativa transformación en la forma en la que se producen, gestionan y diseñan los productos y servicios; la implementación de tecnologías como la inteligencia artificial, la robótica y la automatización de procesos puede resultar en la sustitución de ciertos trabajos manuales por máquinas, ya que representa un impacto significativo en productividad, economía y competitividad de la sociedad [1,2]. Además, ha demostrado ser relevante por su innovación, transformación de las cadenas de suministro y tecnologías avanzadas ya que cuenta con algunos aspectos claves como la inteligencia artificial, la automatización avanzada, el internet de las cosas, entre otros [3].

Su alcance se extiende afectando a diferentes sectores y a las industrias e incluso a la sociedad en general. Es así como la industria automotriz actualmente experimenta una transformación en la implementación de nuevas tecnologías que influyen en la fabricación, diseño, distribución y mantenimiento de los vehículos [4]. Una de esas tecnologías es la de conectividad, que es esencial para facilitar los servicios de conexión y comunicación a los conductores y pasajeros. Otra es el internet de las cosas ya que los vehículos modernos vienen equipados con dispositivos y sensores que recopilan datos a tiempo real y que permiten un monitoreo constante del rendimiento y detección temprana de problemas en el vehículo [5,6].

La industria automotriz ha creado diferentes alternativas para monitorear el motor de un vehículo, incluyendo sensores de lectura que constantemente se comunican con la Unidad de Control Electrónica (UCE) [7]. Estas alternativas contemplan el uso de programas de computadora que se comunican directamente con el vehículo para monitorear el funcionamiento del motor, o bien, utilizan un escáner automotriz para verificar parámetros de funcionamiento. Sin embargo, muchos de estos métodos de detección de códigos de falla son complejos y necesitan de personal capacitado para su correcto uso.

Entre las opciones disponibles se hallan programas informáticos que permiten el monitoreo de sensores y actuadores, facilitando así el diagnóstico de fallas electrónicas automotrices. No obstante, estas herramientas presentan desventajas, como la falta de compatibilidad con todas las marcas de automóviles y su potencial costo elevado tal como ocurre con Scantool de Autoenginuity, ProScan, PCMSCAN, EOBD Facile, OBD2 Auto Doctor, entre otros [8].

En [9], los autores desarrollaron una aplicación móvil denominada "CarAnalyzer", esta aplicación se creó con el fin de diagnosticar los vehículos a través de la interfaz OBD-II y funciona con sistema operativo Android, utiliza conectividad bluetooth e interfaz de transmisión de voz para recopilar información que la aplicación obtuvo en la lectura de datos. La aplicación tiene la capacidad de almacenar datos del usuario, proporcionando información detallada del vehículo y su historial de códigos de falla. Su desarrollo se fundamenta en el estudio [10], está utilizó Android Studio como entorno de desarrollo integrado (IDE) y el lenguaje de programación Java.

Sánchez et al [11], desarrollaron una aplicación móvil para el proceso de gestión automatizada de soporte técnico en un taller de servicio. La aplicación fue creada para uso exclusivo de smartphones con sistema operativo Android. Su función es ingresar datos del vehículo e indicar cuales son los problemas que presenta previo a la cita de mantenimiento, la aplicación está programada con lenguaje TypeScript, el diseño del entorno de la aplicación fue utilizado mediante en el estudio [12], donde se aplicó el Framework Ionic y se codificó con Visual Studio Code utilizando un flujograma de cliente a servidor e implementación de un modelo NoSQL a través de los servicios de Firestore y autenticación de Firebase de Google. Este trabajo se llevó a cabo bajo la guía de [13,14], que aplicaron herramientas de desarrollo eficientes y manejo intuitivo de interfaces para garantizar su seguridad y capacidad de adaptación a las demandas cambiantes de la industria automotriz.

En [15], se desarrolló una aplicación como método de aprendizaje para el mantenimiento de vehículos livianos con sistema de inyección a gasolina. El desarrollo de la aplicación utiliza medios de aprendizaje basados en Android, aplicando el método Analizar, Diseñar, Desarrollar, Implementar y Evaluar (ADDIE). La aplicación contiene un menú de introducción de los sistemas de control electrónico, diagnósticos, inspección y mantenimiento; además, presenta un medio de aprendizaje equipado con texto, imágenes y videos.

En [16], se desarrolló una aplicación para concientizar a la población sobre el significado de las señales de tránsito. Esta aplicación utilizó el método ADDIE para desarrollar un entorno de aprendizaje fácil de usar, lo que la convirtió en un entorno interactivo mediante el uso de Android Studio y el lenguaje de programación Python. La aplicación ofrece un menú de opciones múltiples donde puede el usuario seleccionar cualquier señal de tránsito para informarse sobre los riesgos. Además, cuenta con un medio de aprendizaje equipado con texto, imágenes y un video simulador en 3D.

Debido al incremento de tecnologías, muchos de los técnicos mecánicos sienten el temor de experimentar en estos nuevos sistemas debido a la complejidad y al desconocimiento [17]. Por lo tanto, el desarrollo de nuestra aplicación busca darles una mayor seguridad a los técnicos al tener una guía que les brinde indicaciones paso a paso de lo que tienen que hacer para la localización de la avería.

Este proyecto cobra relevancia al enfocarse en la creación de una aplicación destinada a orientar reparaciones automotrices, especialmente en el ámbito del sistema de inyección. La programación se realizó utilizando las metodologías previamente mencionadas como el entorno desarrollo integrado (IDE) Kivy y la librería KivyMD, garantizando así una interfaz gráfica compatible con dispositivos Android. A diferencia de otras aplicaciones, esta se centra en la identificación de códigos de avería y en la presentación de guías de reparación, ofreciendo opciones de retroalimentación para evaluar problemas y brindar alternativas.

II MÉTODOS Y MATERIALES

Software de programación

Se empleó el programa VSCodium para plasmar la codificación del entorno y programar la aplicación. Este programa es de libre uso y permite trabajar con varios lenguajes de programación [18]. Por otro lado, se utilizó la biblioteca de código abierto Kivy para desarrollar aplicaciones con interfaces nuevas de usuario. Además, se utilizó la librería KivyMD para la interfaz gráfica de usuario [19].

Para las funcionalidades del programa, se aplicó el lenguaje de programación Python con el fin de obtener un flujo de funcionamiento de la aplicación. Maneja un lenguaje de programación multipropósito que permite realizar funciones desde análisis de datos, desarrollo web hasta aprendizaje automático [20].

Los protocolos de diagnóstico se obtuvieron a partir de los manuales de servicio, accediendo al sitio web del National Automotive Service Task Force (NASTF), organización que facilita la resolución de problemas y la comunicación entre técnicos automotrices, fabricantes y propietarios de vehículos [21].

Equipos de medición

Para las mediciones, se emplearon herramientas específicas como: el osciloscopio Micsig tBook mini, con dos canales de conexión para obtener oscilogramas de cada uno de los sensores, el multímetro ANENG A3005, tipo bolígrafo con un rango de medición AC/DC de 0.8V a 600V y un rango de medición de resistencia de 0.1Ω a 40MΩ. Estas herramientas se utilizaron para medir parámetros de funcionamiento y validar que se cumplan con lo especificado en el manual de servicio.

Metodología

La metodología para la creación de la aplicación base se muestra enumerados los procesos del desarrollo de la aplicación en la Figura 1, el primer paso es la creación de interfaz de la aplicación utilizando VSCodium, un programa de código abierto que permite la creación de programas en varios lenguajes de programación (1). Luego, mediante el uso de Python se enlazo fácilmente varias librerías y dependencias, mejorando la conexión entre el código y la interfaz de usuario [22].

A continuación, se utilizó la información de la librería KivyMD para obtener los comandos necesarios y crear las clases individuales para cada pantalla con el propósito de organizar los componentes y códigos por funcionalidad (2). Cada pantalla se definió para asegurar que la aplicación tuviera acceso a una biblioteca completa de todos los segmentos registrados (3 y 4). Dentro de Kivy, se hizo referencia a las pantallas previamente definidas en las clases y se comenzó a construir el contenido de acuerdo con los requisitos del programa (5 al 7) [23].

Luego, para la migración del lenguaje de programación Python a Android se necesitó un traductor intermedio, que se conoce como “Buildozer” este migrador de código y creador de APK se utilizó por medio de Ubuntu, el cual se instaló desde la tienda de Windows (8) [24]. Este script de Ubuntu permitió traducir el código de Python y Kivy enlazando las funciones e interfaz gráfica, realizando una recopilación de cada una de las imágenes y documentos utilizados traduciendo de Python a Java, lenguaje el cual es compatible con

sistemas Android y permite la lectura de archivos APK [25].

Por último, para desarrollar la aplicación, se implementó el método ADDIE con el fin de crear una aplicación interactiva para dispositivos Android. En primer lugar, se recopilaron datos, incluyendo parámetros normales de funcionamiento, características del sensor y señales eléctricas. Para la toma de datos de los sensores, se utilizaron herramientas como el multímetro ANENG A3005 para verificar que estén trabajando dentro de los rangos de voltaje y resistencia especificados en el manual de servicio, y un osciloscopio Micsig tBook mini para captar las señales eléctricas de los sensores y representarlas como ondas.

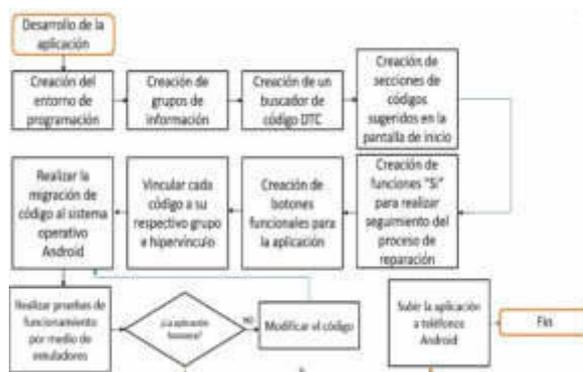


Fig. 1. Flujograma del proceso del desarrollo de la aplicación

Migración de Python a Java

El sistema operativo Android se basa en Java y sus Interfaces de Programación de Aplicaciones (APIs), lo que permite la ejecución de aplicaciones en formato APK. Debido a esta estructura, Android no es compatible directamente con Python. Por lo tanto, para ejecutar programas Python en dispositivos Android, dependen de la descarga de aplicaciones de terceros que interpretan el código Python a la migración del código a un lenguaje compatible con Android.

La metodología empleada para migrar de Python a Java se basó en el uso de Kivy, una plataforma especializada en la creación de aplicaciones Android. Buildozer, una extensión de Kivy, facilitó el proceso de migración y compilación de toda la información, imágenes y archivos utilizados en Python. Este procedimiento estableció una conexión funcional entre los archivos Python y Kivy, lo que permitió la generación de una interfaz gráfica operativa. Posteriormente, Buildozer tradujo este código junto con el de Kivy a Java, e implementó las dependencias necesarias para garantizar

su funcionamiento en Android y optimizar el tamaño del archivo APK resultante [26].

Vehículos de estudio

Esta aplicación fue diseñada para el modelo Kia Sportage R del 2016 con un motor 2.0 EX DOHC, transmisión automática de 4 y 16 válvulas, una potencia máxima de 6200 rpm y con un torque máximo de 19.5 kg/m. Un Kia Picanto del 2023 con un motor 1.2 DOHC CVVT dual de 16 válvulas 4 cilindros en línea, transmisión manual de 5 velocidades, con una potencia máxima de 83 hp y un torque máximo de 122 Nm y Kia Soluto del 2020 con un motor 1.3 DOHC CVVT dual de 16 válvulas 4 cilindros en línea, transmisión manual de 5 velocidades, con una potencia máxima de 94 hp y un torque máximo de 133 Nm [27].

La información sobre las especificaciones del fabricante, los parámetros de funcionamiento y los protocolos de diagnóstico se obtuvieron a partir de los manuales de servicio adquiridos a través de NASTF [28]. Se recopilaron los valores característicos y oscilogramas de los sensores y actuadores del motor en funcionamiento normal para alimentar la aplicación. Los sensores y actuadores incluidos fueron: Sensor CKP, Sensor CMP, Sensor MAP, Sensor IAT, Sensor de Oxígeno, Sensor Knock, Sensor ECT, Bomba de combustible, Sensor TPS, Sensor APS e Inyector.

III. PRUEBAS Y RESULTADOS

Entorno de la aplicación

A continuación, se explicará detalladamente la fase de creación del entorno, la sección de búsqueda dentro de grupos, la organización de los grupos y la incorporación de gráficas.

Fase de creación

RadLab es una compañía ecuatoriana especializada en Se empleó VSCodium para generar el ambiente visual, siguiendo el Algoritmo 1, que define la clase y tipos de variables dentro de la interfaz de usuario. Además, este algoritmo incluye la función de visualización de grupos, como se muestra en la Figura 2.



Fig. 2. Ambiente visual

```
#Se definen la selección de
vehículos class BaseSportageScreen:
    def pagsen(self):

        app = App.get_running_app()
        pagina_sensor = app.pagina_sensor
        print(f"Previous Screen:
        {pagina_sensor}") if pagina_sensor:
            app.root.transition.direction = 'right'
            app.root.current = pagina_sensor
    def go_back(self):

        app = App.get_running_app()
        pagina_anterior = app.pagina_anterior
        print(f"Previous Screen:
        {pagina_anterior}") if pagina_anterior:
            app.root.transition.direction = 'right'
            app.root.current = pagina_anterior
class Seleccion(Screen):

    def on_group_button_press(self,
    group): app =
    App.get_running_app()
    app.selected_group = group
    app.root.current = 'Intro'
```

Algoritmo 1. Creación del entorno

Para la creación de la función de búsqueda dentro del grupo seleccionado y la opción de regresar, se utiliza el Algoritmo 2. En la Figura 3 se muestra el entorno de búsqueda dentro de un grupo específico, lo que permite que el programa vincule únicamente la información relacionada con el grupo previamente elegido.

```
class Intro(Screen):
    def
    Buscador(self):
        app = App.get_running_app()
        screen_name =
        self.ids.input_text.text group_name
        = app.selected_group
        #Se utiliza para ver que grupos se están
        seleccionando if hasattr(app,
        'screen_manager'):
            screens_in_group
            = app.search_by_group(group_name)
            print("Codigos en el grupo:",
            screens_in_group) #Esta función revisa que se está
            buscando y en qué grupo se encuentra
            if screen_name in screens_in_group:
                app.screen_manager.transition.directi
                on =
                'left'
                app.screen_manager.current =
                screen_name else:
                    print("Código", screen_name)
                    self.display_error_message(f"El
                    código
                    '{screen_name}'
```

Algoritmo 2. Sección de búsqueda dentro del grupo



Fig. 3. Búsqueda dentro del grupo

Funciones de organización

Por otra parte, el Algoritmo 3 permite establecer los dígitos organizados por códigos de avería y establece un formato de búsqueda dentro del entorno. Esta codificación organiza los grupos en dígitos como se muestra en la Figura 4 que contiene la información del código de falla obtenido del manual de servicio.

```
class Inspeccion_P0030(Screen,
    BaseSportageScreen): def pagsen(self):
    app = App.get_running_app()
    pagina_sensor = app.pagina_sensor
    print(f"Previous Screen,
    BaseSportageScreen:
    {pagina_sensor}")
    if pagina_sensor:
        app.root.transition.direction =
        'right' app.root.current =
        pagina_sensor
    screen_groups = {
        'Sportage': ['Intro','0030sportage',
        '0031sportage', '0032sportage', '0036sportage',
        '0037sportage', '0038sportage', '0106sportage',
        '0107sportage', ...]
```

Algoritmo 3. Sección de organización por códigos de falla

P0122

Este código de falla se presenta cuando el sensor de posición del acelerador presenta un voltaje menor al rango aceptable. Entre las posibles causas de este fallo se encuentran:

Posibles causas
1. Circuito abierto en la fuente de poder o señal
2. Corto a tierra en la fuente de poder
3. Sensor TP1 averiado
4. Mala conexión

Testigo MIL aparece en: 1 ciclo de conducción



Fig. 4. Organización por códigos de falla

Función de colocación de diagramas

Por último, en el Algoritmo 4 se muestra la función de añadir imágenes, esta tiene el fin de insertar imágenes en formato gráfico y establecer su resolución en dimensión estándar y en aumento. La Figura 5 permite observar el circuito eléctrico, así como la información sobre los pines del sensor y la

Obtención del ciclo de conducción urbano para la ciudad de Riobamba en horas pico y no pico mediante la recolección de datos de los factores de operación y consumo energético obtenido por un dispositivo OBD

Obtaining the urban driving cycle for the city of Riobamba in peak and non-peak hours by collecting data on the operation factors and energy consumption obtained by an OBD device.

Paúl Montúfar¹, Roberto Calva¹, Andrés Flores¹

¹ Escuela Politécnica de Chimborazo/Facultad de Mecánica, Riobamba, Ecuador

Correspondencia Autores: roberto.calva@esPOCH.edu.ec, andres.flores@esPOCH.edu.ec;

Recibido: 10 de noviembre 2024, Publicado: 18 de diciembre de 2024

Resumen— *El objetivo de la presente investigación fue realizar el ciclo de conducción ideal para la ciudad Riobamba mediante la obtención de factores de operación de motores de combustión interna para reproducir el consumo de combustible segundo a segundo de vehículos livianos e identificar el perfil de conducción en la ciudad. Se realizaron pruebas en ruta, un total de 146 en 10 vehículos. En la obtención de datos en rutas, se eligió diferentes parámetros a monitorizar mediante el software de teléfonos, “Torque Pro”. Mediante el método de microciclos, se obtuvo un número de 806 microciclos, a partir del número total de rutas, considerando la velocidad inicial y final igual a cero, tomando en cuenta los tiempos de ralentí. Se clasificó el número de vehículos por su cilindrada. Se procedió a realizar una filtración por la herramienta conglomerados de Minitab. Para la elección final de microciclos, se realizó una filtración aleatoria de microciclos que se acerquen al rango de la velocidad promedio con una tolerancia de $\pm 5\%$ en los microciclos en estudio hasta alcanzar la longitud de 800 ± 60 segundos. Se obtuvieron 4 ciclos de conducción para automóviles de diferente cilindrada. Con un rango de 9 a 17,5 L/100km instantáneos. Se expresó mediante los ciclos de conducción urbanos, que la ciudad de Riobamba presenta una conducción lenta pero agresiva, con una tasa elevada de consumo de combustible por sus tiempos en velocidades menores a 20 km/h. Se sugiere hacer más estudios referentes al consumo de combustible con respecto al tráfico de la ciudad, y tomar en cuenta estas interpretaciones para tener nuevas alternativas que controlen el gasto energético de los automóviles que transitan en la ciudad.*

Palabras clave— *Ciclo de conducción, Vehículos livianos, Método de microciclos, Factores de operación, Consumo de combustible*

Abstract— The objective of the present investigation was to carry out the ideal driving cycle for the city Riobamba by obtaining internal combustion engine operation factors to reproduce the second to second fuel consumption of light vehicles and identify the driving profile in the city. Road tests were conducted, a total of 146 in 10 vehicles. In obtaining route data, different parameters were chosen to be monitored using

the telephone software, “Torque Pro”. Using the microcycle method, a number of 806 microcycles was obtained, from the total number of routes, considering the initial and final speed equal to zero, taking into account the idle times. The number of vehicles was classified by their displacement. Filtration was carried out by the Minitab chipboard tool. For the final choice of microcycles, a random filtration of microcycles approaching the average speed range was performed with a tolerance of $\pm 5\%$ in the microcycles under study to reach the length of 800 ± 60 seconds. Four driving cycles were obtained for cars of different displacement. With a range of 9 to 17.5 L / 100km instantaneous. It was expressed through urban driving cycles, that the city of Riobamba has a slow but aggressive driving, with a high rate of fuel consumption for its times at speeds below 20 km / h. It is suggested to do more studies regarding fuel consumption with respect to city traffic, and to take into account these interpretations to have new alternatives that control the energy expenditure of cars traveling in the city.

Keywords— *Driving cycle, Light vehicles, Macrocycle method, Operating factors, Fuel consumption*

I INTRODUCCIÓN

La evolución del campo automotor tiene un crecimiento progresivo a través del tiempo. Lo cual incide en que se desarrollen tecnologías automotrices capaces de abastecer la demanda con altos estándares de calidad y amigables con el medio ambiente. Por lo tanto, entidades estatales en países desarrollados establecen políticas y reglamentos basados en el uso racional de los recursos disponibles y que regulan la libre circulación de automotores en beneficio del ecosistema.

Hoy en día, los países de América Latina y el Caribe, en vías de desarrollo económico tienden a apostar a alcanzar mayores niveles de eficiencia energética para alcanzar la sostenibilidad.

Ecuador, dentro de su plan de desarrollo para un buen vivir apunta a una sociedad donde la eficiencia energética juega un rol imprescindible para el desarrollo de la comunidad ecuatoriana. Si más bien, el país aún depende

de recursos de combustibles fósiles, es necesario encontrar lineamientos que favorezcan su óptima utilización en el sector automotriz. Es por eso que, la ley de Eficiencia Energética, tiene focalizado incentivar a las empresas a formular sistemas más limpios para el transporte.

Particularmente, en la ciudad de Riobamba, no se dispone de la información pertinente al ciclo de conducción urbano. Siendo, el transporte terrestre una actividad económica estratégica de la ciudad, se propone en la presente investigación experimental obtener el ciclo de conducción de la zona urbana en vehículos livianos a través de la tecnología OBD II. Por lo tanto, con la información obtenida se pretende sentar las bases de investigación para alcanzar una mejor eficiencia energética que a futuro sea útil para establecer una mejor estructura y organización al sistema vehicular urbano riobambeño.

II MÉTODOS Y MATERIALES

Motor de Combustión Interna

Es un tipo de máquina que a partir de la energía química de un combustible obtiene energía mecánica, tal como se aprecia en la figura 1

El proceso de combustión se produce dentro de la máquina [7].



Fig. 1 Motor de combustión interna

Se clasifica en ciclo Otto y diésel acorde a su funcionamiento. El motor ciclo Otto puede clasificarse en:

- Gasolina
- GLP (Gas licuado de petróleo)
- GNC (Gas natural comprimido)
- Etanol

El mecanismo de funcionamiento se basa en la interacción de los elementos que se aprecian en la figura 2. Donde el cilindro aloja un pistón que se ajusta a sus paredes mediante unos anillos que evitan que los gases se introduzcan en la parte inferior del motor y contribuyan a

la lubricación del motor. El pistón se halla unido a una biela, la cual transmite la fuerza de explosión al codo de un cigüeñal. Con esta interacción el movimiento alternativo del pistón se convierte en un movimiento de rotación mediante el eje del cigüeñal. La parte superior del cilindro se cierra mediante la culata o cabezote, donde se alojan las válvulas que son accionadas por un eje de levas que permiten el ingreso o salida de los gases del cilindro. El eje de levas recibe el movimiento del cigüeñal a través de una cadena o banda dentada y gira con la mitad de revoluciones que el cigüeñal.

El cuerpo encargado de alojar el mecanismo cilindro-pistón es el bloque cuya parte inferior se sella con el cárter, donde se encuentra el aceite, que tiene la función de lubricar y contiene ductos de refrigeración [7].

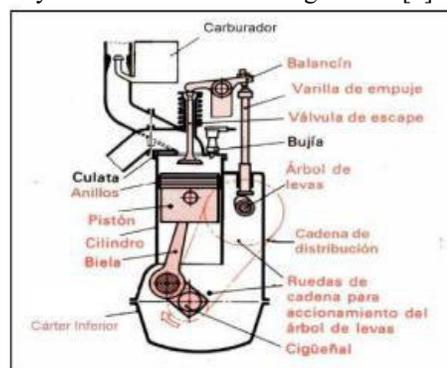


Fig. 2. Esquema básico del MCI

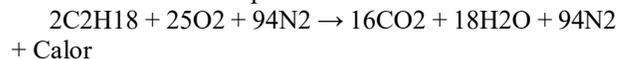
El objeto de investigación está enfocado al estudio en vehículos a gasolina.

Termodinámica de la combustión

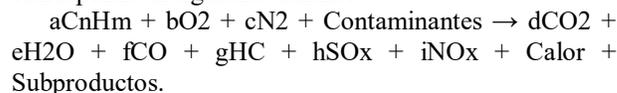
El aire está compuesto por nitrógeno molecular (N₂), oxígeno molecular (O₂), vapor de agua (H₂O), dióxido de carbono (CO₂) y argón (Ar) [21]. La cantidad de cada uno de estos componentes varía dependiendo de la situación geográfica y condiciones meteorológicas.

Los procesos de combustión interna son:

• Combustión completa: se genera cuando existe una oxidación total de cada uno de los elementos que conforman el combustible. El balance estequiométrico ideal del octano corresponde a:



• Combustión incompleta: no se oxida totalmente el combustible y los productos de la combustión varían en función de la cantidad de oxígeno existente. Por ende, se forman sustancias como el monóxido de carbono y corresponde al siguiente balance:



- Combustión teórica: está relacionada con el cálculo de las relaciones cuantitativas entre reactantes y productos del balance.
- Combustión pobre: es la reacción que se produce cuando existe una menor cantidad de combustible en contraste con la cantidad de aire necesaria para la combustión.
- Combustión rica: se obtiene al reaccionar una mínima cantidad necesaria y existe una mayor presencia de combustible en relación al aire requerido para la combustión.

Ciclo Termodinámico del motor Otto

Las cuatro operaciones que priman el funcionamiento del motor Otto son: admisión, compresión, expansión y escape; cada operación se efectúa cada 180° y el proceso completo termina en 720°; la carrera lineal del pistón va desde el punto muerto superior (PMS) hasta el punto muerto inferior (PMI). En la figura 3 se puede visualizar la representación del diagrama presión – volumen del ciclo en mención.

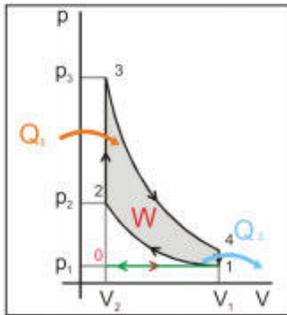


Fig 3. Ciclo Otto

Los procesos termodinámicos para el ciclo Otto comprenden [23]:

- Adiabático o isentrópico (1-2): sin transferencia de calor con el exterior, compresión del fluido de trabajo.
- A volumen constante (2-3): introducción instantánea del calor.
- Adiabático (3-4): expansión
- A volumen constante (4-1): extracción instantánea del calor.

Emisiones contaminantes

El motor de combustión ciclo Otto produce una combustión incompleta, la cual provoca gases contaminantes que afectan a la salud humana [13]. Los gases generados en la reacción se clasifican en:

- Tóxicos: Los gases de escape comprenden: monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NOx), ozono (O3) y óxido de azufre (SO).

- Inofensivos: Oxígeno molecular (O2), Nitrógeno molecular (N2), dióxido de carbono (CO2) a niveles de 2000 ppm y Agua (H2O).

En el año 2016, el Ecuador ha matriculado un total de 2 056 213 vehículos, en el cual, la provincia de Chimborazo (Riobamba como cabecera cantonal) registra 32 960 vehículos matriculados [11], ver figura 4

Existe una emisión de 289,3 kilotoneladas (kt) de CO2 en el año 2014 por parte de la combustión de combustible en los vehículos en el Ecuador [10], ver figura 5-2.

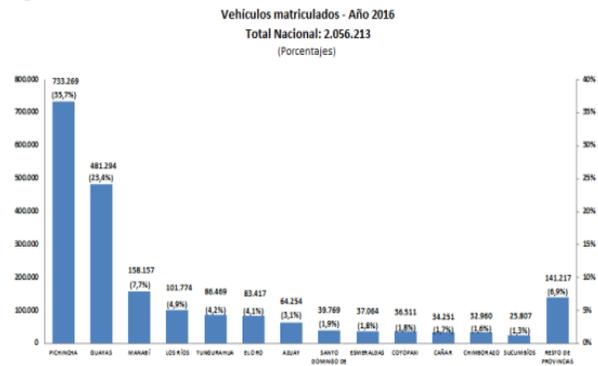


Fig 4 Vehículos matriculados en Ecuador.

Control de emisiones contaminantes

Los sistemas de control de emisiones de escape se han creado con el propósito de minimizar los elementos contaminantes producidos por el automotor en el ciclo de combustión [23] y son:

- Ignición electrónica: consiste en un sistema electrónico que interrumpe la corriente del primario de la bobina para generar por autoinducción la alta tensión que requiere la bobina.
- Control de combustión (sensor de oxígeno): consiste en un sensor alojado a la salida del escape del motor que censa los gases de combustión y retroalimenta constantemente a la unidad de control del motor que adecua la mezcla aire-combustible acorde al estado de funcionamiento del vehículo.
- Unidad electrónica de control: está conformada por una unidad de control asociada a sensor MAP, sensor de posición del acelerador, sensor de temperatura y oxígeno y otros, que monitoriza y determina las cantidades adecuadas de cantidad de combustible, punto de ignición y demás parámetros.
- Sistema de inyección adicional de aire en el escape: se encarga de inyectar aire fresco dentro del múltiple de escape del motor reduciendo los productos incompletos de la combustión.
- Sistema de ventilación positiva del cárter (PCV): está compuesto por una válvula PVC, que extrae los gases del

cárter. La válvula se ubica en la tapa de las válvulas y se comunica directamente con el múltiple de admisión y trabaja en función de la carga del múltiple. Es así como una cantidad de los gases que fluyen hacia el múltiple de admisión son parte de los gases del cárter del motor, los mismos que son empleados para la combustión y reducen las emisiones nocivas de los gases.

- Sistema de emisiones evaporativas (EVAP): este sistema se encarga de recolectar los gases que se forman cuando el combustible está almacenado en el tanque. Los gases son llevados por medio de un conjunto de válvulas hacia el canister de carbono para su almacenamiento hasta ser purgados hacia el motor para su combustión.
- Sistema de recirculación de gases de escape (EGR): su finalidad es reducir las emisiones de óxido de nitrógeno, introduciendo los gases del escape dentro de la cámara de combustión a través de una válvula de recirculación de los gases entre el escape y el múltiple de admisión. Por lo tanto, disminuyen los picos de temperatura en la combustión.
- Convertidor catalítico: este dispositivo funciona idealmente entre 400° y 700°, se encarga de transformar los gases contaminantes por medio de la técnica de la catálisis en gases inertes y reducir los elementos nocivos.

Eficiencia energética del motor de combustión interna

Un MCI alimentado por gasolina, no logra alcanzar el 100% de la eficiencia térmica [7]. El 30% de la energía calórica que contienen se transforma en movimiento y el restante se disipa hacia la atmósfera. El diagrama Sankey de la figura 6 permite apreciar el balance de la energía de ingreso y de salida.

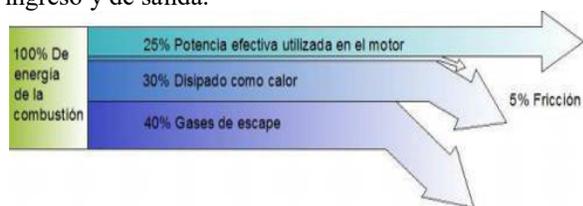


Fig . 6 Eficiencia del MCI

Ciclos de conducción.

El ciclo de conducción del vehículo es una serie de puntos de datos que representan la velocidad de un vehículo frente al tiempo. Este ciclo refleja la condición de trabajo real de un automotor en condiciones de tráfico específicas, se trata de una evaluación razonable desde la perspectiva económica y de emisiones del vehículo [13].

Los ciclos de conducción son una herramienta estadística que genera un perfil de velocidad contra tiempo, siendo información estratégica para la industria automotriz y las entidades que se encargan de crear políticas a favor de mitigar las emisiones hacia el ambiente.

En China continental y la India, la densidad de los vehículos en la carretera suele ser mayor y los sistemas de gestión de tráfico son menos avanzados que en otros países, por lo cual, sus aceleraciones promedio son elevadas [1], como se lo expresa en la tabla 1.

Zona Geográfica del CC	Velocidad media (Km/h)	Aceleración Promedio Positiva (m/s ²)
Asia	27,8	0,727
Estados Unidos	36,2	0,507
Australia	35,4	0,630
Europa	41,7	0,464

Tabla 1. Características de conducción en el mundo

Una comparación de ciclos de conducción entre los continentes de Asia y Europa, determinó que el continente asiático presenta la conducción más lenta pero más agresiva, mientras el europeo es más rápido, pero más suave [2].

Ciclo de conducción para Estados Unidos

Los ciclos de este país son denominados Federal Test Procedure (FTP), son de índole gubernamental y fueron creados para darle una regulación a los inventarios de emisiones y consumo de combustible de los vehículos livianos [9]. Estos ciclos fueron originados en los Ángeles en un viaje de rutina de casa al trabajo por la mañana a mediados del año 1960 en un vehículo Chevrolet 1964, siendo los parámetros medidos: velocidad del vehículo, presión en el múltiple de admisión y giro de motor. Fue una ruta de 12 millas y se nombró “LA4”. Así también sobresalen los ciclos:

- FTP 72: se lo conoce también como “Urban Dynamometer Driving Schedule (UDDS)”. Simula un trayecto urbano de 12.07km con paradas frecuentes, la velocidad máxima y promedio corresponde a: 91.26km/h y 31.6km/h, respectivamente. Posee dos fases en el tiempo de: 505s (arranca desde un estado frío, avanza 5.78km a 31.6km/h promedialmente) en 867s. Este ciclo se conoce en Australia como ADR 27 (Australian Design Rules) y en Suecia como CVS (Constant Volume Sampler), ver figura 7.
- FTP 75: se deriva del FTP 72, ver figura 8, categorizando las siguientes fases:

- i. Fase de arranque en frío de 0 a 505s.
- ii. Fase estabilizada. 506s – 1372s.
- iii. En caliente (mínimo 540s, máximo 660s).
- iv. Fase de arranque en caliente de 0-505s.

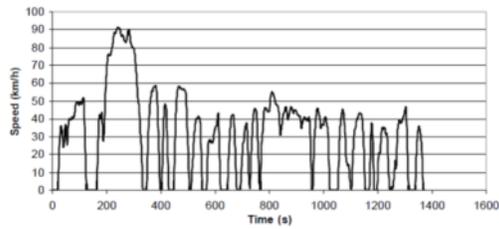


Figura 7. Ciclo de ensayo FTP 72

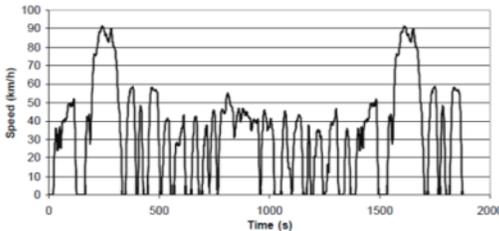


Figura 8. Ciclo de ensayo FTP 75

• Prueba americana IM-240: esta prueba se realiza sobre dinamómetros en 240s. Este ciclo es de tipo transitorio y sirve para la medición y registro de emisiones en vehículos livianos en movimiento, sin velocidad constante, en un ciclo de 3.2km de recorrido donde experimenta aceleraciones y desaceleraciones, ver figura 9-2 [21].

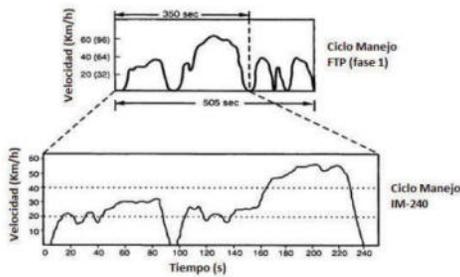


Figura 9. Ciclo de prueba IM-240

Ciclo de conducción para Europa

Investigadores europeos de Volkswagen evaluaron la adaptación del ciclo FTP 75 a las condiciones de tráfico de Europa [20]. Se llevó a cabo el análisis de parámetros como son frecuencia de paros, duración y longitud del trayecto, llegando a la conclusión de que este ciclo americano no se acopla al europeo. Al contrario, el FTP 72 tiene similitud del tráfico promedio con las condiciones europeas. A continuación, se indica los ciclos representativos:

• Ciclo de conducción New European Driving Cycle (NEDC): se aplica como referencia para homologar vehículos hasta norma Euro 6 y otros países. Este

ciclo no representa las condiciones reales de conducción, ya que presenta aceleraciones suaves, eventos de inactividad y cruceros de velocidad constante. Es por ello, que las autoridades europeas buscan reemplazar este ciclo y que satisfagan las características de distancia de 11.023km, duración 1180s y velocidad promedio de 33.6km, ver figura 10.

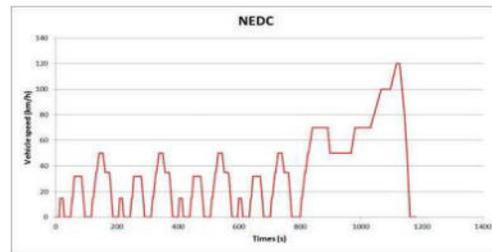


Figura 10. Ciclo de conducción NEDC

• Ciclo ARTEMIS: está elaborado bajo tres configuraciones diferentes basado en estudios estadísticos. Estos ciclos son empleados por los fabricantes de vehículos para interpretar de mejor manera las condiciones reales de conducción. Tal como se representa en las figuras: 11 y Figura12

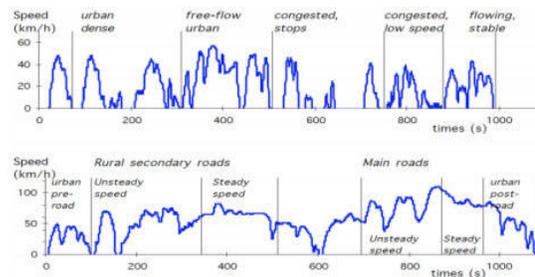


Figura 11 Ciclo de ensayo ARTEMIS en vía urbana (superior) y rural (inferior)

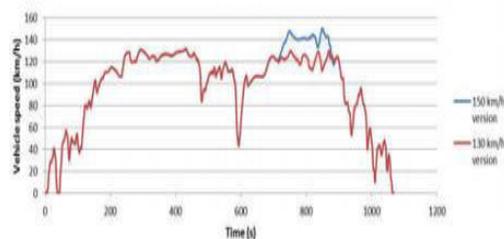


Figura 12 Ciclo de ensayo ARTEMIS en vía urbana (superior) y rural (inferior)

Ciclo de conducción JC08

Es un ciclo desarrollado en Japón en un dinamómetro de chasis. Tiene una duración de 1204s,

velocidad máxima de 81.6km/h y 8.171km de distancia, ver figura 13 [8].

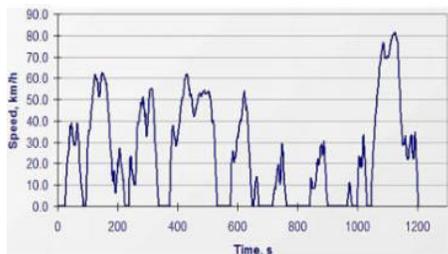


Figura 13. Ciclo de conducción JC08

Ciclo de conducción en el Distrito Metropolitano de Quito

Se realizaron tres ciclos aplicados a: ciudad (sentido sur-norte), carretera (sentido norte-sur) y combinado (sentido este-oeste). Fueron realizados bajo condiciones reales de manejo en las rutas de mayor tráfico con una trayectoria de 1325.84km en 59 horas de conducción, ver figura 14, figura 15 y figura 16 [17].



Figura 14. Ciclo para el DMQ en la ciudad



Figura 15. Ciclo para el DMQ para carretera

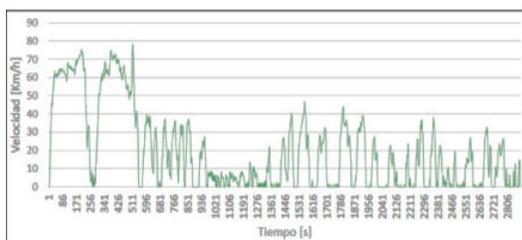


Figura 16. Ciclo combinado para el DMQ

En el Ecuador, la Normativa INEN 2204 y 2207 se fundamentan en los ciclos americanos FTP 75 y ciclos europeos [21].

Metodología para desarrollar ciclos de conducción

Existen los siguientes métodos:

- Directos: hace referencia a la adquisición de valores de velocidad con respecto al tiempo de forma repetitiva sobre una ruta preestablecida generando así curvas experimentales por cada viaje para posteriormente hacer el análisis estadístico y obtener el ciclo representativo de la trayectoria definida, ver figura 17 [20].
- Indirectos: se fundamenta en el procesamiento inicial de datos para construir un ciclo de conducción representativo. Así también, se vale de la recolección de curvas experimentales para hacer un análisis sobre conglomerados y determinar el patrón de conducción que predomina el ciclo de conducción repetitivo, ver figura 18 [20].

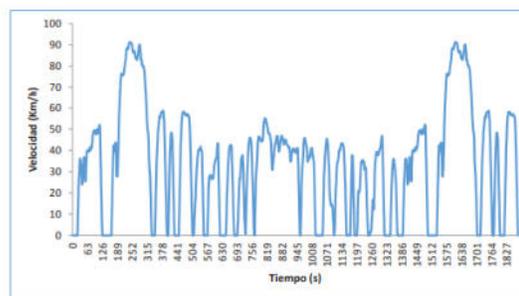


Figura 17. Ciclo de ensayo FTP 75

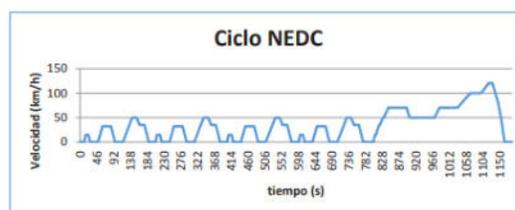


Fig 18. Ciclo de conducción NEDC

Para este trabajo de investigación se propone aplicar el método directo en base a una estimación de microciclos. Ya que al ser un ciclo de conducción para una ciudad donde no hay precedentes de estudio sobre curvas que definen el patrón de conducción de un automotor. Por lo tanto, es conveniente desarrollar curvas experimentales que involucren los parámetros que caracterizan el ciclo, ver figura 19.

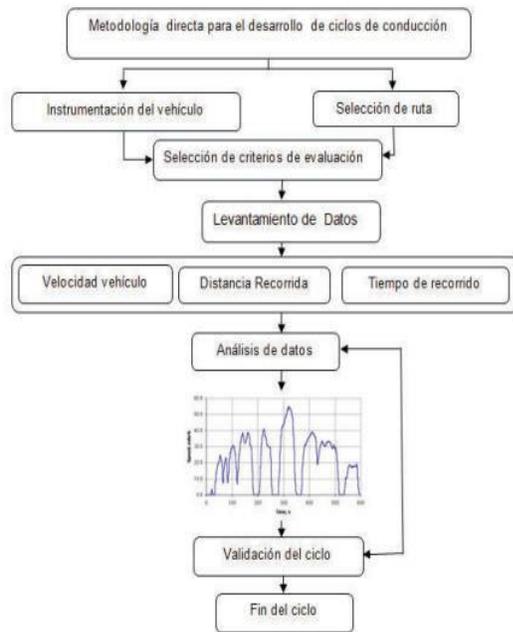


Fig 19. Metodología directa para desarrollo de ciclos de conducción.

Técnicas de instrumentación y parámetros para el desarrollo de los ciclos

Para representar el ciclo de conducción por el método directo, se debe recolectar la información experimental y puede ser llevada a cabo mediante: Técnica On Board: a través de la instrumentación adecuada se obtienen datos reales de conducción en una ruta específica [23].

Técnica de persecución del vehículo: consiste en ir tras el vehículo de estudio haciendo uso de otro automotor dentro de la misma trayectoria [23]. La técnica On-Board es la más viable para este proyecto porque permite obtener información real de los parámetros de funcionamiento del automotor. Para aplicar esta técnica se requiere equiparar por medio de instrumentos como Datalogger, GPS, scanner vehiculares, sensores, la quinta rueda y otros. Con estos dispositivos se logra obtener información sobre: velocidad, aceleración, tiempo de parada, distancia recorrida, entre otros afines [20].

Para este caso se emplea el dispositivo ELM327 Wifi. Este elemento es un escáner de interfaz que funciona a través de redes Wifi se puede enlazar con dispositivos Android o Apple. Con esta interfaz se consigue monitorear las revoluciones del motor, presión del múltiple de admisión, avance de tiempo, rango del flujo de aire, lectura del voltaje del sensor

de oxígeno, flujo y presión de combustible, temperatura en la toma de aire, carga, velocidad y otros parámetros.

III. PRUEBAS Y RESULTADOS

Esquema investigativo

La presente investigación tiene enfoque experimental, método el cual el investigador tiene el control de las variables de estudio. Es decir que se lleva a cabo en condiciones controladas de las variables dependientes e independientes [16]. Para este caso de estudio se determinó lo siguiente: Variable independiente: 10 Vehículos y ruta de la zona urbana.

Variable dependiente: Velocidad y tiempo. El procedimiento medular establecido describe las etapas siguientes [12]:

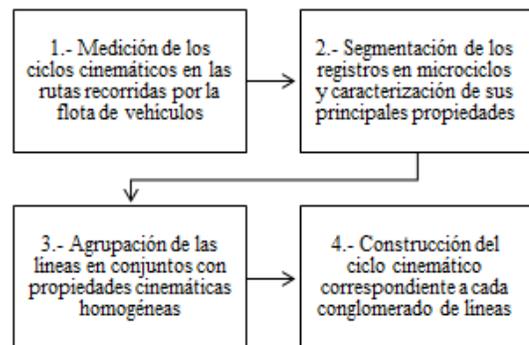


Figura 20. Procedimiento de la investigación

Enfoque de la investigación

El estudio tiene un enfoque cuantitativo. Puesto que, se realizará una serie sistemática de cálculos experimentales y operaciones estadísticas para la obtención del ciclo de conducción.

Tipo de investigación

El estudio empleó la investigación deductiva, experimental y de campo.

La recolección de información por parte de los investigadores se realiza de manera directa con los vehículos. Los datos almacenados son filtrados con la finalidad de mantener un orden específico y realizar un análisis estadístico para la obtención del ciclo de conducción.

Desarrollo

Información preliminar

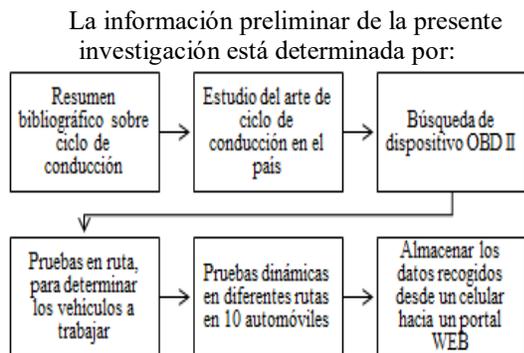


Figura 21. Información preliminar

La metodología a utilizar es de carácter experimental en base a microciclos. Los microciclos empleados se definen desde un punto inició con una velocidad inicial igual a cero seguido por periodos de aceleraciones, hasta una velocidad final igual a cero o reposo, incluyendo lapsos de ralenti, hasta acelerar nuevamente.

Determinación de rutas

El presente estudio se ha desarrollado en la zona urbana de la ciudad de Riobamba con una altitud mayor a 2000 msnm. Las rutas empleadas son definidas por el investigador a simple juicio por viajes casa-trabajo, mayor densidad poblacional y tipo de carreteras [21]. Se consideran tres puntos de principales para el análisis de la ruta y son: Escuela Superior Politécnica del Chimborazo • Paseo Shopping, • Parque Maldonado

Vehículos de prueba

Los registros se obtendrán de vehículos de las siguientes marcas y modelos:

Vehículo	Año	Cilindrada (L.)	Número de viajes	Tiempo de Lectura (s)	Recorrido (Km)	Protocolo de comunicación
Chevrolet Spark GT	2016	1.2	12	7538	21,25	ISO 9141-2
Toyota Yaris	2007	1.3	14	4461	19,26	CAN
Kia Ceed	2010	1.4	12	4103	17,21	ISO 9141-2
Chevrolet Aveo Family	2011	1.5	43	35627	136,31	ISO 9141-2
Haval M4	2017	1.5	13	3051	15,26	VAN
Kia Rio Xcite	2011	1.6	10	7182	19,06	ISO 15765-4
VW Polo	2006	1.6	11	2918	10,96	CAN
Chevrolet Sail	2014	1.6	10	7046	33,13	ISO 9141-2
VW Amarok	2013	2.0	11	2990	10,66	CAN BUS
Audi Q5	2012	2.0	10	2601	11,14	NEW GENUUS
TOTAL						
10	-	-	146	77517	294,24	-

Figura 22 Vehículos de prueba

La serie de vehículos expuesta en la figura 22, plantea una serie de vehículos y protocolos de comunicación que son compatibles con el dispositivo

OBD II “ELM327” que es la herramienta con la cual se realizó el estudio.

Obtención de ciclo de conducción por microciclos

Para la obtención del ciclo de conducción por el método de microciclos se debe emplear una serie de pasos, los cuales se plantean en la figura 23. La secuencia de pasos expuestos por el investigador es trabajada en software como Excel y Minitab. El programa estadístico Microsoft Excel permite distribuir de manera ordenada los parámetros característicos de las rutas, elaboración de microciclos. El programa Minitab realiza la filtración de microciclos (microciclos extensos de otros, se eliminan), obtención de clústers (conjunto de microciclos), verificar la desviación estándar de los datos de las variables que representan el ciclo de conducción (velocidad y aceleración).

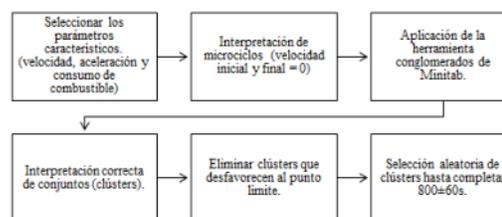


Figura 23. Obtención del ciclo de conducción por microciclos

Parámetros característicos

Los parámetros a considerarse para la obtención de un ciclo de conducción son:

- Distancia (km) [22].
- Velocidad promedio (km/h) [22].
- Tiempo recorrido (s) [22].
- Aceleración promedio positiva (m/s²) [22].

Los parámetros característicos (CP) son interpretaciones de medidas principales como lo son: distancia, tiempo, velocidad, aceleración y energía cinética.

Técnica de obtención de datos

La técnica de instrumentación empleada en la investigación es, On board proveniente de un método directo, la cual facilita al instrumentador la recolección de datos de los vehículos de prueba, por el motivo de precisión y confiabilidad de la técnica.

Esta técnica presenta las siguientes características:

- Recolección directa
- Los datos se obtienen directamente del vehículo
- Alta precisión / Alta confiabilidad
- Requiere de una muestra grande para asegurar la representatividad
- Demanda de mucho tiempo para el levantamiento de datos

Técnicas de microviajes

El ciclo operativo se clasifica en zonas de movimiento y de parada, teniendo en cuenta como microciclo a la evolución de la velocidad entre dos paradas continuas. Como finalidad, se postula generar ciclos de velocidad poligonales, los registros consecutivos se dividen en microciclos constituidos por secciones de aceleración, velocidad (incluido ralenti del motor) y desaceleración, ver figura 5-3 [12]. Lo cual permite:

- Comparar las curvas v–t divididas en ciclos en los que los vehículos parten de una Vo = 0 seguido por períodos de aceleraciones hasta llegar nuevamente al reposo (Vf = 0), esto incluye los lapsos de ralenti hasta acelerar nuevamente.
- Aplicar la herramienta conglomerados de Minitab, la cual permite eliminar los microciclos que estén extensos a los límites de la cadena de microciclos, a su vez de formar clústers que son conjuntos de microciclos.
- Para la obtención del ciclo de conducción, con la ayuda de clústers, realizar la filtración de clústers y microviajes aleatoriamente. Se deben emplear los microviajes que son próximos a la velocidad promedio total (±5% de rango), previo la filtración.
- El ciclo de conducción total engloba diferentes microciclos con un margen de 800±60s.

ELM327

El interfaz ELM327 es un dispositivo que permite la conexión a la computadora o teléfono móvil al vehículo, para el diagnóstico de vehículos equipados con sistemas OBD II [18]. En este estudio se emplea

el dispositivo OBD II tipo Wifi, ELM327. El dispositivo ELM327 permite obtener datos de la unidad de control del automóvil y enviar esta información a un software que permita la interpretación de datos de la ECU.

Torque Pro

Esta aplicación propia de Android, emplea la tecnología bluetooth y Wifi para conectarse con la computadora del vehículo, a través de un dispositivo OBD II, y envía información útil acerca del estado del automotor a través de PIDs que solicita el investigador.



Figura 24. Interfaz Torque Pro

La figura 24 muestra la interfaz Torque Pro, que con la ayuda del dispositivo ELM327, obtiene un registro de datos PID del automóvil (información de sensores y actuadores), registro posicional del automóvil (GPS) e información del consumo de combustible segundo a segundo del automóvil. Los dispositivos OBD II, a través de la aplicación Torque Pro, al igual que varias aplicaciones para celular, calculan el flujo de combustible de tres maneras, [14] y son:

- Relación propia de protocolos del automóvil
- Basado por MAF
- Basado por MAP

En caso de MAF

$$fuel\ flow\ rate\ \left(\frac{l}{s}\right) = \frac{MAF\ \left(\frac{g}{s}\right)}{AFR\ (:1) * \delta_{fuel} * 1000}$$

En caso de MAP

$$fuel\ flow\ rate\ \left(\frac{l}{s}\right) = \frac{RPM * VE * MAP * ED * M_{aire}}{120 * R * (IAT + 273.12) * AFR * \delta_{fuel} * 10000}$$

donde:

- AFR = Relación aire/combustible

- VE = Eficiencia volumétrica
- R = Constante de gases
- ED = Carga del motor

En el gráfico 1-3, se puede apreciar la comparativa entre los cálculos que realiza la aplicación Torque Pro a través del dispositivo OBD II, con respecto a cálculos expresados por el investigador de las fórmulas de flujo de combustible, implicando que estas fórmulas están relacionadas en los programas de dispositivos OBD II.

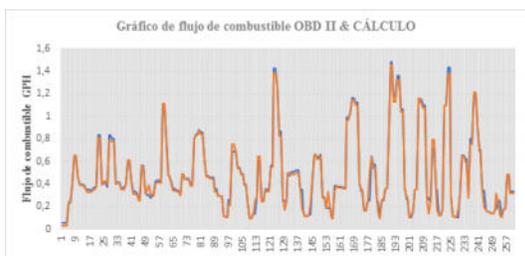


Figura 25 Flujo de combustible OBD II & Cálculo

Análisis e interpretación

Los ciclos de conducción experimentales se generaron a partir de patrones y parámetros característicos de conducción, alcanzando una longitud de 800±60s. La longitud del ciclo de conducción se estima por cercanía a otros ciclos de conducción en el mundo, y por fundamentar bases para nuevos estudios y pruebas dinámicas referentes a los ciclos de conducción obtenidos. Los ciclos de conducción se describen a continuación:

Ciclo de conducción para todos los vehículos de prueba

En la figura 26, indica que el primer ciclo de conducción realizado es para todos los vehículos de prueba. Se manipularon 808 datos provenientes de 7 microciclos, que fueron elegidos aleatoriamente y filtrados desde sus clústers de análisis y su número de microciclos internos.



Figura 26 Ciclo para vehículos de prueba

Además, en la figura 27, se reflejan los patrones y parámetros característicos del ciclo de conducción para todos los vehículos de prueba.

Definición de parámetros característicos del ciclo de conducción			
Relación	Tipo de relación	Valor	Unidad
Distancia	Distancia total	3431,879522	m
	Tiempo Total	807	s
Tiempo	Tiempo en conducción	686	s
	Tiempo crucero	0	s
	Tiempo acelerando	359	s
	Tiempo desacelerando	327	s
	Tiempo en reposo	121	s
	% de tiempo en conducción	85,01%	s
	% tiempo crucero	0,00%	s
Velocidad	Velocidad media de ruta	4,252638813	m/s
	Velocidad media de conducción	5,002739829	m/s
	Desviación estándar de la velocidad	2,994580698	m/s
	Velocidad máxima	11,14134259	m/s
Aceleración	Velocidad mínima	0	m/s
	Aceleración media	1,65E-18	m/s ²
	Aceleración media positiva	0,526854791	m/s ²
	Aceleración media negativa	-0,578412446	m/s ²
	Desviación estándar de la aceleración	0,692499825	m/s ²
Paradas	Aceleración máxima	2,311813303	m/s ²
	Aceleración mínima	-2,883528869	m/s ²
Dinámica	Número de paradas	7	
	Paradas por Km	2,039698642	
Dinámica	Aceleración positiva relativa	0,277173221	m/s ²
	Energía cinética positiva	0,50335094	m/s

Figura 27. Parámetros característicos del ciclo de conducción para vehículos de prueba

Por lo tanto, se destaca que la velocidad promedio del presente ciclo en ruta es de 15,3 km/h con una aceleración media positiva de 0,526 m/s², representando un manejo de conducción lento pero agresivo.

Con respecto a los vehículos de prueba, se realizó una clasificación por cilindrada, 1200-1300 cc, 1400-1600cc y 2000cc.

Ciclo de conducción en vehículos 1200-1300cc

La figura 28 refleja el ciclo de conducción de los vehículos con cilindrada de 1200 a 1300 cc, cuya tabla 2-4, interpreta una velocidad promedio de 14,4

km/h con una aceleración promedio positiva de 0,524 m/s², en un intervalo de 824s con un número de paradas igual a 5, por ende, es una apreciación de 824 datos y 5 microciclos.



Figura 28 . Ciclo para vehículos 1200-1300cc

En la figura 29, se reflejan los patrones y parámetros característicos del ciclo de conducción en vehículos de 1200 y 1300 cc.

Definición de parámetros característicos del ciclo de conducción			
Relación	Tipo de relación	Valor	Unidad
Distancia	Distancia total	3292,46458	m
Tiempo	Tiempo Total	824	s
	Tiempo en conducción	607	s
	Tiempo crucero	0	s
	Tiempo acelerando	293	s
	Tiempo desacelerando	314	s
	Tiempo en reposo	217	s
	% de tiempo en conducción	73,67%	s
Velocidad	% tiempo crucero	0,00%	s
	% tiempo acelerando	35,56%	s
	% tiempo desacelerando	38,11%	s
	% tiempo en reposo	26,33%	s
	Velocidad media de ruta	3,99570944	m/s
	Velocidad media de conducción	5,42415911	m/s
	Desviación estándar de la velocidad	3,25644584	m/s
	Velocidad máxima	10,4090288	m/s
	Velocidad mínima	0	m/s

Figura 29. Parámetros característicos del ciclo de conducción para vehículos de 1200-1300cc

Ciclo de conducción en vehículos 1400-1600cc

Los vehículos de 1400 a 1600 cc poseen una velocidad promedio de 16 km/h con una aceleración promedio positiva de 0,552 m/s² en un lapso de 800s con un número de 5 paradas.



Figura 30. Ciclo para vehículos 1400-1600cc

La figura 30, informa de los patrones y parámetros de conducción del ciclo de conducción de los vehículos de 1400-1600cc.

Definición de parámetros característicos del ciclo de conducción			
Relación	Tipo de relación	Valor	Unidad
Distancia	Distancia total	3563,59568	m
Tiempo	Tiempo Total	800	s
	Tiempo en conducción	683	s
	Tiempo crucero	3	s
	Tiempo acelerando	367	s
	Tiempo desacelerando	313	s
	Tiempo en reposo	117	s
	% de tiempo en conducción	85,38%	s
Velocidad	% tiempo crucero	0,38%	s
	% tiempo acelerando	45,88%	s
	% tiempo desacelerando	39,13%	s
	% tiempo en reposo	14,63%	s
	Velocidad media de ruta	4,4544946	m/s
	Velocidad media de conducción	5,21756322	m/s
	Desviación estándar de la velocidad	3,50324274	m/s
Aceleración	Velocidad máxima	12,8446653	m/s
	Velocidad mínima	0	m/s
	Aceleración media	0,00E+00	m/s ²
	Aceleración media positiva	0,55203471	m/s ²
	Aceleración media negativa	-0,64727393	m/s ²
Paradas	Desviación estándar de la aceleración	0,73180992	m/s ²
	Aceleración máxima	2,65769217	m/s ²
	Aceleración mínima	-3,03992324	m/s ²
	Número de paradas	5	
Dinámica	Paradas por Km	1,40307724	
	Aceleración positiva relativa	0,31661956	m/s ²
	Energía cinética positiva	0,58211302	m/s

Fig 31. Parámetros característicos del ciclo de conducción para vehículos de 1400-1600cc

Ciclo de conducción en vehículos 2000cc

Los vehículos 2000cc, el ciclo de conducción experimenta una velocidad promedio de 12,28km/h en un lapso de 744s con una aceleración media positiva de 0,418 m/s² en cual, se hicieron 5 paradas o momentos de ralentí.

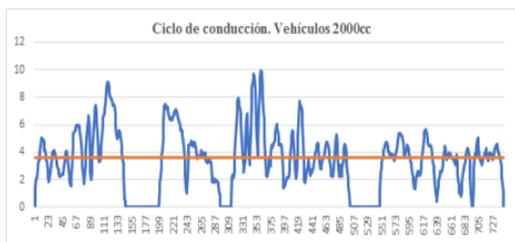


Figura 32 Ciclo para vehículos 2000cc

La figura 32 informa de los patrones y parámetros de conducción del ciclo de conducción de los vehículos de 2000cc.

Definición de parámetros característicos del ciclo de conducción			
Relación	Tipo de relación	Valor	Unidad
Distancia	Distancia total	2539,94216	m
	Tiempo Total	744	s
Tiempo	Tiempo en conducción	627	s
	Tiempo crucero	2	s
	Tiempo acelerando	306	s
	Tiempo desacelerando	319	s
	Tiempo en reposo	117	s
	% de tiempo en conducción	84,27%	s
	% tiempo crucero	0,27%	s
	% tiempo acelerando	41,13%	s
	% tiempo desacelerando	42,88%	s
	% tiempo en reposo	15,73%	s
Velocidad	Velocidad media de ruta	3,41390075	m/s
	Velocidad media de conducción	4,05094443	m/s
	Desviación estándar de la velocidad	2,23078076	m/s
	Velocidad máxima	9,90741094	m/s
	Velocidad mínima	0	m/s
Aceleración	Aceleración media	0,00E+00	m/s ²
	Aceleración media positiva	0,41851767	m/s ²
	Aceleración media negativa	-0,40146209	m/s ²
	Desviación estándar de la aceleración	0,51743302	m/s ²
	Aceleración máxima	2,18335549	m/s ³
	Aceleración mínima	-2,25146983	m/s ⁴
Paradas	Número de paradas	5	
	Paradas por Km	1,96854876	

Fig 32. Parámetros característicos del ciclo de conducción para vehículos de 1400-1600cc

Datos específicos de los ciclos de conducción

Los diferentes ciclos de conducción reflejan la forma de conducción del pueblo riobambeño, implicando una conducción agresiva (elevada tasa de aceleración con respecto a su velocidad promedio) La figura 34, especifica los parámetros característicos de los ciclos de conducción en la ciudad de Riobamba.

Ciclo de conducción	Distancia (km)	Velocidad Promedio (km/h)	Velocidad Máxima (km/h)	Tiempo recorrido (s)	Aceleración promedio positiva(m/s ²)	Tiempo con aceleración positiva (s)
Todos	3,43	15,3	40,1	807	0,526	359
1200cc-1300cc	3,29	14,38	37,47	824	0,524	293
1400cc-1600cc	3,56	16,04	46,24	800	0,552	367
2000cc	2,53	12,29	35,66	744	0,418	306

Figura 34. Datos específicos de los ciclos de conducción

Los parámetros característicos de los ciclos de conducción en la ciudad de Riobamba con una altitud >2000 msnm, dan a conocer la forma de conducir de la ciudad.

La interpretación de estos datos define a la ciudad como una conducción urbana lenta pero agresiva, con respecto a los factores de tráfico, forma de conducción y espacio geográfico.

Consumo de combustible en el ciclo de conducción segundo a segundo

El consumo de combustible en el Ecuador no cuenta con una base de datos oficial, por lo cual se remiten a datos de fabricantes de automóviles, que no presentan las condiciones geográficas del país [3] El consumo de combustible de los ciclos de conducción de la ciudad de Riobamba está expresado en litros por cada 100km, unidades las cuales son interpretación del consumo de combustible a nivel mundial. Por la clasificación realizada anteriormente de los vehículos de prueba, el consumo de combustible también tiene una representación similar con automóviles clasificados por cilindrada.

En la figura 35 se registra el consumo de combustible en todos los vehículos de prueba, obteniendo un consumo de combustible promedio de 12,06 l/100km instantáneos, con una temperatura promedio de 89,23°C.

Consumo de combustible			
Motor	Media de consumo de viaje	13,27724782	l/pl
	Media de consumo instantáneo	19,43732181	l/pl
	Litros por cada 100 km instantáneos	12,06181062	l/100km
	Litros por cada 100 km (corrección a largo plazo)	7,928837376	l/100km
Temperatura del motor			
	Promedio de temperatura de motor	89,23566085	°C

Figura 35. Consumo de combustible en el ciclo de conducción, en todos los vehículos

La figura 36, consumo de combustible/velocidad en todos los vehículos, interpreta los puntos de dispersión del consumo de combustible en diferentes velocidades, dando como resultado que el mayor consumo de combustible se mantiene en velocidades de 0-10 km/h, considerando que el 0 km/h son los momentos en ralentí. El mayor consumo se mantiene hasta los 20 km/h considerando el gráfico y la tabla 7-4, con el número de datos.

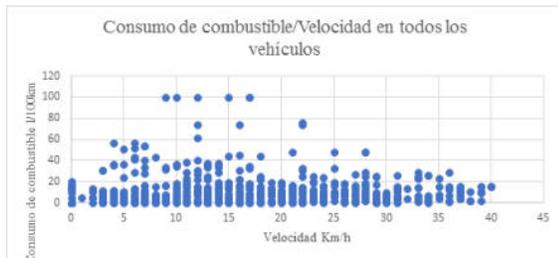


Figura 36 Dispersión de datos: Consumo de combustible vs Velocidad. En todos los vehículos

Velocidad (km/h)	Número de datos
0 - 10	276
11 - 20	269
21 - 30	194
31 - 40	68
TOTAL	807

Fig 37. Datos en diferentes rangos de velocidad. Muestra: Todos los vehículos

En la figura 37 se registra el consumo de combustible en vehículos 1200 y 1300 cc, obteniendo un consumo de combustible promedio de 9,98 l/100km instantáneos, con una temperatura promedio de 90,7°C en el ciclo de conducción.

IV. CONCLUSIONES

- Se logró fundamentar los principios de consumo de combustible, ciclo de conducción mediante una labor investigativa para conceptualizar correctamente los parámetros característicos y mantener el orden correcto de la obtención del ciclo de conducción de la ciudad de Riobamba.
- Se utilizó el dispositivo OBD II ELM327 con la aplicación de teléfono celular “Torque Pro”, para obtener los datos de presión de entrada del aire en la admisión mediante datos del sensor MAP, temperatura del motor mediante datos del sensor ECT, cantidad de consumo de combustible mediante cálculos realizados por el software, y lectura de GPS mediante la unificación de Google Maps en “Torque Pro”.

- Se construyó cuatro ciclos de conducción de 800±60s a partir de 146 rutas, para diferentes tipos de automóviles; clasificados por cilindrada, los cuáles recorrieron el centro de la ciudad de Riobamba implicando tres lugares con mayor frecuencia como lo son el Paseo Shopping, Parque Maldonado y ESPOCH. Se recalca que las rutas tomadas fueron elegidas por los investigadores mediante viajes casa-trabajo, influencia del tráfico en la ciudad y tipos de vía.
- Se determinó los niveles de consumo de combustible que se está generando en los motores de los vehículos que transitan la ciudad de Riobamba mediante el dispositivo OBD II ELM327 y el software para teléfonos celulares “Torque Pro” emitiendo un consumo de 9,9 l/100km instantáneos en el ciclo de conducción para automóviles de 1200-1300cc, hasta un consumo de combustible de 17,5 l/100km en vehículos de 1400-1600cc.
- Se evidenció el mayor consumo de combustible en vehículos de: 2000 cc de cilindrada cuando están en velocidades mínimas de 0-20 km/h, considerando 0 km/h los momentos de ralentí del automotor.
- El perfil de conducción urbano de la ciudad de Riobamba es agresivo por el registro de aceleraciones positivas de 0,552 m/s², con velocidad promedio de 16,04 km/h que implica una conducción lenta.

REFERENCIAS.

- [1] TONG, H. A framework for developing driving Cycles with On-Road Driving Data. Routledge, 2010
- [2] BARLOW, T J. A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions. s.l. : TRL Limited, 2009.
- [3] CANDO & TOBAR. Determinación del consumo de combustible de vehículos en base a los ciclos de conducción EPA FTP75 y EPA HWFET, en dinamómetro de chasis. Cuenca: s.n., 2017.
- [4] CONUEE. Normas de eficiencia energética en vehículos automotores. México: Dirección de movilidad y transporte, 2018.
- [5] CÚBITO, C, & otros. Impact of Different Driving Cycles and Operating Conditions on CO2 Emissions and Energy Management Strategies of a Euro-6 Hybrid Electric Vehicle. Italia: MDPI Energies, 2017. págs. 1-3.
- [6] ECURED. Motor de combustión interna. MCI. [En línea] 28 de 11 de 2019. https://www.ecured.cu/Motor_de_combusti%C3%B3n_interna
- [7] FREIRE, D & LOZA, J. Comportamiento de un motor a gasolina utilizando alcohol anhidro como combustible de aporte. Quito: EPN, 2013.

- [8] GÁLVEZ, E & OYOLA, L. Análisis de consumo de combustible de los vehículos de categoría M1 que circulan en el centro histórico de la ciudad de Cuenca en horas de máxima demanda en función de ciclos de conducción. Cuenca: Universidad de Cuenca, 2016.
- [9] HURTADO, A. Desarrollo de ciclos de conducción para el área metropolitana centro occidente-AMCO. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira, 2014.
- [10] IEA. Explore energy data by category, indicator, country or region. [En línea] 2020. <https://www.iea.org/data-and-statistics?country=ECUADOR&fuel=CO2%20emission&indicator=CO2%20emissions%20by%20energy%20source>.
- [11] INEC. Índice Anuario de Transporte 2016. [En línea] 2016. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/institucional/home/>.
- [12] JIMÉNEZ, F, ROMÁN , A & LÓPEZ, J. Determinación de ciclos de conducción en rutas urbanas fijas. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, 2006.
- [13] LINCANGO, D & VEGA, K. Evaluación de los factores de emisiones durante el ciclo europeo NEDC en un MCIA de encendido por compresión utilizando mezclas de combustibles diésel premium y biodiesel, producido por transesterificación básica y en condiciones supercríticas. Quito: EPN, 2019.
- [14] MOGRO, A. s.f. Vehicle operational parameters monitoring under Real World Conditions - On Board Diagnostics (OBD). Monterrey, México: Tecnológico de Monterrey, s.f., 2010
- [15] MONTÚFAR, P, & otros. Análisis de los factores de emisión dinámicos para el vehículo Toyota Hilux con motor de Ciclo Otto S.I para altitudes superiores a los 2500 metros. Riobamba: Ciencia Digital, 2019.
- [16] MURILLO, J. Métodos de investigación de enfoque experimental. Métodos de investigación de enfoque experimental. [En línea] 30 de 11 de 2019. <http://www.postgradoune.edu.pe/pdf/documentos-academicos/ciencias-de-la-educacion/10.pdf>.
- [17] PÉREZ, P & QUITO, C. Determinación de los ciclos de conducción de un vehículo categoría M1 para la ciudad de Cuenca. Cuenca: UPS, 2018.
- [18] QINGDAO SAINT.BO MECHANICAL-ELECTRONIC. Braque Pads . [En línea] 2019. <http://www.brakepads.cn/es/1-2-low-copper-ceramic-brake-pads.html>.
- [19] QUIN, S, & otros. The study of a new method of driving cycles construction. Hefei China: ELSEVIER, 2011.
- [20] QUINCHIMBILA, F & SOLÍS, J. Desarrollo de ciclos de conducción en ciudad, carretera del combustible de un vehículo con motor de ciclo Otto en el Distrito Metropolitano de Quito. Quito: EPN, 2017.
- [21] RECALDE, M & REVELÓ, R. Análisis de emisiones en vehículos a gasolina utilizando pruebas estacionaria dinámica mediante ciclo IM. Quito: EPN, 2015.
- [22] RESTREPO, V, CARRANZA, Y & TIBÁQUIRA, J. Diseño y aplicación de una metodología para determinar ciclos de conducción vehicular en la ciudad de Pereira. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira, 2007.
- [23] URBINA, A. Comparación de factores de emisión vehicular al utilizar ciclos de conducción IM240 y On Board en la ciudad de Quito. Quito: EPN, 2016.

Medición de la Banda Óptica en Films Compuestos de PVA

Optical Band Measurement in PVA Composite Films

José I. Trujillo^{1,2}, José G. Trujillo³, Mario P. Andrade³

“Escuela de Ciencias Físicas y Nanotecnología Universidad Yachay Tech, Urcuquí-Ecuador” “Université Grenoble Alpes, Grenoble-Francia” “Escuela Técnica de la Fuerza Aérea, Latacunga-Ecuador” /Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Departamento de Seguridad y Defensa, Latacunga, Ecuador

Correspondencia Autores: jose.trujillo@yachaytech.edu.ec, jgtrujillo1@espe.edu.ec, mandrade@fae.mil.ec

Recibido: 14 de noviembre 2024, Publicado: 12 de diciembre de 2024

Resumen— Este estudio consiste en realizar la medición de la banda óptica en films de compuestos de PVA (alcohol polivinílico) el mismo que es un proceso fundamental para determinar sus propiedades electrónicas y ópticas, esenciales en aplicaciones como dispositivos ópticos y electrónicos. El PVA es un polímero que, combinado con otros materiales (como nanopartículas de metales, cafeína, carbón o compuestos semiconductores), forma películas delgadas con propiedades únicas. Estas películas son estudiadas por su potencial en campos que requieren alta transparencia, estabilidad térmica y buenas propiedades dieléctricas.

La banda óptica o "band gap" es un parámetro crucial en los materiales semiconductores y dieléctricos, pues determina la energía mínima necesaria para que los electrones puedan saltar de la banda de valencia a la banda de conducción. En films de PVA, la banda óptica se mide típicamente mediante espectroscopía UV-Vis (ultravioleta-visible). En este método, se registra la absorbancia de la luz en función de la longitud de onda para determinar la energía de la banda prohibida, observando dónde el material comienza a absorber fuertemente. Para interpretar estos datos, se aplican métodos como la extrapolación de Tauc, que permite calcular el valor de la banda prohibida al graficar el coeficiente de absorción vs la energía del fotón. Al extrapolar la porción lineal de esta curva hacia el eje de energía, se obtiene el valor de la banda óptica.

Palabras clave— Banda óptica, espectroscopía, extrapolación de Tauc, absorbancia.

Abstract— This study consists of measuring the optical band in films of PVA (polyvinyl alcohol) compounds, which is a fundamental process to determine their electronic and optical properties, essential in applications such as optical and electronic devices. PVA is a polymer that, combined with other materials (such as metal nanoparticles, caffeine, carbon or semiconductor compounds), forms thin films with unique properties. These films are studied for their potential in fields that require high transparency, thermal stability and good dielectric properties.

The optical band or "band gap" is a crucial parameter in semiconductor and dielectric materials, as it determines the minimum energy necessary for electrons to jump from the valence band to the conduction band. In PVA films, the optical

band is typically measured by UV-Vis (ultraviolet-visible) spectroscopy. In this method, the absorbance of light is recorded as a function of wavelength to determine the energy of the bandgap, observing where the material begins to absorb strongly.

To interpret these data, methods such as Tauc extrapolation are applied, which allows calculating the value of the bandgap by plotting the absorption coefficient vs the energy of the photon. By extrapolating the linear portion of this curve towards the energy axis, the value of the optical band is obtained.

Keywords— Band gap, spectroscopy, Tauc extrapolation, absorbance.

I INTRODUCCIÓN

Determinar la banda óptica prohibida de un material es muy importante para visualizar su comportamiento eléctrico. En general, los materiales aislantes tienen grandes bandas prohibidas, los semiconductores tienen bandas prohibidas más pequeñas (de 2 a 3 eV) y los conductores tienen bandas prohibidas minúsculas o inexistentes porque las bandas de valencia y conducción se superponen para formar una banda continua. En otras palabras, la brecha de energía determina el color y la conductividad de los materiales.

Jan Tauc, un físico checo-estadounidense, introdujo los conceptos de la banda prohibida de Tauc y el gráfico de caracterización óptica de los sólidos. Tauc propuso, en 1968, una ecuación para calcular los bordes de absorción de los materiales [1, 2]:

$$(\alpha h\nu)^{\frac{1}{n}} = C(h\nu - E_g) \quad (1)$$

Donde:

α : es el coeficiente de absorción,

h : es la constante de Planck,

ν : es la frecuencia del fotón

C : es una constante que relaciona el índice de refracción y las masas efectivas de electrones/huecos ($C=1$ para

materiales amorfos)

E_g : es la banda prohibida y,

γ : es un factor que denota la naturaleza de las transiciones electrónicas.

Estas transiciones electrónicas pueden ser directas o indirectas:

Transición directa permitida: $\gamma=2$

Transición indirecta permitida: $\gamma=1/2$

Transición directa prohibida: $\gamma=2/3$

Transición indirecta prohibida: $\gamma=1/3$

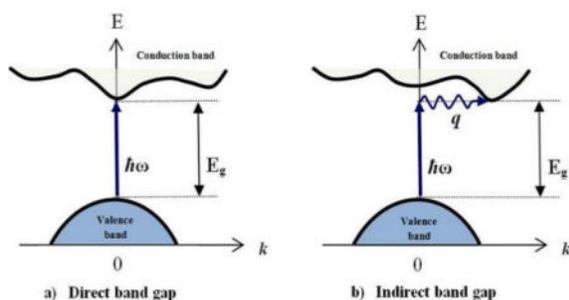


Figura 1. Diferencia entre transiciones electrónicas directas e indirectas. Tomado de [3]

Típicamente, las transiciones permitidas dominan los procesos básicos de absorción como una transición directa o indirecta (transición mediada por fonones).

Tauc afirmó que a menudo es posible distinguir 3 partes del borde de absorción en semiconductores amorfos [1]. Estas partes son las siguientes (ver figura 2):

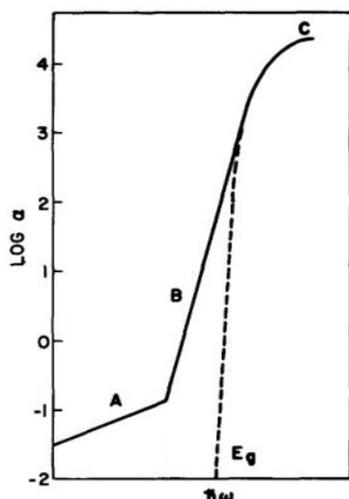


Figura 2. Representación de gráfica del borde de absorción de semiconductores amorfos. Tomado de [1]

- Una región lineal (A) de baja energía que parece depender fuertemente de la pureza y homogeneidad del material.
- Una región lineal (B) de alta energía en la que $\alpha \sim (h\nu - E_g)^2$. A partir del gráfico de $\sqrt{\alpha}$ vs $h\nu$ es posible determinar el ancho de banda óptica prohibida E_g .
- Una parte exponencial (C), en la que $\alpha \sim \exp[h\nu/E_c]$, que se extiende a lo largo de cuatro órdenes de magnitud el coeficiente de absorción (α).

Si la ecuación de Tauc se compara con la ecuación de una línea recta con intersección en el origen ($y=mx$) y luego se resuelve para E_g , al extrapolar la región lineal al eje x se obtiene el valor del ancho de la banda prohibida o energía de borde. Ahora, utilizando la siguiente relación:

$$I = I_0 e^{-\alpha x} \quad (2)$$

y resolviendo para α , se obtiene:

$$\alpha = \frac{2.303}{x} A \quad (3)$$

donde A es la absorbancia y x es el espesor del film expresado en centímetros.

II MÉTODOS Y MATERIALES

Para llevar a cabo esta medición experimental se utilizaron los siguientes instrumentos a materiales:

- Espectrofotómetro casero*
- Software Spectragryph (v 1.1.12)
- Films de PVA (acetato de polivinilo)

* El espectrofotómetro casero fue completamente diseñado y construido por el profesor Werner Bramer, PhD.

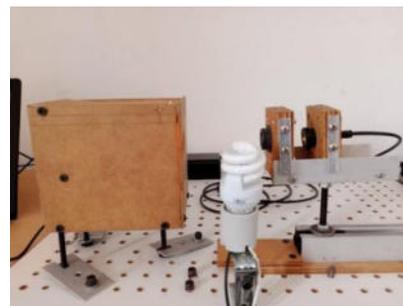


Figura 3. Diseño del espectrofotómetro.

En la siguiente Figura, se presenta la metodología a seguir para la medición de la banda óptica en films compuestos de PVA y se detalla a continuación:



Figura 4. Metodología para medición de la banda óptica en films de compuestos de PVA

A. Síntesis de las películas de PVA

Se explica brevemente la síntesis de los films. En primer lugar, se preparan 10 ml de una solución acuosa de PVA de 5% p/p. Luego se extrajeron tres alícuotas (2ml) en tubos eppendorf. Luego se agregó un dopante diferente, en una proporción de 1:1 PVA/dopante, a cada tubo: cafeína (99% en pureza), carbón molido (animal) y óxido de zinc (ZnO). Después de eso, se depositaron tres películas diferentes entre cubreobjetos usando un Spin Coater a una velocidad de 500 rpm durante 10 segundos. Finalmente, las películas se dejaron secar en una placa calefactora a aproximadamente 80°C durante 2 minutos. Las películas de prueba se almacenaron cuidadosamente para evitar posibles contaminaciones.

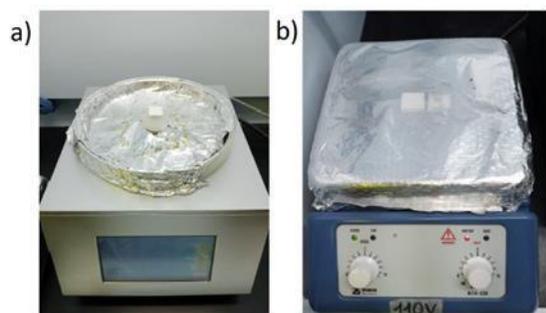


Figura 5. Deposición de las películas.
a) Proceso de spin coating b) Secado

B. Medición del ancho de banda óptica prohibida

Para la medición se necesitó una adecuada calibración previa a la medición, esta se realizó en dos etapas: I) capturando la mayor cantidad de luz incidente y II) construcción de la curva de calibración. En la etapa I se estableció el camino óptico para pasar la máxima cantidad de luz a través de los lentes de enfoque. En la etapa II, el espectro de una lámpara fluorescente (similar a la de la figura 2) fue graficado por Spectragryph. Se

eligieron tres picos característicos del gráfico como puntos de ajuste o referencia: mercurio (436/546 nm) y europio (611 nm). Además, se ajustaron los espectros de referen de usarse.

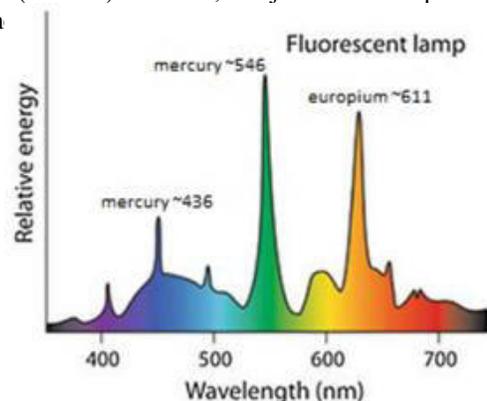


Figura 6. Espectro de emisión de una fuente de luz fluorescente. Tomado de [4]

La medición de la brecha de banda se realizó en modo de intensidad donde los datos se expresan como INTENSIDAD en “conteos por segundo” vs. La LONGITUD DE ONDA en nanómetros. Primero se midió la luz incidente y luego cada film de compuesto de PVA fue colocado en el portamuestras en un ángulo de 45° con respecto a la luz incidente; es importante y vital no variar este ángulo durante la medición. Posteriormente se midió la intensidad de la luz que pasa por la película o film, para esto se dejó el detector en 0° con respecto a la luz incidente para finalmente obtener la intensidad de la luz reflejada por la película en donde el detector debe estar a 90° con respecto a la luz incidente.

El coeficiente de absorción (α) se puede calcular directamente a partir de la absorbancia (A), sin embargo con este espectrofotómetro casero utilizado, sólo es posible adquirir datos de intensidad de la luz, sabiendo que:

$$I_o = I_{trans} + I_{ref} + I_{abs} \quad (4)$$

Donde I_o es la radiación incidente, I_{trans} es la radiación transmitida y I_{abs} es la radiación absorbida por el sistema compuesto PVA-vidrio. La absorbancia se puede expresar a través de la siguiente relación:

$$A = \frac{I_o - (I_{trans} + I_{ref})}{I_o} = 1 - \frac{I_{trans} + I_{ref}}{I_o} \quad (5)$$

Usando la ecuación (3) y (5), el coeficiente de absorción se calcula como:

$$\alpha = \frac{2.303}{x} \left(1 - \frac{I_{trans} + I_{ref}}{I_o}\right) \quad (6)$$

Resumiendo, después de la corrección por reflexión y considerando el espesor de la película sea $x = 1$ cm para simplificar, el coeficiente de absorción (en cm^{-1}) se determinó el coeficiente de absorción usando la siguiente relación:

$$\alpha = 2.303 \left(1 - \frac{I_{trans} + I_{ref}}{I_o}\right) \quad (7)$$

Por otro lado, la conversión de longitudes de onda a valores de energía se lo realizó mediante la siguiente expresión:

$$E_{photon} = hv = \frac{hc}{\lambda} \quad (8)$$

Donde:

E_{photon} : es la energía del fotón en electronvoltios,

h : es la constante de Planck (4.136×10^{-15} Ev.s),

c : es la velocidad de la luz (3×10^7 nm.s $^{-1}$)

λ : longitud de onda del fotón en nanómetros

Reemplazando los valores, las energías de los fotones (unidades en Ev), se pueden obtener directamente de los datos medidos usando la siguiente relación:

$$E_{photon} = \frac{1240.8}{\lambda} \quad (9)$$

III. Pruebas y resultados

Se procede a realizar pruebas de dopaje con varios materiales de lo que se a obtenido las siguientes curvas.

A. Dopaje con cafeína

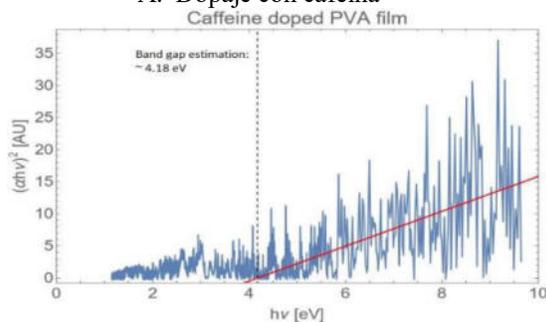


Figura 7. Gráfico Tauc de la película de cafeína-PVA. Estimación del ancho de banda prohibida: 4.18 eV.

B. Dopaje con carbón vegetal

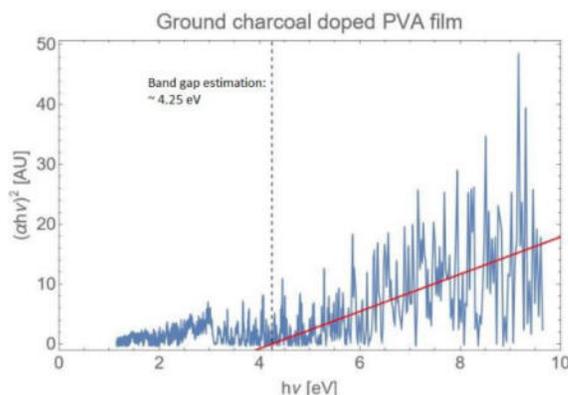


Figura 8. Gráfico Tauc de la película de carbón vegetal-PVA. Estimación del ancho de banda prohibida: 4.25 eV.

C. Dopaje con óxido de zinc

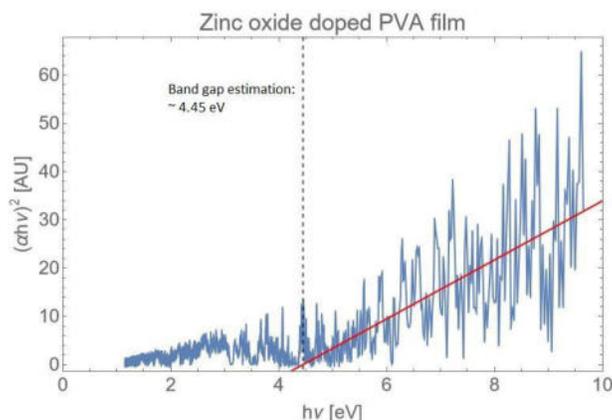


Figura 9. Gráfico Tauc de la película de óxido de zinc-PVA. Estimación del ancho de banda prohibida: 4.45 eV.

A partir de los gráficos de Tauc, se puede notar que hay tanto “ruido” el mismo que podría ser causado por interferencias eléctricas, térmicas o químicas. Además, se debe tener en cuenta que los espectros de la cubierta de vidrio no se restaron como una referencia en datos. Estos resultados no son concluyentes y, por esta razón, solo pueden usarse como una primera aproximación para la estimación de la brecha de banda para estas películas de PVA dopadas.

Cafeína/PVA film: ~ 4.18 eV

Carbón/PVA film: ~ 4.25 eV

ZnO/ PVA film: ~ 4.45 eV

Las regresiones lineales tienen un valor medio de R-Squared de ~ 0.7 . Las brechas de banda indirectas no se estimaron dado que se pronosticaron valores completamente erróneos.

Según la literatura [5,6], una película de PVA puro (aislante) tiene una brecha de banda directa e indirecta de aproximadamente 5.40 eV y 4.90 eV respectivamente.

Por otro lado, el óxido de zinc tiene una banda prohibida directa de 3.2 eV [6]. En general, las brechas de energía de los nanocompuestos de PVA se redujeron cuando se doparon con diferentes rellenos como: grafeno, nanopartículas de plata, té negro, yodo de sodio, etc. Por lo tanto, se espera una reducción de la brecha de banda y se confirma aproximadamente en esta investigación.

Un resultado muy interesante es que la banda prohibida con mayor reducción fue aquella cuya película estaba dopada con cafeína al 99% de pureza en lugar de carbón u óxido de zinc.

IV. CONCLUSIONES

Un resultado muy interesante de esta investigación es que la banda prohibida con mayor reducción fue aquella cuya película estaba dopada con cafeína al 99% de pureza en lugar de carbón u óxido de zinc.

El comportamiento ruidoso de los espectros se debe a algunas interferencias, por lo que el resultado de la reducción del ancho de banda prohibida no es concluyente, pero sí es una buena aproximación.

Se pueden realizar más experimentos al respecto utilizando equipos más avanzados como un espectrofotómetro Uv-Vis para adquirir directamente los datos de absorbancia de las muestras, siempre y cuando primero se obtenga la medición del blanco (cubreobjetos) para restar su absorbancia de interferencia.

Para evitar interferencias lumínicas es importante considerar un ambiente de cuarto oscuro.

REFERENCIAS

- [1] J. Tauc, (1970), Absorption edge and internal electric fields in amorphous semiconductors, *Materials Research Bulletin* 5, 721
- [2] J. I. Pankove, (Courier Corporation, 1975), *Optical processes in semiconductors*.
- [3] M. Fox, (2002), *Optical Properties in solids*.
- [4] S. Dutta Gupta ns A. Agarwal, (Springer, 2017), *Artificial lighting system for plant growth and development: Chronological advancement, working principles, and comparative assessment, in Light emitting diodes for agriculture*.
- [5] P. B. Bhargav, M. A. Mohan, A. Sharma, and V. N. Rao, *Structura, electricl and optical characterization of pure and doped poly (vinyl alcohol) (pva) polymer electrolyte films, (2007), International Journal of Polymeric Materials* 56, 579.
- [6] M. Aslam, M.A. Kalyar, and Z. A. Raza, (2018), *Polyvinyl alcohol: A review of research status and use of polyvinyl alcohol bases nanocomposites, Polymer Engineering & Science* 58, 2119.

Desarrollo de una Metodología para la Generación de Mapas Cartográficos de Inyección y Encendido Utilizando una ECU Programable en Motores de Encendido Provocado con Cuerpo de Aceleración Electrónico

Development of a Methodology for the Generation of Cartographic Maps of Injection and Ignition Using a Programmable ECU in Ignition Engines with Electronic Throttle Body

¹Josué Castro, ¹Eddi Chancay ¹Marcelo Estrella

¹ Universidad Politécnica Salesiana /Carrera de Ingeniería Automotriz/GMovInt , Guayaquil, Ecuador

Correspondencia Autores: g: echancayv@est.ups.edu.ec, jronquillo@est.ups.edu.ec, mestrellag@ups.edu.ec

Recibido: 19 de agosto 2024, Publicado: 18 de diciembre de 2024

Resumen— Este estudio aborda la creciente preocupación por las emisiones de gases de efecto invernadero del sector del transporte y la necesidad de optimizar el rendimiento de los motores de combustión interna. El objetivo principal fue desarrollar una metodología para generar mapas cartográficos de inyección de combustible y encendido utilizando una unidad de control electrónico (ECU) programable en motores de encendido provocado con cuerpo de aceleración electrónico. La metodología empleada consistió en tres etapas principales: 1) caracterización del sistema de inyección del motor, incluyendo la identificación y parametrización de sensores y actuadores; 2) programación de mapas cartográficos de inyección y encendido utilizando el método de eficiencia volumétrica; y 3) validación experimental mediante pruebas en dinamómetro. Se utilizó un vehículo Kia Rio 1.4L equipado con una ECU programable Haltech Elite 1500. Los resultados mostraron una mejora en el rendimiento del motor tras la implementación de la ECU programable. Se logró un incremento del 4.41% en la potencia máxima (de 86.20 HP a 90 HP) y del 3.44% en el torque máximo (de 98.70 lb-ft a 102.10 lb-ft). Los mapas cartográficos generados permitieron optimizar la eficiencia volumétrica del motor entre el 50% y 90%, dependiendo del régimen y carga. Además, se implementó un control lambda objetivo para limitar el enriquecimiento excesivo de la mezcla y reducir emisiones. Este estudio demuestra el potencial de las ECU programables para mejorar el rendimiento

miento y eficiencia de los motores de combustión interna, contribuyendo a la reducción de emisiones en el sector automotriz.

Palabras clave— ECU, EFI, mapas de inyección, mapas de encendido, motor de encendido provocado.

Abstract— This study addresses the growing concern over greenhouse gas emissions from the transportation sector and the need to optimize internal combustion engine performance. The main objective was to develop a methodology for generating fuel injection and ignition cartographic maps using a programmable electronic control unit (ECU) in spark-ignition engines with electronic throttle bodies. The methodology employed consisted of three main stages: 1) characterization of the engine's injection system, including identification and parameterization of sensors and actuators; 2) programming of injection and ignition cartographic maps using the volumetric efficiency method; and 3) experimental validation through dynamometer testing. A Kia Rio 1.4L vehicle equipped with a Haltech Elite 1500 programmable ECU was used. Results showed improved engine performance after implementing the programmable ECU. A 4.41% increase in maximum power (from 86.20 HP to 90 HP) and a 3.44% increase in maximum torque (from 98.70 lb-ft to 102.10 lb-ft) were achieved. The generated cartographic maps allowed optimization of the engine's volumetric efficiency between 50% and 90%, depending on engine speed and load. Additionally, a target lambda control was implemented to limit excessive mixture enrichment and reduce emissions. This study demonstrates the potential of programmable ECUs to improve the performance and efficiency of internal combustion engines, contributing to emission reduction in the automotive sector.

*Artículo Científico / Scientific Paper***Keywords**—. ECU, EFI, injection maps, ignition maps, engine spark ignition.

I INTRODUCCIÓN

Una de las mayores problemáticas a nivel mundial es el calentamiento global, el cual según varios estudios es producido principalmente por la quema de combustibles fósiles, esto aunado con la creciente demanda de vehículos impulsado por el constante, incrementado así el consumo de combustibles fósiles y por consiguiente las emisiones de contaminantes generadas por ellos [1]. Varios estudios señalan que uno de los principales sectores que contribuyen con la generación de CO₂ es el sector del transporte [2, 3] y se espera que estas emisiones aumenten un 5,2% para el año fiscal 2025 [4, 5], por lo que es esencial evaluar sus efectos en el medio ambiente con el fin de identificar oportunidades de mejora en la gestión y la calidad del aire [6]. Por tal razón los gobiernos de las naciones han implementado políticas ambientales y regulaciones cada vez más estrictas con el fin de mitigar estos efectos [7].

Esto ha obligado a la industria automotriz a buscar nuevas líneas de investigación que contribuyan a la reducción del consumo de combustible y por ende a la reducción de gases contaminantes, todo esto sin comprometer el desempeño de los vehículos [8]. Entre las innovaciones adoptadas se encuentran las mejoras aerodinámicas de los vehículos [9], el desarrollo de nuevos materiales [10] y sistemas de sobrealimentación que permiten el uso de motores más pequeños y eficientes [10, 11], el desarrollo tecnológico de nuevos componentes de monitoreo y control de sistemas de inyección electrónica [12, 13], así como también el desarrollo de nuevos catalizadores para los sistemas de escape [14] y el uso de combustibles alternativos [15]. Estas mejoras tecnológicas necesitan ser gestionadas de manera óptima a través de una unidad de control electrónico (ECU por sus siglas en inglés) que dosifique la mezcla de aire y combustible necesario para adaptarse a las nuevas demandas de los motores y el vehículo en general [10].

En la actualidad, los sistemas electrónicos de control (ECU) se han convertido en un componente fundamental en la industria automotriz, encontrándose en prácticamente todos los automotores modernos, cada una de estas unidades se encargan de realizar funciones específicas y dedicadas que va desde la gestión del motor hasta el sistema de entretenimiento y las asistencias al conductor [16, 17]

Estudios recientes han abordado estudios sobre las ventajas de la implementación de cuerpos de aceleración electrónica, debido a las mejoras en el rendimiento del vehículo que su uso desprende, como son: Primero, el

sistema permite un control más preciso de la posición del acelerador en comparación con las conexiones mecánicas tradicionales, mejorando la gestión de la admisión de aire, que afecta directamente a la potencia, la aceleración del motor y por consiguiente las emisiones [15]. Segundo, una mejor capacidad de respuesta, ya que el acelerador puede responder más rápidamente a las órdenes del conductor, traduciéndose en una aceleración y deceleración más suaves [18, 19], mejorando la experiencia general de conducción. Por último, el uso de controles de bucle cerrado que supervisan y ajustan continuamente la posición del acelerador, garantizando que se mantenga la apertura deseada del acelerador [20, 21].

La elección de una metodología adecuada para el mapeo de los tiempos de inyección de combustible y encendido influye significativamente en el rendimiento y la eficiencia de los motores de encendido provocado (MEP), mejorando notablemente la potencia del motor, el par, el consumo de combustible y sus emisiones [22, 23].

Se han implementado diversas metodologías para el ajuste de combustible en motores de combustión interna, siendo las más comunes las basadas en la carga del motor y en el flujo másico de aire. Estas metodologías se diferencian principalmente por el parámetro empleado para estimar la cantidad de aire que ingresa al motor. La estrategia basada en el flujo másico de aire (MAF), por sus siglas en inglés) mide directamente el aire entrante para calcular la cantidad de combustible requerida, mientras que la metodología basada en la presión del colector de admisión (MAP), por sus siglas en inglés) utiliza dicha presión para estimar la carga del motor y ajustar el suministro de combustible [24, 25]. Recientemente, la metodología de ajuste basada en la eficiencia volumétrica ha ganado relevancia. Esta técnica emplea modelos físicos combinados con parámetros calibrados, como tablas de eficiencia volumétrica, para optimizar el rendimiento del motor [26].

Cada metodología presenta ventajas y limitaciones, por lo que este estudio, basándose en un análisis exhaustivo de la literatura, tiene como objetivo desarrollar una metodología optimizada para la generación de mapas de inyección y encendido, adaptada específicamente a motores de encendido por chispa con cuerpos de aceleración electrónicos.

II MÉTODOS Y MATERIALES

Montaje Experimental

En esta sección, se detalla el montaje experimental y la propuesta metodológica para la generación de mapas cartográficos de inyección y encendido utilizando una

ECU programable en motores de encendido provocado con cuerpo de aceleración electrónico.

El vehículo utilizado, de cilindrada 1.4 litros A/C el mismo que, cuenta con un motor de encendido provocado gestionado por un sistema de inyección de combustible indirecto, multipunto y encendido secuencial, cuyos componentes electrónicos como sensores, actuadores y módulos se muestran en la figura 1.

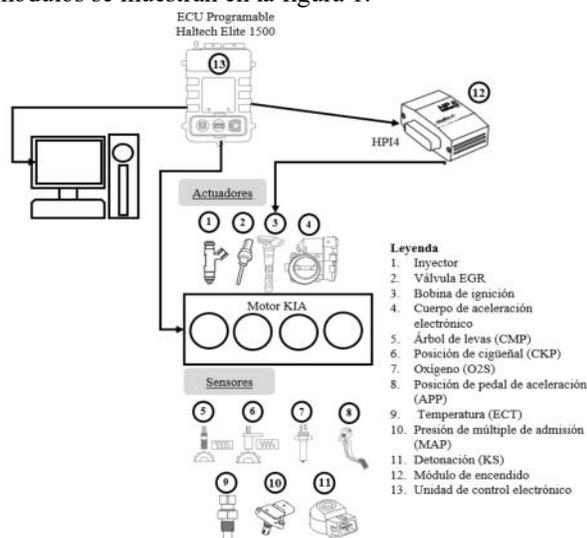


Figura 1. Montaje experimental para conexión de la unidad de control electrónica.

Para la generación de los mapas cartográficos de ajuste de inyección de combustible se utilizó un módulo de control programable Haltech modelo 1500 que es compatible con cuerpos de aceleración motorizados o electrónicos (ETB), para la activación de las bobinas de encendido independientes tipo Coil On Plug (COP) se utilizó el módulo HPI4.

2.2. Metodología

La metodología propuesta para este estudio se muestra en la figura 2 y está compuesta por tres etapas: primero, la caracterización del sistema de inyección que dispone el motor, segundo, la programación de los mapas cartográficos de inyección y encendido, y por último la validación experimental de los ajustes realizados.

La etapa de caracterización del sistema de inyección del motor consiste en la identificación del tipo de sistema de inyección electrónica disponible, la caracterización de cada uno de los sensores y actuadores del sistema, y la elaboración del arnés de conexión eléctrica. Para este propósito, se empleó un multímetro automotriz marca OTC modelo 3940, un osciloscopio Hantek 1008c de 8 canales y un escáner automotriz GScan2.

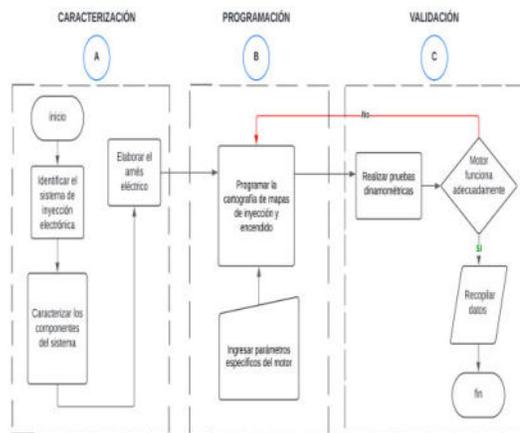


Figura 2. Flujograma para la elaboración de mapas cartográficos de inyección y encendido de un motor de encendido provocado con cuerpo de aceleración electrónico.

La segunda etapa, consiste en la configuración del módulo de control electrónico con base a la información obtenida en la etapa previa y las especificaciones del motor (Figura 3). Aquí se define la metodología de programación de los mapas cartográficos, para ello es indispensable definir correctamente el tipo de sistema de disparo al que está conectada la ECU, con el fin de conocer la posición del motor y RPM, y cuando los eventos de inyección de combustible y salto de chispa de encendido deben ocurrir. Además, se configura de tipo sistema de inyección de combustible y encendido que se implementará en el motor, pudiendo optar por simultánea, semisequencial y secuencial. Así mismo, se informa a la ECU, el tipo de sensores que dispone el motor y sus parámetros característicos de funcionamiento. Esta información utiliza la ECU para realizar los ajustes de la cantidad de combustible inyectado en función de la presión y temperatura ambiente, así como la relación aire-combustible (A/F) objetivo.

Otra configuración crucial es definir el método base para el cálculo del combustible inyectado y la forma de estimación de la carga del motor. Los métodos más utilizados para determinar el tiempo de inyección son: el método de ajuste por flujo masico de aire, presión absoluta del aire en el colector y eficiencia volumétrica. Cada uno de utiliza un sensor de medición de aire distinto o incorpora restricciones al valor máximo de A/F permitido.

Para la configuración de mapa cartográfico de avance de encendido, se debe definir el tipo de sensor que se utilizará como entrada de carga primaria para el cálculo del ángulo de encendido, así como las correcciones al

Artículo Científico / Scientific Paper

avance de encendido por temperatura y cada marcha del vehículo. Así mismo, se debe determinar las funciones adicionales que realizará la ECU, entre las cuales están: el tipo de cuerpo de aceleración disponible y el tipo de control de aire de ralentí, bomba de combustible y el método de corte de inyección.

La tercera etapa, en cambio trata de las pruebas de calibración y desempeño del vehículo, para ello se utilizó un dinamómetro de ruedas motrices 2WD de la marca Dynocom 5000 Series, con una capacidad de carga máxima de 5000 lb-ft y potencia máxima de 1500 Hp a una velocidad máxima de rotación de 8000 RPM. Un esquema del montaje en el dinamómetro se muestra en la figura 4. En esta etapa se define la relación entre el régimen del motor y la velocidad del vehículo para que la ECU pueda detectar la posición de la marcha. Es necesario cablear y calibrar un sensor de velocidad del vehículo antes de poder completar este proceso.

Se determinó que el motor cuenta con una rueda fónica en el cigüeñal de 60 dientes – 2, cuyo diente perdido está a 475° APMS, señal que es captada por un sensor de posición del cigüeñal (CKP) de tipo inductivo de dos terminales. Para determinar sincronización para el salto de chispa utiliza un sensor de fase (CMP) digital de 3 terminales, ubicado en cada uno de los árboles de levas.

Así mismo, para estimar la cantidad de aire que ingresa al motor, el sistema dispone de un sensor de presión absoluta (MAP) ubicado en el colector de admisión de tipo analógico, el cual incorpora en el un sensor de temperatura de aire; dispone de 4 terminales, 3 de ellos para el sensor MAP y el restante para la señal del sensor de temperatura. La señal de tierra es compartida por los dos sensores.

Tabla 1. Caracterización de los sensores disponibles en el motor del vehículo Kia Rio 1,4lt. con cuerpo de aceleración electrónica, obtenidas mediante instrumentación automotriz.

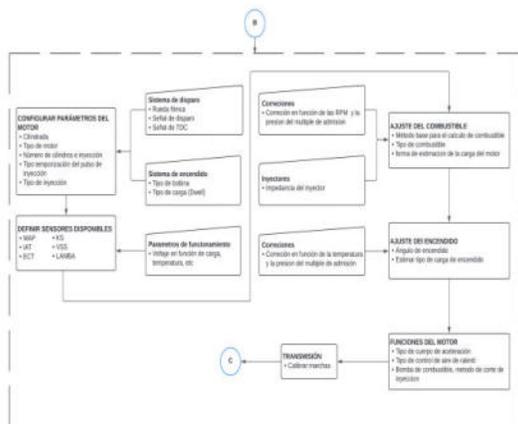


Figura 3. Flujograma para la programación del módulo de control electrónico de un motor de encendido provocado con cuerpo de aceleración electrónico.

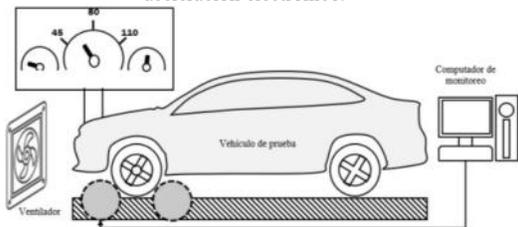


Figura 4. Esquema del montaje experimental en el dinamómetro para las pruebas de validación.

III. PRUEBAS Y RESULTADOS

Como resultado de la etapa de caracterización del sistema de inyección del motor de, se identificó el tipo de sensores y actuadores disponibles en el motor y sus respectivos parámetros de funcionamiento, los cuales se resumen en la tabla 1 y 2.

Sensor	Terminales	Valores Característicos	Oscilograma
Posición del árbol de levas (CMP)		1 → 5 V 2 → 0 y 5 V 3 → 2,6 mV	
Posición del cigüeñal (CKP)		1 → 1,6 V 2 → 1,6 V	
Oxígeno (O2S / λ)		1 → 2,6 mV 2 → 0,1 a 0,9 V 3 → 12 V 4 → 7,4 mV	
Posición del pedal de aceleración (APP)		1 → 2,6 mV 2 → 2,6 mV 3 → 0,5 A 4,5 V 4 → 5 V 5 → 5 V 6 → 0,5 A 4,5 V	
Presión del absoluta del múltiple de admisión (MAP)		1 → 5 V 2 → 0,5 a 4,5 V 3 → 0,5 a 4,5 V 4 → 11,8 mV.	
Detonación / Knock (KS)		1 → 0,1 a 1 V 2 → 2,6 mV	
Temperatura (ECT)		1 → 2,6 mV 3 → 0,5 a 4,5 V	

La temperatura del motor es determinada por una termocupla tipo NTC (ECT) la cual cuenta con dos terminales. Por otra parte, la ECM para determinar la demanda del conductor, utiliza un sensor de posición del pedal del acelerador (APP), el cual está conformado por dos potenciómetros con el fin de asegurar la información en-viada al módulo de control.

Para realizar los ajustes de avance por detonaciones no deseadas, el motor cuenta con un sensor piezoeléctrico tipo dona (KS), cuya señal analoga es enviada por medio de 2 terminales a la ECM.

En cuanto a actuadores el motor cuenta con 4 inyectores de combustible de conmutador saturado, 4 bobinas de encendido tipo COP, cuerpo de aceleración electrónico y una válvula de recirculación de gases de escape (EGR).

Tabla 2. Caracterización de los actuadores disponibles en el motor del vehículo Kia Rio 1,4lt. con cuerpo de aceleración electrónica, obtenidas mediante instrumentación automotriz

Actuador	Terminales	Valores Característicos	Oscilograma
Inyector		1 → 0,1 V 2 → 12 V	
Válvula EGR		1 → 12 V 2 → 0,1V	
Bobina de ignición		1 → 0,1 V 2 → 12 V	
Cuerpo de aceleración electrónico (ETB)		1 → 0,1 V 2 → 5 V 3 → 12 V 4 → 0,5 a 4,5 V 5 → 0,5 a 4,5 V 6 → 0,1 V	

La programación de la ECM se configuró de acuerdo con los parámetros mostrados en la tabla 3:

Tabla 3. Parámetros de configuración de la Haltech Elite 1500 para un vehículo Kia Rio 1,4lt. con cuerpo de aceleración electrónica.

Parámetros de Motor	Ajuste de Combustible	Mapa de Avance de Encendido Base		
Cilindrada	1400 cc	Método de ajuste	Eficiencia Volumet.	Angulo de avance @ rpm, presión
Tipo de motor	4 tiempos	Tipo combustible	Gasolina	Correcciones Ajuste Mapa Base
# cilindros	4	Tipo carga combustible	Estimar del MAP	Temperatura del motor
Aspiración	Normal	Presión de combustible	300 KPa	Marcha de transmisión
Rpm máx. Arranque	380 rpm	Mapa Lambda Objetivo		Límite de Rpm
Orden de encendido	1-3-4-2	Lambda @ rpm, presión		Ajuste por detonación
Configuración de Disparo	Mapa Combustible Base	Funciones de Motor		
Tipo Disparo	Theta Gen	%Eficiencia motor @ rpm, presión	Cuerpo de aceleración	Electrónico
Sensor CKP	Reluctor	Correcciones ajuste mapa base	Bomba de combustible	Commutada
Sensor CMP	Efecto Hall	Temperatura del motor	Control Ralentí	Acel. electrónico
Sistema de Inyección	Temperatura de aire			
Met. Temporización	Fin/inyección	Marcha de transmisión		
# inyectores	4	Límite de Rpm		
Tipo de inyección	Secuencial	Ajuste Combustible Aceleración		
Sistema de Encendido	Tipo Carga	Est. presión colector		
Tipo de encendido	Directo	Ajuste de Encendido		
Tipo -Dwell	Carga constante	Tipo carga / encendido	Est. presión colector	

Para la tercera etapa, se realizó el montaje del vehículo en el dinamómetro marca Dynocom 5000 Series, según se evidencia en la figura 5. Las pruebas se realizaron bajo la norma SAE J1349.



Figura 5. Montaje del vehículo Kia Rio 1,4lt. en el dinamómetro marca Dynocom 5000 Series para las pruebas de calibración y validación de la programación del módulo de control electrónico Haltech Elite 1500.

En las figuras 5(a) y (b), se puede observar 3 repeticiones realizadas con el módulo original de fábrica y el módulo programable Haltech Elite 1500. De las cuales se obtuvo una potencia máxima de 86,20 [HP] a 5250 rpm y un torque máximo de 98,70 [lb-ft] a 3450 rpm utilizando el módulo original de fábrica y una potencia máxima de 90 [HP] a 5350 rpm y un Torque máximo de 102,10 [lb-ft] a 3300 rpm utilizando el módulo reprogramable.

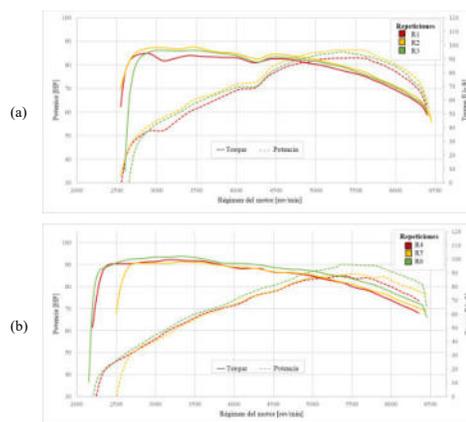


Figura 5. Curvas de Torque y Potencia del vehículo Kia Rio 1,4lt, con cuerpo de aceleración electrónica., obtenidas en el dinamómetro Dynocom 5000, al utilizar: (a) el módulo original de fábrica y (b) módulo Haltech Elite 1500 reprogramado.

El motor del vehículo de pruebas dispone de un sensor de presión absoluta en el múltiple de admisión que la ECM utiliza para la estimación de la cantidad de aire que ingresa al motor. Bajo esta consideración es factible la utilización de tres opciones para la generación del mapa de inyección de combustible: la primera es Tiempo de Inyección, esta permite ingresar una cantidad bruta de

-----Artículo Científico / Scientific Paper

tiempo de inyección en el mapa cartográfico base de combustible, su unidad es milisegundos [ms].

La segunda opción es caudal de combustible, esta opción permite afinar el mapa cartográfico ingresando el caudal de combustible deseado en el mapa de combustible base. Esta función considera el número de cilindros, desplazamiento del motor y las características de flujo del inyector. Las unidades utilizadas son cm³/min, g/min y lb/h.

La tercera opción es eficiencia volumétrica, esta opción utiliza el cálculo para la tabla base de combustible. Esta opción toma en cuenta el número de cilindros, desplazamiento del motor, carga del motor, temperatura del aire, densidad del combustible y las características de flujo del inyector. Los valores de la tabla de Combustible base reflejan la eficiencia del motor, pero son corregidos considerando la tabla de lambda objetivo. Esta última tabla permite limitar el enriquecimiento de la mezcla A/F para reducir emisiones. Es así que la opción utilizada para este análisis es la Eficiencia Volumétrica. La figura 6 y 7 muestran los mapas cartográficos de inyección de combustible y lambda objetivo desarrollado en este estudio.

		Combustible - Carga del motor [kPa]														
		-100	-91.3	-81.3	-71.3	-61.3	-51.3	-41.3	-36.3	-31.3	-26.3	-21.3	-16.3	-11.3	-6.3	-1.3
7000	Regimen del motor [rpm]	68.5	69.3	70.2	70.4	72.1	72.7	73.2	74.4	75	75.3	75.7	76.2	76.7	77.1	77.6
6500		68.5	71	72	72.3	73.5	75.6	78.3	79.6	80.2	80.6	81	81.4	82	82.4	82.8
6000		68.5	71.9	73.3	73.3	75	78.6	82.4	83.9	84.5	84.8	85.2	85.7	86.2	86.6	87.1
5500		68.8	69.9	71.8	72.1	75.7	80.2	83.3	84.6	85.8	86.2	86.7	87.1	87.6	88.1	88.6
5000		67.6	68.9	70.9	72.1	74.9	80	84.9	86.1	87	87.8	88.2	88.7	89.2	89.7	90.1
4500		64.5	67	69.5	71.6	74.3	79	83.1	84.8	86	86.8	87.3	87.8	88.2	88.7	89.2
4000		64.1	66.3	68	70.2	73.1	78.3	84.3	85.8	86.9	87.9	89	89.7	90.4	91.1	91.8
3500		61	63.1	64.4	66.5	71.1	76.5	82.6	84.8	86.1	87.3	88.1	88.8	89.6	90.3	91
3250		60.8	63.3	63.3	66.1	70	74.3	82.3	84.9	86.4	87.6	88.6	89.3	90	90.8	91.5
3000		57.9	60.1	62.2	61	66.4	71.7	80.4	82.8	84.7	86.1	87.2	87.9	88.6	89.4	90.1
2500		52.7	53.4	55.5	56.5	61	69.3	79.4	82.5	85	86.5	87.2	87.9	88.6	89.4	90.1
2000		52.4	53	53.8	53.3	59.8	67.7	78.9	81.9	84.2	85.4	86	86.9	87.8	88.6	89.7
1500		55	55.3	50.7	50	59.4	67.6	78.1	81.2	83.3	84.4	85.8	86.7	87.8	88.7	89.7
1000		54.8	54.9	49.6	50	59.4	67.6	78.3	80.3	82.5	83.7	85	86	87	88	89.9
500		54.8	54.8	50.6	50	59.4	67.6	78.6	80.7	82.9	84.3	85.7	86.7	87.8	88.7	89.7
0		53.8	53.8	53.9	54	59.9	67.6	78.4	80.4	82.5	83.8	85.1	86.1	87.1	88.1	89

Figura 6. Mapa cartográfico de inyección de combustible basado en la eficiencia volumétrica del motor del motor del Kia Rio 1,4 lt, con cuerpo de aceleración electrónica y modulo Haltech Elite 1500.

		Combustible - Carga del motor [kPa]														
		-100	-91.3	-81.3	-71.3	-61.3	-51.3	-41.3	-31.3	-21.3	-11.3	-1.3				
7000	Regimen del motor [rpm]	0.89	0.89	0.88	0.88	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86
6500		0.9	0.9	0.9	0.9	0.89	0.88	0.88	0.87	0.87	0.87	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86
6000		0.92	0.92	0.92	0.91	0.91	0.9	0.89	0.88	0.87	0.87	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86
5500		0.93	0.93	0.93	0.92	0.92	0.91	0.9	0.89	0.88	0.87	0.87	0.86	0.86	0.86	0.86
5000		0.94	0.94	0.94	0.94	0.93	0.92	0.91	0.9	0.89	0.88	0.87	0.87	0.86	0.86	0.86
4500		0.95	0.95	0.95	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91	0.9	0.88	0.87	0.87	0.86	0.86	0.86
4000		0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.94	0.93	0.92	0.91	0.9	0.88	0.87	0.87	0.86	0.86
3500		0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.95	0.93	0.92	0.91	0.9	0.89	0.87	0.87	0.86	0.86
3000		0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.97	0.95	0.93	0.91	0.89	0.88	0.87	0.86	0.86	0.86
2500		0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.97	0.96	0.94	0.92	0.9	0.88	0.87	0.86	0.86	0.86
2000		1	1	1	1	1	0.98	0.97	0.95	0.92	0.9	0.88	0.87	0.86	0.86	0.86
1500		1	1	1	1	1	0.98	0.97	0.95	0.93	0.91	0.89	0.87	0.86	0.86	0.86
1000		1	1	1	1	1	0.98	0.97	0.95	0.93	0.91	0.89	0.87	0.86	0.86	0.86
500		1	1	1	1	1	0.98	0.97	0.95	0.93	0.91	0.89	0.87	0.86	0.86	0.86
0		1	1	1	1	1	0.98	0.97	0.95	0.93	0.91	0.89	0.87	0.86	0.86	0.86

Figura 7. Mapa cartográfico lambda objetivo basado en la eficiencia volumétrica [] del motor del Kia Rio 1,4 lt, con cuerpo de aceleración electrónica y modulo Haltech Elite 1500.

En la figura 6, se puede observar que para bajas revo-

luciones y bajo régimen de carga, la eficiencia volumétrica oscila entre el 50 al 58%, esto se debe a la baja velocidad del aire que ingresa al motor, sin embargo, a medida que se aumenta las revoluciones y la carga del motor este parámetro oscila entre el 70 y 90% de eficiencia. Por otra parte, esto se complementa con el mapa cartográfico lambda objetivo, la misma que determina como se regulará la mezcla A/F. en la figura 7 se puede ver que, para bajas revoluciones y baja carga, el objetivo de la dosificación va a ser la mezcla estequiométrica, reduciendo de esta manera la generación CO, y NOx. Sin embargo, a medida que aumenta las revoluciones y la carga, la mezcla se empieza a enriquecer hasta un 14% de defecto de aire. Permitiendo de esta manera proporcionar una mayor cantidad de energía suministrada al motor y mejorar su potencia final.

Así mismo, en la figura 8 se presenta el mapa cartográfico del avance de encendido en función de la carga y el régimen del motor, se puede observar que para bajas revoluciones el ángulo avance de encendido está definido a 12°, pero a medida que aumenta el régimen del motor el tiempo disponible para que se produzca la combustión completa de la mezcla se reduce, por tal razón se puede apreciar un incremento en el ángulo avance de encendido.

		Encendido - Carga del motor [kPa]													
		-100	-81.3	-71.3	-61.3	-51.3	-41.3	-36.3	-31.3	-26.3	-21.3	-16.3	-11.3	-6.3	-1.3
7000	Regimen del motor [rpm]	34	40.5	40.4	38.5	36.6	34.8	32.9	32.1	31.3	30.4	29.5	28.6	27.8	27
6500		34	40.5	40.4	38.6	36.6	34.8	32.9	32.1	31.3	30.4	29.5	28.6	27.8	27
6000		34	40.5	40.4	38.6	36.6	34.8	32.9	32.1	31.3	30.4	29.5	28.6	27.8	27
5500		34	40.5	40.4	38.6	36.6	34.8	32.9	32.1	31.3	30.4	29.5	28.6	27.8	27
5000		34	40.5	40.4	38.6	36.6	34.8	32.9	32.1	31.3	30.4	29.5	28.6	27.8	27
4500		33.2	39.7	39.8	37.9	36	34.3	32.5	31.8	30.7	29.8	28.9	28	27.2	26.5
4000		32.4	39.6	39.4	37.2	35.2	33	32.1	31.2	30.3	29.4	28.4	27.5	26.6	25.8
3500		31.8	40.2	39.4	36.5	34.3	32.5	31.7	30.8	29.9	29.1	28.2	27.3	26.4	25.6
3000		31	39.4	38.6	35.9	33.2	31.8	31.1	30.2	29.2	28.5	27.8	27	26	24.9
2500		27.2	33.7	35.1	32.8	30.7	29.2	28.8	28.1	27.5	27.1	26.4	25.7	24.6	23.8
2000		23.2	28.6	27.8	26	25.1	24.8	24.6	24.5	24.2	23.6	23	22.4	21.8	21.2
1500		17.4	22.7	22.4	22	21.6	20.9	20.6	20.3	19.9	19.4	19	18.7	18	17.3
1000		15	15	15	15	15	15.9	15.8	15.8	15.7	15.5	15.4	15	14.6	14
500		12	12	12	12	12	11.4	10.8	10.1	9.5	8.9	8.2	7.6	7	6.4
0		12	12	12	12	12	11.4	10.8	10.1	9.5	8.9	8.2	7.6	7	6.4

Figura 8. Mapa cartográfico de avance de encendido [°] basado en la eficiencia volumétrica del motor del motor del Kia Rio 1,4 lt, con cuerpo de aceleración electrónica y modulo Haltech Elite 1500.

La metodología utilizada para la programación del módulo Haltech Elite 1500 permitió mejorar hasta un 4,41% en la potencia y 3,44% en el torque del motor, si bien es cierto el incremento no es significativo, este método permite limitar el enriquecimiento de la mezcla A/F con el fin de reducir al máximo las emisiones, sin reducir el desempeño del motor

IV. CONCLUSIONES

Este estudio presenta una metodología para la optimización de mapas cartográficos de inyección de combustible y encendido en motores de encendido provocado con cuerpo de aceleración electrónico, Se utilizó una unidad de control electrónico (ECU) pro-

gramable Haltech Elite 1500. La investigación se centró en un motor Kia Rio 1.4L, caracterizando sus sensores y actuadores para establecer parámetros de operación para la reprogramación de la ECU.

El método de Eficiencia Volumétrica se implementó para determinar el suministro de combustible, incorporando parámetros geométricos del motor, carga, régimen, temperatura del aire y motor, densidad del combustible y características de flujo del inyector. Este enfoque integral se complementó con un mapa de Lambda objetivo para modular el enriquecimiento de la mezcla, buscando un equilibrio óptimo entre rendimiento y emisiones.

Las pruebas realizadas en el dinamómetro, después de la implementación de la ECU programable, demostraron que es posible mejorar el torque y la potencia. El análisis comparativo de las curvas características de torque y potencia del motor antes y después de la implementación de la ECU programable reveló mejoras en el rendimiento. El motor alcanzó un incremento del 4,41% y 3,44% en la potencia y torque del motor

Los resultados experimentales, validados mediante pruebas dinamométricas, demostraron mejoras significativas en el desempeño del motor. Se observó un incremento del 4.41% en potencia y 3.44% en torque, evidenciando la eficacia de la programación personalizada de la ECU en la optimización de los parámetros de inyección y encendido.

Estos hallazgos subrayan el potencial de las ECU programables para mejorar simultáneamente la eficiencia del motor y reducir las emisiones, un aspecto crucial en el contexto actual de regulaciones ambientales cada vez más estrictas. La metodología desarrollada no solo optimiza el rendimiento, sino que también proporciona un marco para el control preciso de la relación aire-combustible, fundamental para la gestión de emisiones.

Este estudio abre nuevas vías de investigación en el campo de la gestión electrónica de motores, sugiriendo la posibilidad de aplicar esta metodología a diversas configuraciones de motor y tipos de combustible. Futuros estudios podrían explorar la adaptabilidad de este enfoque a combustibles alternativos, contribuyendo así al avance continuo en eficiencia energética y sostenibilidad en la industria automotriz.

REFERENCIAS

- [1] 1. Hertwich, E.G., Ali, S., Ciacci, L., Fishman, T., Heeren, N., Masanet, E., Asghari, F.N., Olivetti, E., Pauliuk, S., Tu, Q., Wolfram, P.: Material efficiency strategies to reducing greenhouse gas emissions associated with buildings, vehicles, and electronics—a review. *Environmental Research Letters*. 14, 043004 (2019). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab0fe3>.
- [2] Jaroń, A., Borucka, A., Deliś, P., Sekrecka, A.: An Assessment of the Possibility of Using Unmanned Aerial Vehicles to Identify and Map Air Pollution from Infrastructure Emissions. *Energies (Basel)*. 17, 577 (2024). <https://doi.org/10.3390/en17030577>.
- [3] IPCC: Nuestras decisiones de hoy repercutirán en todo el mundo durante cientos de años, <https://porelclima.org/actua/ambicioncop/actualidad/5610-nuestras-decisiones-de-hoy-repercutiran-en-todo-el-mundo-durante-cientos-de-anos>.
- [4] Ahmed, M., Huan, W., Ali, N., Shafiq, A., Ehsan, M., Abdelrahman, K., Khan, A.A., Abbasi, S.S., Fnais, M.S.: The Effect of Energy Consumption, Income, and Population Growth on CO2 Emissions: Evidence from NARDL and Machine Learning Models. *Sustainability*. 15, 11956 (2023). <https://doi.org/10.3390/su151511956>.
- [5] Ziółkowski, A., Fuć, P., Lijewski, P., Jagielski, A., Bednarek, M., Kusiak, W.: Analysis of Exhaust Emissions from Heavy-Duty Vehicles on Different Applications. *Energies (Basel)*. 15, 7886 (2022). <https://doi.org/10.3390/en15217886>.
- [6] Song, X., Hao, Y.: Emission characteristics and health effects of PM2.5 from vehicles in typical areas. *Front Public Health*. 12, (2024). <https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1326659>.
- [7] International Energy Agency: CO2 Emissions in 2022. (2022).
- [8] 8. Rovai, F.F., Mady, C.E.: EXERGETIC ANALYSIS OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE RUN-NING ON E22 AND E100. *Revista de Engenharia Térmica*. 21, 43 (2022). <https://doi.org/10.5380/reterm.v21i2.87921>.
- [9] Barhm, M., Qasim, A.M., Karlen, G.: Analisi aerodinamica del treno ad alta velocità utilizzando la tecnica Fluidodinamica computazionale. *INGEGNERIA FERROVIARIA*. (2023). <https://doi.org/10.57597/IF.09.2023.ART.1>.
- [10] Alshammari, M., Alshammari, F., Pesyridis, A.: Electric Boosting and Energy Recovery Systems for En-gine Downsizing. *Energies (Basel)*. 12, 4636 (2019). <https://doi.org/10.3390/en12244636>.

- Artículo Científico / Scientific Paper
- [11] Adelman, B., Singh, N., Charintranond, P., Manis, J.: Achieving Ultra-Low NO_x Tailpipe Emissions with a High Efficiency Engine. Presented at the April 14 (2020). <https://doi.org/10.4271/2020-01-1403>.
- [12] Abonyi, E.S., Uche, U.I., Okafor, A.A.: Performance of Fuel Electronic Injection Engine Systems. In: International Journal of Trend in Scientific Research and Development (IJTSRD). Volume-2, 9 (2017). <https://doi.org/10.31142/ijtsrd8211>.
- [13] Shridhar Kuntoji, M., Medam, V., Devi S.V, V.: Design of UDS Protocol in an Automotive Electronic Control Unit. Presented at the January 9 (2023). <https://doi.org/10.3233/ATDE221266>.
- [14] Kritsanaviparkporn, E., Baena-Moreno, F.M., Reina, T.R.: Catalytic Converters for Vehicle Exhaust: Fundamental Aspects and Technology Overview for Newcomers to the Field. Chemistry (Easton). 3, 630–646 (2021). <https://doi.org/10.3390/chemistry3020044>.
- [15] Ashok, B., Usman, K.M., Vignesh, R., Umar, U.A.: Model-based injector control map development to improve CRDi engine performance and emissions for eucalyptus biofuel. Energy. 246, 123355 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123355>.
- [16] Canal, R., Riffel, F.K., Gracioli, G.: Driving Profile Analysis Using Machine Learning Techniques and ECU Data. In: 2023 IEEE 32nd International Symposium on Industrial Electronics (ISIE). pp. 1–6. IEEE (2023). <https://doi.org/10.1109/ISIE51358.2023.10228139>.
- [17] Burkacky, O., Deichmann, J.D., Stein, J.P.: Automotive software and electronics 2030: Mapping the sector's future landscape. McKinsey (2023).
- [18] Cherian, F., Ranjan, A., Bhowmick, P., Rammohan, A.: Model based design of electronic throttle control. IOP Conf Ser Mater Sci Eng. 263, 062063 (2017). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/263/6/062063>.
- [19] Ashok, B., Denis Ashok, S., Ramesh Kumar, C.: Trends and future perspectives of electronic throttle control system in a spark ignition engine. Annu Rev Control. 44, 97–115 (2017). <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2017.05.002>.
- [20] Zulkifli, S.A., Asirvadani, V.S., Saad, N., Aziz, A.R.A., Mohideen, A.A.M.: Implementation of electronic throttle-by-wire for a hybrid electric vehicle using National Instruments' CompactRIO and LabVIEW Real-Time. 2014 5th International Conference on Intelligent and Advanced Systems: Technological Convergence for Sustainable Future, ICIAS 2014 - Proceedings. (2014). <https://doi.org/10.1109/ICIAS.2014.6869555>.
- [21] B, A., Denis Ashok, S., Kavitha, C.: Closed Loop Throttle Opening Angle Estimation Strategy by Con-sidering Torque Demands from SI Engine. Presented at the July 9 (2018). <https://doi.org/10.4271/2018-28-0079>.
- [22] Arsie, I., Frasci, E., Irimescu, A., Merola, S.S.: Spark Timing Optimization through Co-Simulation Analysis in a Spark Ignition Engine. Energies (Basel). 17, 3695 (2024). <https://doi.org/10.3390/en17153695>.
- [23] Jassim, E.I., Jasem, B.I.: Contribution of Ignition Timing Variation to the Greenhouse Gas Emission and Coolant Performance in Spark Ignition Engine. IOP Conf Ser Earth Environ Sci. 219, 012013 (2019). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/219/1/012013>.
- [24] Chatlatanagulchai, W., Moonmangmee, I., Rhiensrayoon, S., Wannatong, K.: Sliding Mode Control of Air Path in Diesel-Dual-Fuel Engine. Presented at the April 12 (2011). <https://doi.org/10.4271/2011-01-0917>.
- [25] Wu, Y.-Y., Chen, B.-C., Wu, C.-H., Tsai, H.-C.: New Charging Model Imparting the Valve Timing for Real-Time Simulation. In: ASME 2009 Internal Combustion Engine Division Spring Technical Conference. pp. 431–438. ASMEDC (2009). <https://doi.org/10.1115/ICES2009-76028>.
- [26] Xie, Y., Kistner, A., Bleile, T.: Optimal Automated Calibration of Model-Based ECU-Functions in Air System of Diesel Engines. Presented at the May 5 (2018). <https://doi.org/10.4271/2018-01-5003>.
- [27] Kurniawan, A., Sudarmanta, B., Yuvenda, D.: The Influence of Air Fuel Ratio on the Performances and Emissions of a SINJAI-150 Bioethanol Fueled Engines. The International Journal of Mechanical Engineering and Sciences. 2, 16 (2018). <https://doi.org/10.12962/j25807471.v2i2.6396>.
- [28] Al-Arkawazi, S.A.F.: Analyzing and predicting the relation between air–fuel ratio (AFR), lambda (λ) and the exhaust emissions percentages and values of gasoline-fueled vehicles using versatile and portable emissions measurement system tool. SN Appl Sci. 1, 1370 (2019). <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1392-5>.

Determinación de niveles de ruido percibido en el interior del habitáculo de vehículos tipo sedan en recorridos urbanos de Guayaquil

Determination of Perceived Noise Levels Inside Sedan Vehicles on Urban Routes in Guayaquil

¹Reinaldo Ramírez, ¹Cristian Arechúa, ¹José Bustamante

¹ Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador

Correspondencia Autores: rramirez@ups.edu.ec, carechuas@est.ups.edu.ec, jbustamantel@est.ups.edu.ec

Recibido: 21 de septiembre 2024, Publicado: 18 diciembre 2024

Resumen— *La exposición al ruido en entornos urbanos representa un creciente desafío para la salud pública, particularmente en el contexto del transporte vehicular. Este estudio evalúa los niveles de presión sonora en el habitáculo de un vehículo categoría M1 durante recorridos urbanos en Guayaquil, con énfasis en el análisis de los umbrales de ruido que afectan a los conductores que circulan con las ventanas abiertas, una práctica común en la región. La investigación se desarrolló en la avenida Pedro Menéndez Gilbert, seleccionada por su alto flujo vehicular, empleando un sonómetro Reed SD-4023 durante tres jornadas distintas. Los resultados evidencian una superación consistente del límite permisible de 70dB(A) en todas las rutas y jornadas estudiadas, con variaciones significativas entre rutas en dos de los tres períodos analizados. El estudio identificó que entre el 88.6% y el 100% de las mediciones excedieron el umbral establecido, registrando picos máximos de hasta 84.1dB(A). Estos hallazgos sugieren la necesidad de implementar medidas regulatorias y técnicas para abordar esta problemática.*

Palabras clave— *ruido urbano, sonometría, tráfico*

Abstract— Noise exposure in urban environments represents a growing public health challenge, particularly in the context of vehicular transportation. This study evaluates sound pressure levels inside an M1 category vehicle during urban journeys in Guayaquil, emphasizing the analysis of noise thresholds affecting drivers who circulate with open windows, a common practice in the region. The research was conducted on Pedro Menéndez Gilbert Avenue, selected for its high vehicular flow, using a Reed SD-4023 sound level meter during three different periods. The results show consistent exceedance of the permissible limit of 70dB(A) across all routes and periods studied, with significant variations between routes in two of the three analyzed periods. The study identified that between 88.6% and 100% of measurements exceeded the established threshold, recording maximum peaks of up to 84.1dB(A). These findings

suggest the need to implement regulatory and technical measures to address this issue.

Keywords— *urban noise, sonometry, traffic.*

I INTRODUCCIÓN

El incremento de los niveles de ruido en zonas urbanas representa una preocupación creciente para la salud pública y el bienestar de la población. En Guayaquil, el crecimiento acelerado del parque automotor ha intensificado esta problemática, afectando particularmente a quienes se exponen a largos períodos de conducción.

La Organización Mundial de la Salud establece un nivel máximo recomendado de 55dB para zonas urbanas [1], un umbral frecuentemente superado en las ciudades modernas. La calidad del sonido dentro del habitáculo vehicular adquiere especial relevancia al influir no solo en el confort sino también en la seguridad vial y la experiencia general de conducción [2], [3]. En el contexto local, es común observar conductores que circulan con las ventanas abiertas debido a las condiciones climáticas favorables y al deseo de reducir el consumo de combustible asociado al aire acondicionado, una práctica que incrementa significativamente la exposición al ruido ambiental.

El rango auditivo del ser humano comienza en los 0dB, volviéndose peligroso e incómodo a partir de los 85dB, mientras que el umbral del dolor se alcanza alrededor de los 120dB [4], [5]. Si bien la normativa nacional no establece límites específicos para el ruido dentro del habitáculo vehicular, en la normativa laboral se establece que los puestos de trabajo que demandan actividad intelectual, concentración o cálculo no deben exceder los 70 decibeles [6]. Este límite resulta aplicable

a la conducción, considerando que requiere atención continua y procesamiento de información compleja.

La investigación en el campo de la acústica vehicular ha identificado diversos factores que afectan la calidad del sonido interior. El ruido retumbante, caracterizado por tonos no modulados de baja frecuencia, puede provocar náuseas y fatiga en los ocupantes [9]. Este fenómeno se intensifica durante la aceleración [10] y se ve influenciado por variables como la presión de los neumáticos y la relación neumático-calzada [11]. Estudios previos han demostrado que las velocidades más altas generan mayor ruido por el motor y el viento, incluso con las ventanas abiertas [12].

Investigaciones realizadas en contextos urbanos similares, como el estudio en la ciudad de Tacna [13], han documentado niveles sonoros superiores a 65dB en zonas de alto tráfico. Por otro lado, metodologías más específicas para el análisis del ruido interior, como el método de cascada inversa implementado en China [14], han registrado niveles de hasta 78.5 dB(A) a velocidades constantes de 30 km/h.

El objetivo de este estudio es determinar el nivel de ruido percibido en el interior del habitáculo de un vehículo tipo sedán circulando con las ventanas abiertas en recorridos urbanos de la ciudad de Guayaquil. Esta investigación pretende servir como referencia para futuros estudios sobre contaminación acústica en el contexto nacional, aportando elementos que permitan desarrollar estrategias de mitigación tanto a nivel de diseño vehicular como de hábitos de conducción.

II MÉTODOS Y MATERIALES

Para la ejecución de esta investigación se utilizó un vehículo Chevrolet Sail 2018, seleccionado por ser el modelo más vendido en la provincia del Guayas durante 2021 y 2022 según la Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador [20]. La unidad de prueba se mantuvo con sus mantenimientos programados al día y sin anomalías mecánicas que afecten los resultados.

Las mediciones se efectuaron mediante un sonómetro Reed SD-4023 con ponderación 'A', instrumento tipo 2 que cumple con los requerimientos de la norma IEC 61672-1:2015 [21]. El equipo contaba con su respectiva calibración vigente al momento del estudio. La ubicación del instrumento de medición se estableció siguiendo los lineamientos de la norma ISO-5128:1980 [21], manteniendo una distancia mínima de 150 mm de la caja o guarnecido y 700 mm de la base del asiento. El sonómetro se aseguró para evitar interferencias por vibraciones del vehículo.

La ruta de prueba se estableció en la Av. Pedro Menéndez Gilbert, una arteria principal con capacidad

vial de 9000 veh/h que registró un volumen máximo de 9475 veh/h en 2020 [23]. El tramo de estudio se delimitó a 1.6 km, desde la Escuela de la Marina Mercante hasta el Hospital SOLCA, considerando ambos sentidos de circulación como rutas independientes debido a sus diferentes condiciones de tráfico.

El protocolo experimental establecido para garantizar la consistencia de las mediciones requirió mantener las ventanas completamente abiertas durante todo el recorrido, silencio total de los ocupantes y condiciones de pista seca sin presencia de lluvia. El motor y la transmisión debían estar a temperatura normal de operación, con los sistemas de ventilación y climatización apagados, las puertas y guanteras cerradas, la radio y sistemas auxiliares desactivados, y la presión de neumáticos según especificaciones del fabricante.

El diseño experimental consideró dos factores principales: el sentido de la ruta (Sur-Norte y Norte-Sur) y la jornada (mañana de 7:00-10:00, mediodía de 12:00-14:00 y tarde de 16:00-18:00). Se realizaron tres réplicas por cada combinación de factores, totalizando 18 corridas experimentales. El tamaño muestral se determinó mediante una prueba piloto que arrojó una media de 72.62dB(A) y una desviación estándar de 3.507dB(A). Utilizando un nivel de confianza del 95% y un margen de error de 0.6, se estableció la necesidad de 91 mediciones para cada combinación entre los niveles de los factores.

Los datos recolectados se analizaron mediante el software Minitab. Se evaluó la normalidad mediante la prueba de Anderson-Darling y, al no cumplirse este supuesto, se emplearon pruebas no paramétricas. Se utilizó la prueba de Wilcoxon para evaluar la hipótesis de superación del límite permisible de 70dB(A) y la prueba de Mann-Whitney para comparar los niveles de ruido entre rutas.

III PRUEBAS Y RESULTADOS

La recolección de datos generó un total de 2,529 mediciones, las cuales fueron organizadas y analizadas según los sentidos y horarios establecidos. La evaluación inicial de normalidad mediante la prueba de Anderson-Darling demostró que los datos no se ajustan a una distribución normal, lo que determinó el uso subsecuente de pruebas no paramétricas para el análisis.

La prueba de hipótesis de Wilcoxon para la mediana, aplicada con una hipótesis alterna mayor a 70dB(A), correspondiente al límite máximo permisible de exposición al ruido en condiciones laborales [6], determinó que la mediana del nivel de ruido supera significativamente este umbral establecido.

En la Figura 1 se muestran los perfiles de ruido para

la jornada matutina. El 99.05% de los datos recogidos en el sentido Sur-Norte superaron el nivel admisible de 70dB(A), mientras que en el sentido Norte-Sur este porcentaje alcanzó el 93.24%.

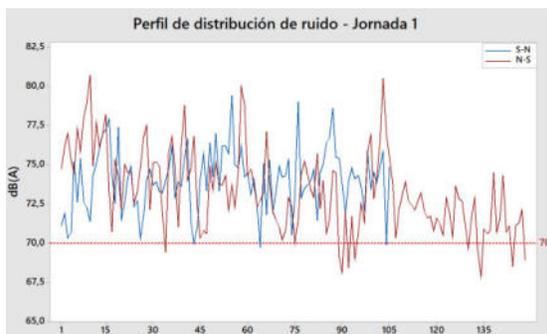


Figura 1. Perfil de ruido en jornada matutina.

La Figura 2 muestra la comparación individual de los perfiles de distribución para cada ruta durante esta jornada. La prueba de Mann-Whitney con un nivel de significancia $\alpha=0.05$ confirmó que el sentido Sur-Norte (mediana 74.10dB(A)) presenta un nivel de ruido significativamente mayor que el sentido Norte-Sur (mediana 72.95dB(A)).

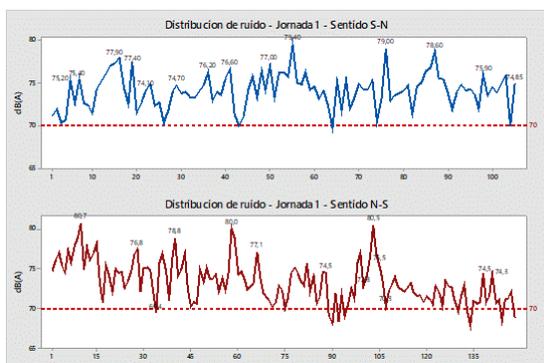


Figura 2. Perfil de ruido por ruta en jornada matutina

El perfil de distribución de ruido al mediodía se muestra en la Figura 3, donde se observa que el 98.29% de las mediciones en el sentido Sur-Norte y el 100% en el sentido Norte-Sur excedieron el límite de 70dB(A).

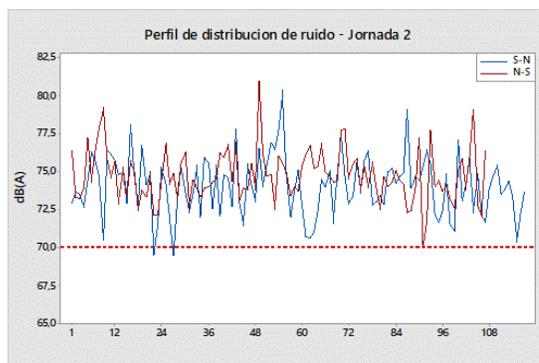


Figura 3. Perfil de ruido en jornada de mediodía.

Como se aprecia en la Figura 4, que desglosa los perfiles por ruta, la prueba de Mann-Whitney identificó que en este período el sentido Norte-Sur registró niveles de ruido significativamente mayores, con una mediana de 74.5dB(A) frente a 74.10dB(A) del sentido Sur-Norte.

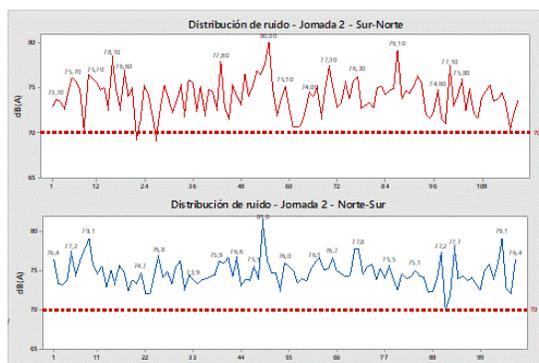


Figura 4. Perfil de ruido por ruta en jornada de mediodía.

Para la jornada vespertina, la Figura 5 muestra que el 93.60% de los datos en el sentido Sur-Norte y el 88.65% en el sentido Norte-Sur superaron el umbral establecido.

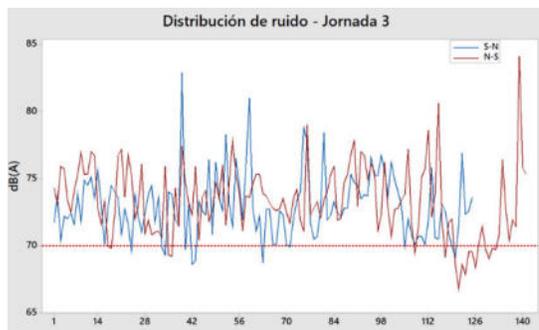


Figura 5. Perfil de ruido en jornada vespertina.

En los perfiles individuales presentados en la Figura 6, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las medianas de ambas rutas.

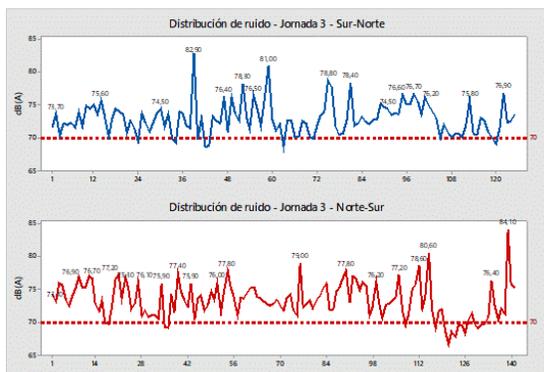


Figura 6. Perfil de ruido por ruta en jornada vespertina

Durante las pruebas de campo, se observó que los mayores niveles de presión sonora coincidían con períodos donde el nivel de servicio de la vía se encontraba en clasificación "E", caracterizado por un flujo vehicular constante. En estas condiciones, el instrumento de medición registró mayores emisiones de ruido de los motores, particularmente de las motocicletas que, por sus dimensiones, se desplazan con mayor fluidez entre carriles.

Los máximos niveles de ruido registrados en cada jornada, de hasta 84.1dB(A), se asociaron principalmente con eventos puntuales, como el paso cercano de vehículos de transporte, buses de transporte público, vehículos pesados, sirenas de ambulancias y uso de claxon. Resultó notable la contribución de los vehículos propulsados por motores diésel, como buses de transporte público y vehículos de carga, que al operar a bajas revoluciones generaron un ruido retumbante característico [9].

En la Tabla 1 se presenta el resumen de los resultados de las pruebas de comparación de Mann-Whitney, que muestran patrones distintos según la jornada.

Tabla 1. Resultados de comparación de medianas

Jor- nada	Medianas por ruta		Prueba de comparación	
	Sur- Norte	Norte- Sur	Valor-P	¿Es sig- nifica- tiva?
1	74.10	72.95	0.0037	Sí
2	74.10	74.50	0.0063	Sí
3	72.70	73.20	0.0705	No

Los resultados consolidados muestran variaciones significativas en los patrones de ruido según la jornada: en la mañana, el nivel de presión sonora fue significativamente mayor en la ruta Sur-Norte; al mediodía, el nivel más alto se registró en la ruta Norte-Sur; y en la tarde no se encontraron diferencias significativas entre las rutas. Estas variaciones reflejan los cambios en el patrón de tráfico a lo largo del día y su impacto en los niveles de ruido

percibidos en el habitáculo con ventanas abiertas.

IV. CONCLUSIONES

En el estudio se desarrolló un procedimiento experimental de medición de ruido percibido en el habitáculo de un vehículo en escenarios reales de tráfico urbano con las ventanas abiertas, práctica habitual en la región debido a las condiciones climáticas y el deseo de reducir el consumo de combustible asociado al aire acondicionado.

La revisión de la normativa existente evidenció que Ecuador no cuenta con regulaciones específicas que establezcan límites permisibles de ruido al interior del habitáculo de automóviles. Si bien existe una ordenanza municipal en Guayaquil que establece límites de ruido ambiental, la ausencia de controles adecuados y la falta de normativas específicas para el sector automotriz ponen en riesgo el bienestar de la comunidad.

Los perfiles de distribución de ruido obtenidos verifican que en todas las rutas y jornadas estudiadas se supera el límite admisible de 70dB(A) establecido en las regulaciones nacionales y las recomendaciones de los organismos internacionales. El análisis estadístico reveló variaciones significativas entre rutas y jornadas, con un alto porcentaje de mediciones (entre 88.6% y 100%) excediendo el umbral establecido, y picos de hasta 84.1dB(A).

Estos resultados tienen implicaciones significativas tanto para la industria automotriz como para las políticas públicas. Se evidencia la necesidad de reconsiderar los estándares de aislamiento acústico en vehículos destinados a mercados donde las condiciones climáticas favorecen la conducción con ventanas abiertas. Además, se plantea la urgencia de establecer normativas específicas que consideren no solo las condiciones ideales de prueba sino también los patrones reales de uso.

La industria automotriz podría abordar esta problemática mediante soluciones técnicas específicas, como la implementación de materiales de absorción acústica biodegradables y reciclables en fuentes de ruido prioritarias, una alternativa que ha demostrado reducciones de hasta 4dB(A) en los niveles de ruido interior.

En conclusión, los usuarios de vehículos que circulan con ventanas abiertas por arterias principales con niveles de tráfico elevados están expuestos a niveles de ruido que superan significativamente los niveles recomendables, representando un riesgo potencial para su salud y bienestar. Esta situación demanda atención desde el ámbito regulatorio y desde la perspectiva del diseño vehicular.

REFERENCIAS

- [1] “Organización Mundial de la Salud.” Accessed: Jan. 23, 2024. [Online]. Available: <https://www.who.int/es>
- [2] H. B. Huang, X. R. Huang, R. X. Li, T. C. Lim, and W. P. Ding, “Sound quality prediction of vehicle interior noise using deep belief networks,” *Applied Acoustics*, vol. 113, pp. 149–161, Dec. 2016, doi: 10.1016/J.APACOUST.2016.06.021.
- [3] Z. Wang, P. Li, H. Liu, J. Yang, S. Liu, and L. Xue, “Objective sound quality evaluation for the vehicle interior noise based on responses of the basilar membrane in the human ear,” *Applied Acoustics*, vol. 172, p. 107619, Jan. 2021, doi: 10.1016/J.APACOUST.2020.107619.
- [4] V. Henríquez Montero, “Confort Acústico en la Autopista Central para su manejo urbano y residencial.” Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago de Chile, 2022.
- [5] Federico Miyara, *Acústica y sistemas de sonido*, 3rd ed. Rosario: UNR Editora. Editorial de la Universidad Nacional de Rosario, 2006. Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: <https://www.fceia.unr.edu.ar/acustica/biblio/soundlev.htm>
- [6] “Decreto Ejecutivo 2393 | Ecuador - Guía Oficial de Trámites y Servicios.” Accessed: Feb. 29, 2024. [Online]. Available: <https://www.gob.ec/regulaciones/decreto-ejecutivo-2393>
- [7] F. Doleschal, G. T. Badel, and J. L. Verhey, “Rumbling, humming, booming – Perception of vehicle interior noise at low engine speeds,” *Applied Acoustics*, vol. 197, p. 108915, Aug. 2022, doi: 10.1016/J.APACOUST.2022.108915.
- [8] Y. S. Wang, G. Q. Shen, H. Guo, X. L. Tang, and T. Hamade, “Roughness modelling based on human auditory perception for sound quality evaluation of vehicle interior noise,” *J Sound Vib*, vol. 332, no. 16, pp. 3893–3904, Aug. 2013, doi: 10.1016/J.JSV.2013.02.030.
- [9] F. Doleschal and J. L. Verhey, “Modeling the perceptions of Rumbling, humming and booming in the context of vehicle interior sounds,” *Applied Acoustics*, vol. 210, p. 109441, Jul. 2023, doi: 10.1016/J.APACOUST.2023.109441.
- [10] S. K. Lee, “Objective evaluation of interior sound quality in passenger cars during acceleration,” *J Sound Vib*, vol. 310, no. 1–2, pp. 149–168, Feb. 2008, doi: 10.1016/J.JSV.2007.07.073.
- [11] X. Jia, W. Liu, M. Yang, L. Yang, X. Yu, and J. Pang, “Vehicle Interior Road Noise Predicted Using Support Vector Regression,” *IET Conference Proceedings*, vol. 2022, no. 21, pp. 1672–1678, 2022, doi: 10.1049/ICP.2022.3102.
- [12] D. Flor, D. Pena, H. L. Oliveira, L. Pena, V. A. de Sousa, and A. Martins, “Evaluation of Acoustic Noise Level and Impulsiveness Inside Vehicles in Different Traffic Conditions,” *Sensors*, vol. 22, no. 5, p. 1946, Mar. 2022, doi: 10.3390/s22051946.
- [13] J. Lozano Cervera, R. Requelme Ibañez, and L. López Puycan, “La contaminación acústica, factor medio ambiental que incide en la calidad de vida,” *Ciencia & Desarrollo*, no. 15, pp. 54–59, Apr. 2019, doi: 10.33326/26176033.2013.15.321.
- [14] H. B. Huang, J. H. Wu, X. R. Huang, M. L. Yang, and W. P. Ding, “A generalized inverse cascade method to identify and optimize vehicle interior noise sources,” *J Sound Vib*, vol. 467, p. 115062, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.jsv.2019.115062.
- [15] ISO/TC 43/SC 1 Noise, “Acoustics — Measurement of interior vehicle noise,” *ISO 5128:2023*, vol. 2, pp. 1–32, 2023, Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/11127.html>
- [16] D. Xie et al., “Design of test method for noise emitted by light-duty vehicles in real driving conditions,” *Applied Acoustics*, vol. 185, p. 108376, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.APACOUST.2021.108376.
- [17] Z. Xu, X. Xia, S. Lai, and Z. He, “Improvement of interior sound quality for passenger car based on optimization of sound pressure distribution in low frequency,” *Applied Acoustics*, vol. 130, pp. 43–51, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.apacoust.2017.08.019.
- [18] A. S. Elliott, A. T. Moorhouse, T. Huntley, and S. Tate, “In-situ source path contribution analysis of structure borne road noise,” *J Sound Vib*, vol. 332, no. 24, pp. 6276–6295, Nov. 2013, doi: 10.1016/J.JSV.2013.05.031.
- [19] Z. Liu, L. Xie, T. Huang, C. Lu, W. Chen, and Y. Zhu, “The objective quantification of door closing sound quality based on multidimensional subjective perception attributes,” *Applied Acoustics*, vol. 192, p. 108748, Apr. 2022, doi: 10.1016/J.APACOUST.2022.108748.
- [20] Aeade, “Anuarios – AEADE.” Accessed: Nov. 12, 2023. [Online]. Available: <https://www.aeade.net/anuario/>
- [21] CTN 74/SC 1 - Ruido, “Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 1: Magnitudes básicas y métodos de evaluación.” *UNE-ISO 1996-1:2020*, Oct. 2020, Accessed: Oct. 10, 2023. [Online]. Available:

<https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0064810>

- [22] B. Mirones, “OPTIMIZACION DEL CONFORT ACUSTICO – TERMICO EN VEHICULOS CONVENCIONALES (MCIA) Y ELECTRICOS,” Universidad de Valladolid, Valladolid, 2016. Accessed: Nov. 14, 2023. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=295827>
- [23] T. Z. Ashhad Verdezoto, F. F. Cabrera Montes, and O. B. Roa Medina, “Análisis del congestionamiento vehicular para el mejoramiento de vía principal en Guayaquil-Ecuador,” *Revista Gaceta Técnica*, vol. 21, no. 2, pp. 4–23, 2020, doi: 10.13140/RG.2.2.21905.04960.

Diseño e implementación del sistema de alimentación alternativo GLP de quinta generación para motores de combustión interna GDI

Design and implementation of the fifth generation LPG alternative feeding system generation for internal combustion engines GDI.

Guayanlema, Alejandro A, Feijoo Vivas Galo , Quiroz Leonidas

"Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE" /Departamento de Energía y Mecánica, Carrera de Ingeniería Automotriz

Correspondencia Autores: aaguayanlema@espe.edu.ec / gafeijoo@espe.edu.ec / laquiroz@espe.edu.ec

Recibido: 16 de marzo 2024 , Publicado: 18 diciembre 2024

Resumen—

La investigación desarrolló e implementó un sistema de conversión a Gas Licuado de Petróleo (GLP) de quinta generación en un motor de inyección directa de gasolina (GDI), utilizando herramientas de ingeniería asistida por computador para el diseño, modelado y simulación de sus componentes. Cumplió con las normativas técnicas ecuatorianas NTE INEN 2 310 y NTE INEN 2 311, que regulan los requisitos mínimos de instalación, seguridad, y sostenibilidad técnico-económica en vehículos que operan con GLP. Se realizaron pruebas funcionales y operativas de los sistemas hidráulico, neumático, eléctrico y electrónico del sistema de alimentación, tanto en modo dual (GLP/gasolina) como en operación exclusiva con GLP. Estas evaluaciones siguieron protocolos que aseguran un funcionamiento seguro y eficiente. La calibración del motor se llevó a cabo mediante el software LANDI RENZO INJECTION SYSTEM DIRECT INJECTION, el cual gestiona parámetros clave como revoluciones, temperatura, tiempos de inyección y avance del encendido, en función de la programación de la unidad de control electrónico (ECU).

Palabras clave: GLP, simulación asistida, implementación del sistema, quinta generación, motor GDI.

Abstract— The research focused on developing and implementing a fifth-generation Liquefied Petroleum Gas (LPG) conversion system in a Gasoline Direct Injection (GDI) engine, using computer-aided engineering tools for designing, modeling, and simulating system components. The project complied with Ecuadorian technical standards NTE INEN 2 310 and NTE INEN 2 311, which establish minimum requirements for installation, safety, and technical-economic sustainability in LPG-powered vehicles.

Functional and operational tests were conducted on the hydraulic, pneumatic, electrical, and electronic components of the fuel system, in both dual mode (LPG/gasoline) and LPG-only operation. These tests followed established protocols to ensure safe and efficient performance. Engine calibration was performed using the LANDI RENZO INJECTION SYSTEM DIRECT INJECTION software, which manages key parameters such as RPM, temperature, injector activation times, and ignition advance based on the electronic control unit (ECU) mapping.

The study considered critical conditions for conversion, including engine temperature and rotational speed, enabling automatic switching from gasoline to LPG. A minimum gasoline input is maintained to protect the vehicle's original fuel system. Furthermore, a visual indicator for the propane-butane mixture level was installed. This device monitors the LPG level and triggers an automatic switch when the minimum threshold is reached, using integrated sensors and actuators.

I INTRODUCCIÓN

El elevado costo del combustible en Ecuador ha llevado a muchos ciudadanos, especialmente a los taxistas, a buscar alternativas más económicas, siendo la conversión a Gas Licuado de Petróleo (GLP) una de las opciones más populares. Se selecciona, dimensiona, selecciona e implementa el sistema de alimentación GLP de quinta generación en un motor de combustión interna con inyección directa de gasolina (GDI), detallando todas las etapas del proceso de conversión.

Se realizan pruebas exhaustivas para garantizar el correcto funcionamiento y la seguridad del sistema,

-----Artículo Científico / Scientific Paper-----

abordando aspectos hidráulicos, neumáticos, eléctricos y electrónicos. Se reconoce la importancia de los recursos energéticos en la sociedad moderna, ya que, sin energía, la vida tal como la conocemos no sería posible [1].

Se inicia con el diseño de la adaptación de los distintos componentes del sistema GLP en el vehículo prototipo, definiendo los espacios adecuados para su instalación. A partir de esto, se identifican los elementos que conforman el sistema y se analiza su funcionamiento. Luego, se procede con la implementación del sistema, realizando previamente pruebas de resistencia estructural dentro del habitáculo del vehículo.

Se hacen pruebas del estado del motor para asegurar que la conversión no afecte negativamente ni al motor ni al sistema GLP. Estas pruebas incluyen la verificación del rendimiento en todos los regímenes de conmutación entre gasolina y GLP.

Finalmente, se presentarán los resultados obtenidos, evaluando el grado de cumplimiento con las normas NTE INEN 2310, 2311 y 0111, y se realiza el análisis de costo-beneficio para confirmar el éxito del proyecto.

II. MÉTODOS Y MATERIALES

El vehículo es un Mazda CX-7 2.3 Turbo está equipado con un motor de gasolina de 2.3 litros de cuatro cilindros en línea turboalimentado. [3]

Tabla 1. Ficha técnica

Versión	CX-7 2.3 DISI 260 CV Luxury (2009)
Carrocería	SUV
Combustible	Gasolina
Consumo NEDC	Extraurbano 8,1 l/100 km Urbano 13,8 /100 km Medio 10,2 l/100 km
Depósito de combustible	69 litros
Volúmenes del maletero	Con dos filas de asientos disponibles es 455 litros
Potencia máxima	260 CV / 191 kW
Revoluciones potencia máxima	5.500 rpm
Situación	Delantero transversal
Alimentación	Inyección directa. Turbo.

	Intercooler
Tracción	Delantera
Tabla 2 <i>Ficha técnica del motor Mazda 2.3L DISI Turbo o L3-VDT</i>	
Fabricante	Mazda
Sistema de combustible	Inyección directa de combustible
Número de cilindros	4 cilindros en línea
Índice de compresión	9.5:1
Potencia, hp	263 caballos de fuerza (196 kW)/5500 rpm
Torque, lb-pie	280 libras-pie (380 Nm)/3000rpm
Orden de encendido	1-3-4-2
Diseño del tren de válvulas	DOHC

Nota. Tabla de datos técnicos del motor [4]

Gas Licuado de Petróleo.

El Gas Licuado de Petróleo (GLP) es una combinación de gases, propano y butano, que se obtiene a través de la destilación fraccionada del petróleo crudo. A temperatura ambiente y bajo presión atmosférica, estos gases permanecen en estado gaseoso, pero tienen la capacidad de transformarse en estado líquido cuando se someten a presión. [5]

Tabla 3

Características de GLP

Característica	Propano	Butano
Densidad a 15 °C (kg/l)	0,508	0,584
Tensión de vapor a 37,8 °C	12,1	2,6
Temperatura de ebullición (°C)	43	-0,5
R.O.N.	111	103
M.O.N.	97	89
Poder calorífico inferior (MJ/Kg)	46,1	45,46
Poder calorífico inferior (MJ/l)	23,4	26,5
Relación estequiométrica (kg/kg)	15,8	15,6
Poder calorífico MIX.S. (kg/mc)	3414	3446

Nota. En la tabla se observa las características del GLP tanto en Propano y Butano. [6]

Costos y viabilidad económica

Los beneficios de cambiar a un sistema de GLP incluyen el ahorro de dinero, la reducción de la contaminación, la mejora de la seguridad y el mantenimiento del rendimiento del vehículo. [7]

Disponibilidad y accesibilidad

Omegas Direct es un sistema de LANDIRENZO y está disponible en varias versiones diferentes para adaptarse a los vehículos con diferentes capacidades cúbicas, incluidos los motores turbo. [7]

La selección del sistema depende de las normativas INEN 2310 e INEN 2311, a partir de las características de cada uno de los componentes los cuales variarán dependiendo del motor, el espacio para el tanque y los demás componentes, al igual hay que tomar en cuenta el camino que seguirán las tuberías de alta y baja presión del sistema para evitar cualquier problema. [8]

Elementos del kit:

Multiválvula:

Toma de llenado de gas:

Tuberías de gas

Existen de dos tipos:

De alta presión: “Se emplean desde el punto de llenado hasta el depósito, y desde el depósito hasta el evaporador. Están hechas de cobre recubierto de PVC, y soportan una presión de 8 a 10 bares, para el transporte del GLP líquido”. [15]

De baja presión: “Trabajan con presiones entre 0,1 y 2 bares para el transporte de GLP gaseoso, van desde el evaporador hasta el riel de inyectores, están fabricados de plástico flexibles.

Depósito de GLP

Reductor-evaporador: Elemento encargado de transformar de estado líquido a gaseoso al GLP. “Se reduce la presión del gas de 10 a 1 bar, dependiendo de la presión que existe en el colector de admisión del motor [9, 12]

Riel de inyectores de GLP:

El inyector de carril LANDI RENZO GIRSI12 ha sido diseñado y probado para garantizar un alto rendimiento y precisión en la distribución de combustible GLP.

Indicador de nivel de gas y conmutador de selección de combustible: presión de gas (depósito lleno) durante el

siguiente proceso de repostaje y cambia automáticamente a GLP.

Funciones:

- Conmutador selector de gas/gasolina para el cambio manual de combustibles
- Indicador de la cantidad de gas en el depósito con 5 LEDs
- Indicador LED de combustible – 2 LEDs indican qué combustible se está usando actualmente

Figura 1

Indicador de nivel y conmutador



Nota. Pulsador para realizar el cambio de combustible del vehículo. [10, 14]

Unidad de control del funcionamiento con gas: “Gestiona el funcionamiento del motor cuando funciona con GLP o gasolina, gobierna los inyectores de gas y los inyectores de gasolina, en conjunto con la unidad de control electrónica del vehículo”

Funcionamiento del sistema de inyección GDI

La inyección directa es un proceso de suministro de combustible en los motores de combustión interna, que reemplaza la inyección de combustible indirecta. En la inyección directa, la gasolina o el diésel se inyectan directamente en el cilindro del motor, lo que permite una mejor combustión y mayor eficiencia del combustible. Además, este proceso es compatible con motores turboalimentados y produce menos emisiones de gases contaminantes. [11, 15]

Ventajas de la inyección directa

Este sistema proporciona una mayor eficiencia de combustible, mayores valores de entrada de energía y una capacidad de sincronización del motor flexible. Estos hechos significan que los automóviles GDI no sólo son económicos y eficientes, sino que también pueden

adaptarse a una amplia gama de condiciones de conducción.

En el período de admisión sólo ingresa aire al cilindro, inyectando la gasolina después, por lo que la cantidad de aire que entra en el cilindro es mayor pues no se ve reducida por la gasolina que se inyecta en el colector.

Inyección directa GDI

Al tomar en cuenta que la mezcla aire-gasolina se realiza dentro de la cámara de combustión, es importante tener en cuenta que la duración de la admisión solo ingresa aire por las válvulas de admisión, es decir la gasolina es inyectada directamente en la cámara de combustión del motor de combustión interna.

Bomba de alta presión: Existen varios tipos de bombas de alta presión, esto depende mucho de la aplicación final en la que se va a usar.

Figura 2

Bomba de combustible de alta presión



Nota. Código de bomba L3K9-13-35Zc para 2006-2013 Mazda Cx-7 3 6 Mzr 2,3 L turbo. [16]

Sensores que actúan en el funcionamiento del sistema GDI

Los principales sensores que actúan en el sistema de inyección directa son [17]:

- El control electrónico del acelerador (ETC)
- De oxígeno (O2)
- Presión absoluta del múltiple (MAP)
- Posición del árbol de levas (CMP)
- Posición del cigüeñal (CKP)
- Detonación (Ks)
- Presión del riel (RPS)
- Posición del acelerador (APS)

- Presión del tanque de combustible (FTPS)
- Temperatura del refrigerante (ECT)

La unidad de control electrónica ECU

Este es un dispositivo electrónico que es el encargado de mantener el buen funcionamiento del motor en los diferentes modos de operación, este componente lo contiene todos los vehículos con gestión electrónica debido a que es un computador que gestiona y comanda varios aspectos de los subsistemas de admisión, combustible, combustión y escape. [18].

Inyector de sistema de inyección directa GDI

Inyectores de alta presión del sistema

Los inyectores de Inyección Directa de Gasolina GDI (Gasoline Direct Injection) trabajan hasta 2900 libras de presión y van instalados directamente en la cámara de combustión, esto representa ahorros de hasta 15% en consumo de gasolina e incrementar el par de torsión del motor hasta un 40%, los vehículos que son equipados con estos sistemas son de reciente integración al mercado.[20]

Figura 3



Nota. Inyector GDI.

Esfuerzos

“Conjunto de fuerzas a las que se encuentra sometido un cuerpo a causa de las acciones que actúan sobre él” [21]

Esfuerzo axial

“Es el esfuerzo que experimenta cargas axiales de tensión o de compresión que soporta una estructura” [22]

$$\sigma_x = \frac{F_t}{A_t} \quad (1) \text{ Esfuerzo axial}$$

Donde:

- $\sigma_x = \text{Esfuerzo axial}$
- $F_t = \text{Fuerza aplicada}$

- $A_t = \text{Área sometida a tracción o compresión}$

Esfuerzo cortante

“Esfuerzo que experimenta cargas perpendiculares en relación al eje principal de la estructura”

$$r = \frac{F}{2\pi r e} \quad (2)$$

Ecuación 2 Esfuerzo cortante

- $r = \text{Esfuerzo cortante}$
- $F = \text{Fuerza aplicada}$
- $r = \text{radio}$
- $e = \text{espesor}$

Tabla 4

Precios de venta para comercializadoras autorizadas a marzo 2024.

Sector Automotriz		\$
Gasolina extra automotriz	Galones	2,22045
Gasolina extra con etanol automotriz	Galones	2,22045
Diésel 2 / Diesel premium (automotriz)	Galones	1,60615
Gasolina super premium 95 automotriz	Galones	3,12284
Diésel premium transp. De carga pesada placa internacional	Galones	1,60615
Gas licuado de petróleo (G.L.P.) taxis	Kilogramos	0,18838
Gas licuado de petróleo (G.L.P.) de uso doméstico	Tanque de 30 kg	1,60
Sector Industrial		
Gas licuado de petróleo (GLP) industrial	Kilogramos	0,85496

Nota. Precios de venta en terminal para las comercializadoras calificadas y autorizadas a nivel nacional. [23]

Distancias de recorrido en Ecuador

A partir de las tablas que presenta la Red Vial Nacional se presenta tablas con las distancias entre las ciudades principales del Ecuador. Además, se explica un poco sobre las carreteras del país, que es también

llamada "Red Vial nacional", que es el medio por el cual se llega a los distintos lugares del Ecuador, tomaremos el dato desde la ciudad de Latacunga hasta la de Riobamba la cual muestra 99 kilómetros.[24]

III. PRUEBAS Y RESULTADOS

Diseño e Implementación del sistema de quinta generación GLP en un motor GDI

A continuación, se muestran las pruebas, diseños y diagramas de procesos realizados para adaptar el kit de quinta generación de GLP, para lo cual se realizó pruebas mecánicas del motor como son compresión, vacío y fugas de presión en los cilindros, diseños y esquemas por medio de programas CAD, CAE, y los procesos realizados en la implementación.

Pruebas mecánicas en el vehículo

Se desarrolla en 3 pruebas en relación al desempeño mecánico del motor, las cuales son compresión, vacío y fugas.

Prueba de compresión

El valor de compresión determina el estado mecánico o una posible falla en los componentes internos del motor.

Tabla 5

Valores de compresión

Cilindro	Antes de la instalación	Después de la instalación
	Valor de compresión (psi)	Valor de compresión (psi)
1	140	140
2	130	130
3	135	135
4	140	140

Nota. Los valores obtenidos muestran el estado mecánico del motor antes y después de la instalación del kit.

Prueba de vacío

Se determinó las posibles fallas de hermeticidad las cuales pueden influir en el comportamiento del motor provocando fallas en la utilización de GLP o gasolina como carburante.

Prueba de fugas

Es una prueba que determinó el porcentaje de fugas presentes en el motor cuando se aplica presión en

el espacio del cilindro utilizando aire comprimido, que va a influir en el desempeño mecánico.

Parámetros de diseño

Se realizó diferentes esquemas con ayuda de software de diseño CAD, CAE y de simulación dinámica de fluidos, para determinar la disposición de los diferentes componentes del kit de GLP con el fin de cumplir aspectos de seguridad y accesibilidad.

Disposición del compartimiento posterior del vehículo

Medidas del depósito

En el software CAE se realiza la simulación del espacio, en donde se va a ubicar el depósito de GLP de manera segura, de acuerdo a las normas.

“Las estructuras de las carrocerías deberá resistir una carga estática equivalente al 50% del peso máximo admisible para el chasis, sin experimentar deformaciones en ningún punto que superen los 70 mm” (INEN:1323, 2009).

Sistema de fijación del depósito

El diseño del sistema de fijación se realizó para determinar cuál es el perno adecuado a implementarse para tener una deformación programada del mismo en caso de un accidente.

Se tomó en cuenta que el kit de implementación de GLP ya tiene previsto un sistema de fijación para dos pernos de diámetro 12 mm y la longitud disponible para que atraviese el perno es de 110 mm. El peso total del depósito es de 30kg, dando una fuerza aplicada para un solo perno de 294,3 N, sin embargo, al contar con dos orificios para la fijación, cada perno tendrá una carga aplicada de 147,15 N.

Se estima que el perno es de paso fino de 1,25, “por medio de las tablas se muestra que el A_t (área de fuerza de tracción) es de $92,1 \text{ mm}^2$ ” (Norton, 2011). Con estos datos se determinó:

$$A_t = 92,12 \text{ mm}^2 * \frac{(1 \text{ m})^2}{(1000 \text{ mm})^2}$$

$$A_t = 9,212 * 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\sigma_x = \frac{147,15 \text{ N}}{9,212 * 10^{-5} \text{ m}^2}$$

$$\sigma_x = 1,60 \text{ MPa}$$

El esfuerzo cortante teniendo en cuenta que el espesor del soporte del tanque es de 2mm es igual a:

$$r = \frac{F}{2\pi r * e}$$

$$r = \frac{147,15 \text{ N}}{\pi(0,012\text{m}) * 0,002\text{m}}$$

$$r = 1951637,49 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$r = 1,95 \text{ MPa}$$

En función de la fuerza cortante y de tracción, se seleccionó la clase de perno a implementar en función de la resistencia a la fluencia y tensión mínimas que se encuentran en tablas.

Se escogió un perno de clase 4,6 que va a cumplir con las características adecuadas para el diseño y va a asegurar la seguridad en la fijación del depósito, el material es de acero, a bajo o medio carbono, ya que posee resistencia a la fluencia mínima de 240 Mpa, y una resistencia a la tensión mínima de 400 Mpa.

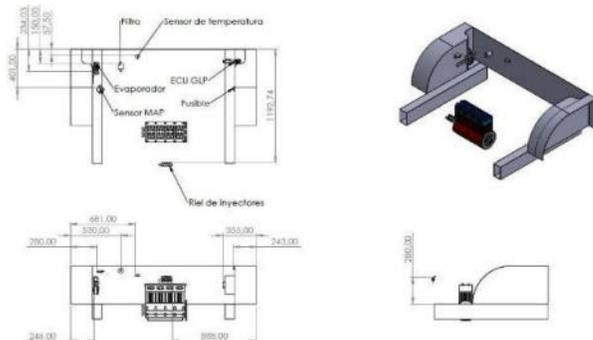
Disposición del conmutador en el tablero de instrumentos

El conmutador se dispuso de tal forma que sea accesible para el conductor, sea visible y no interfiera en la conducción teniendo en cuenta la disposición de diferentes componentes en el habitáculo y la forma geométrica.

Disposición de los componentes de GLP en el compartimiento del motor.

Figura 4

Disposición de componentes de GLP

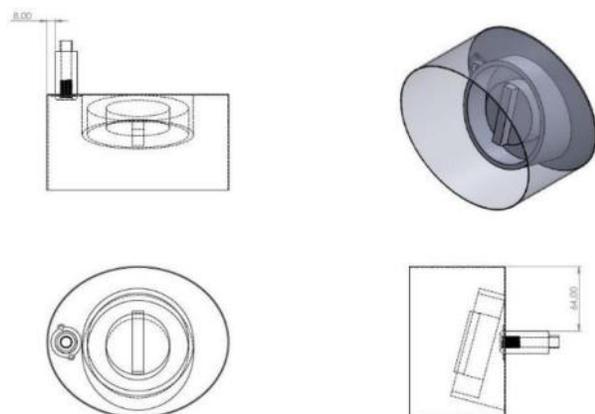


Nota. En la figura se observa la esquematización de los diversos componentes del kit en relación al compartimiento delantero del vehículo, estos espacios se encuentran libres y son de utilidad para la adaptación.

Disposición de la toma de llenado de GLP.

Figura 5

Disposición de la toma de llenado



Nota. en la imagen se aprecia la toma de llenado y su ubicación dentro del compartimento de carga de gasolina.

Diseño del soporte del reductor-vaporizador

El material de la carrocería es ASTM A36, el espacio disponible es de 800 mm, el material a implementarse es “aluminio que posee un módulo de elasticidad de 71 MPa” [25], el diámetro para el acople al reductor es de 14 mm y su peso de 1 kg y la distancia desde la fijación de la carrocería hasta el conmutador es de 78,75 mm, el espesor de la placa se supondrá que es de 3 mm y tiene una sección cuadrada de 34 mm de altura.

La fuerza cortante máxima que va a soportar es de 9,81 N y por lo tanto el esfuerzo cortante máximo a sufrir es:

$$r = \frac{F_t}{A_t}$$

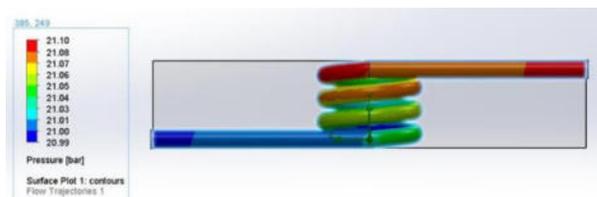
$$r = \frac{9.81 \text{ N}}{(0.034 * 0.003)m}$$

$$r = 96176,47 \text{ Pa} = 0,096 \text{ MPa}$$

La fuerza cortante máxima es igual a 0,096 MPa siendo el aluminio un excelente material para poder cumplir con la función de soporte seguro para el reductor.

Achurado de la tubería de alta presión

Figura 6. Análisis de presión en el achurado

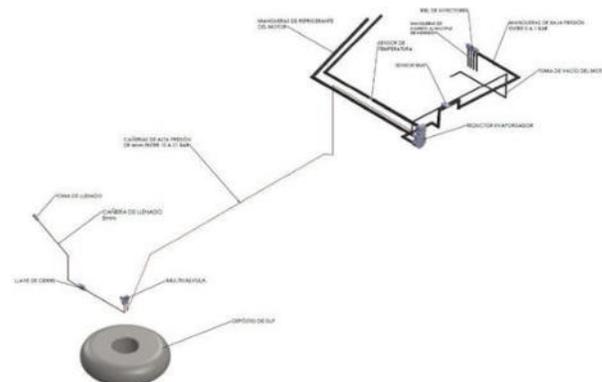


Nota. La presión de entrada es mayor igual a 21,1° bar que a la de salida de 20,99 bar, ayuda a reducir la presión de ingreso hacia el reductor-vaporizador.

Esquema hidráulico y neumático del GLP

Figura 7

Esquema hidráulico y neumático

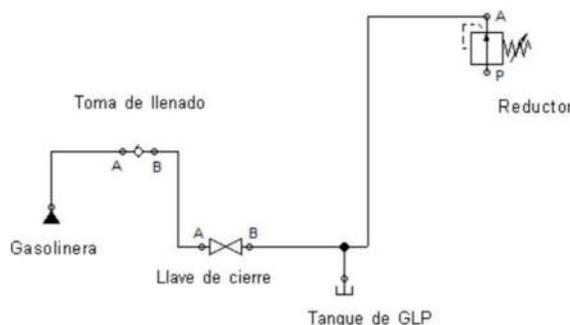


Nota. Diseño de tuberías y mangueras para el sistema hidráulico.

Se realizó una esquematización del sistema hidráulico y neumático con ayuda del software de simulación de dinámica de fluidos.

Figura 8

Esquema hidráulico

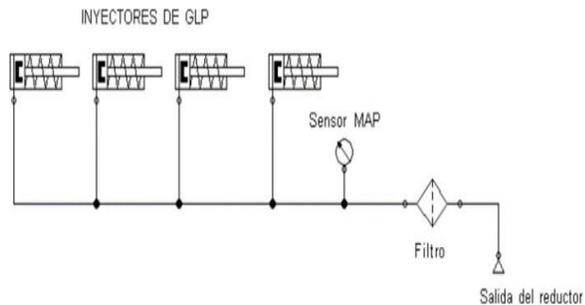


Nota. Los componentes que conforman la alta presión del kit de GLP es la toma de llenado, llave de cierre, tanque de GLP

y el reductor que corresponden al aparatado hidráulico del sistema.

Figura 9

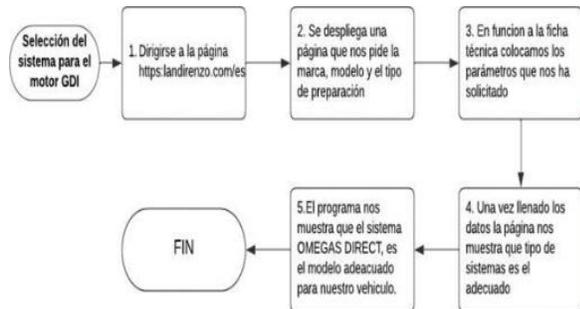
Esquema neumático



Nota. El apartado neumático del sistema que conforman la baja presión del kit de GLP consta del filtro, sensor MAP y los inyectores de GLP.

Figura 10

Protocolo de selección a partir del uso de la aplicación LANDIRENZO.



Nota. Esquema de selección del kit de quinta generación de GLP.

Selección del riel de inyectores de gas:

Para la elección del riel de inyectores de gas, se tuvo en cuenta la tabla siguiente:

El motor es de 4 cilindros y tiene una potencia de 191 kW, por lo cual se seleccionó el riel de inyectores de tamaño L, que soporta 4 cilindros y una potencia superior de 114 kW.

En relación al depósito debido a comodidad, seguridad y optimización de espacio se optó por un cilindro de GLP toroidal, la unidad de control, conmutador, multiválvulas, vaporizador, tubos de alta y baja presión son suministrados en el kit y son los mismos para cualquier vehículo con el sistema de inyección directa, lo único que variará será la programación.

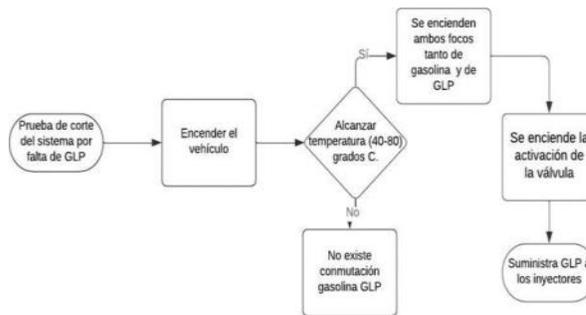
Instalación del sistema

Se procedió con la instalación y ubicación de los diferentes elementos que conforman al sistema GLP de quinta generación ubicadas en el motor GDI en el vehículo prototipo.

Activación de la electroválvula del evaporador

Figura 11

Protocolo de prueba de corte del sistema por falta de GLP.



Nota. La temperatura es la primera condición de funcionamiento que exige el uso de GLP

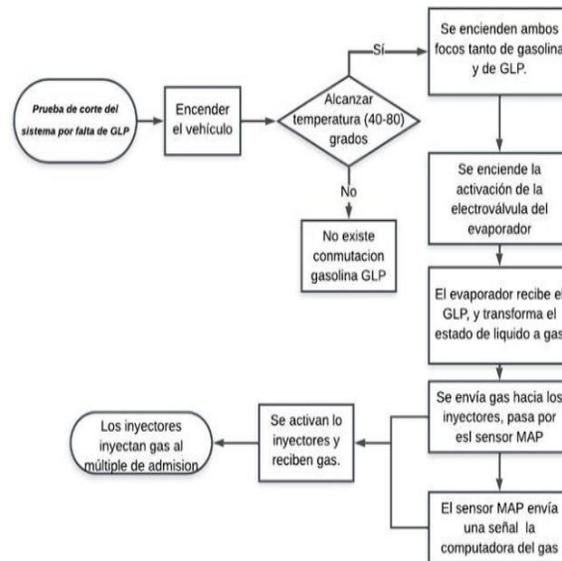
La conexión del osciloscopio al positivo y control de masa que sirvió como base para determinar el número de revoluciones las que el vehículo realiza el cambio de combustible siendo en el intervalo de 1500-2000 rpm.

Prueba de inyección de GLP

Se comprobó el correcto funcionamiento en la inyección de GLP por medio del osciloscopio, y multímetro.

Figura 12

Protocolo de prueba de inyección de GLP



Nota. En la imagen se muestra como está establecido el protocolo de prueba de inyección de GLP, es importante recordar sus condiciones de funcionamiento.

Análisis económico de la inversión

Para realizar los cálculos se va a tomar en cuenta el recorrido diario, semanal y anual que tiene un vehículo entre la ciudad de Latacunga y la ciudad de Riobamba al ser de uso personal recorrerá diariamente 100 km aproximadamente (Ministerio de Transporte y obras públicas), si este auto realiza este recorrido 5 días a la semana se tendrá en un año lo siguiente.

El valor total contemplado por un coste aproximado de consumo de gasolina en litros la cual será 0.25 litros por cada 100 km. Además de Estados Unidos, los países de Puerto Rico, Panamá, Perú, Colombia, Ecuador y Venezuela usan la definición de galón que equivale a: 3.785411784 litros (redondeado a 3.7854 litros).

Tabla 6

Precio total de consumo de combustible

Recorrido diario (Latacunga-Riobamba)	Recorrido semanal	Recorrido anual
100 km	500 km	26000 km
6.89 kg	34.45 kg	1791.25 kg
1.30\$	6.48\$	336.755 \$
Valores de consumo de 0,75 l por cada 100 km		
100 km	500km	26000 km
0.25 litros	1.25 litros	65 litros
0.147gal	0.735 gal	38.22gal
0.32 \$	1.63 \$	84.84 \$
Total		
1.30 \$	6.48 \$	336.755 \$
0.32 \$	1.63 \$	84.84 \$
1.62 \$	8.11\$	421.60 \$

Nota. en la tabla se muestran los valores aproximados a partir de un ejemplo particular de recorrido entre Latacunga y Riobamba, en donde aproximadamente por cada 100km el valor total diario de consumo en dólares será de 1.62\$

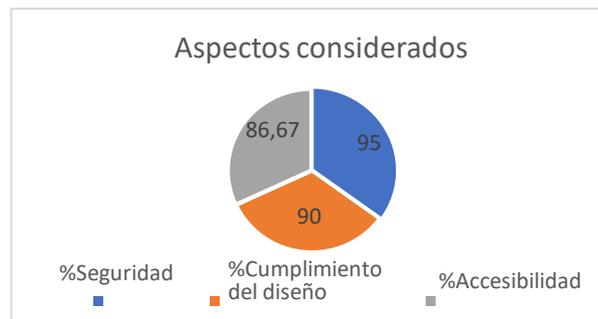
Pruebas de funcionalidad

Se realizaron las pruebas propuestas de funcionamiento dando el resultado esperado, mostrando que el sistema funciona, con el accionamiento del conmutador se realiza el cambio de gasolina a GLP correctamente, no existen sonidos extraños, y todos los elementos cumplen la función para los

que han sido instalados, dando un resultado del 100% cumpliendo con el correcto cumplimiento de la instalación a partir de las normas.

Figura 13

Promedio de porcentajes alcanzados



Nota. En la imagen los valores porcentuales de los tres aspectos tomados en cuenta, son favorables, 95% de seguridad, 86,67% de accesibilidad y el 90% del cumplimiento del diseño.

Análisis económico de la inversión

Se determinó que el consumo de combustible de gasolina al entrar en conmutación con el de GLP disminuyó considerablemente, es importante recordar que la inyección de gasolina va a seguir funcionando aun en funcionamiento de gas, claro está que, en mucha menor medida de consumo de gasolina, ahora bien, el consumo de GLP comparado con el consumo de gasolina es insignificante en tema económico.

Tabla 7

Tabla de consumos y precios anual.

Consumo de gasolina	Consumo de GLP
1523.80\$	421.60\$

Nota. Se muestra en la tabla el consumo y el precio anual.

Existe un gran ahorro en cuanto a valor de consumo el cual da un ahorro de 1102,2 dólares aproximadamente en cada año. En dos años y 6 meses aproximadamente se va recuperar el valor de la instalación, claro está que aquí se debe tomar en cuenta valores de mantenimiento que se realizan cada 10000km, en definitiva, se tiene que el costo beneficio de la instalación de un sistema de GLP de quinta generación en un vehículo con sistema GDI es recomendable, por su ventaja en valores de consumo.

IV. CONCLUSIONES

Se dimensionó el sistema hidráulico, neumático, eléctrico y electrónico del sistema de alimentación alternativo GLP/gasolina y solo de GLP a través de la ingeniería asistida por computador a través de la selección de los componentes en observancia de los requisitos mínimos que deben cumplir los equipos de quinta generación y las conversiones a realizar en el motor de combustión interna GDI, acorde a lo establecido por la NTE INEN 2310.

Se implementó el sistema de alimentación alternativo GLP de quinta generación para motores de combustión interna GDI en concordancia con las normas establecidas por parte de la NTE INEN 2311.

A través del manejo sustentado de información y análisis de ingeniería asistida por computador para el diseño, construcción y pruebas del Prototipo de sistema de alimentación de combustible GLP de quinta generación en motores GDI y la obtención de los resultados propuestos en esta investigación, se implementó un sistema flexible a un carburante gaseoso que cumple con la normativa técnica ecuatoriana NTE INEN garantizando la fiabilidad y seguridad del sistema en un 95%.

En cuanto al ahorro de combustible, y el costo beneficio de esta instalación nos muestra un resultado muy alentador en donde el ahorro es de 1102,2 dólares aproximadamente en cada año.

REFERENCIAS

[1] VALDEIGLESIS, F. d. (2007). Estudio de factibilidad económica para la. Estudio de factibilidad económica para la. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

[2] Caceres; Mollon. (2007). Evaluación de la Factibilidad del uso de gas natural vehicular como una alternativa energética para disminuir. Venezuela.

[3] Mazda Motor Corporation. (2007). Mazda Cx-7 Workshop Manual. HIROSHIMA.

[4] Francisco, S. H. (2011). DISEÑO DE UN SISTEMA DE PROPULSIÓN PARA EMBARCACIONES FLUVIALES DE 650 KG EN GAS LICUADO DE PETRÓLEO (GLP). PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ, Lima.

[5] Cristian, G., & Santiago, T. (2005). “ADAPTACIÓN DE UN SISTEMA DE COMBUSTIBLE CON LA UTILIZACIÓN DE GLP A UN MOTOR DE GASOLINA TOYOTA 5R [Tesis de Grado, Universidad de las Fuerzas

Armadas ESPE]. Repositorio Institucional, Latacunga, Cotopaxi, Ecuador

[6] LANDIRENZO. (s.f.). Sistema de GLP para motores de inyección directa. Cavriago, Italia.

[7] Barzallo, E. M. (2012). Límites de inflamabilidad en el a) Inferior. Cuenca.

[8] INEN:2310. (2013). Funcionamiento de vehículos con GLP. Equipos para carburación dual GLP/gasolina o solo de GLP en motores de combustión interna.

[9] INEN:2311, N. (2013). NTE INEN 2311: Vehículos automotores. Funcionamiento de vehículos con GLP. Conversión de motores de combustión interna con sistema de carburación de gasolina por carburación dual GLP/gasolina o solo de GLP.

[10] INEN:0111. (2013). Cilindros de acero soldados para gas licuado de petróleo GLP.

[11] Calleja, D. G. (2015). Motores térmicos y sus sistemas auxiliares (2da ed.). Madrid: Ediciones Parafino.

[12] Herranz David. (26 de enero de 2017). blogmecánicos.com.

[13] Solomon, O. (2021). Explained: Direct Injection Piston Design and Tuning Theories. MOTORTREND.

[14] Patiño, C., & Campoverde, P. (2023). Desarrollo de un módulo virtual para el aprendizaje del funcionamiento y mantenimiento de un Motor de Inyección Directa a Gasolina Hyundai G4FD [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca]. Cuenca.

[15] Tacuri, H. P. (2013). ANÁLISIS DEL SISTEMA DE INYECCIÓN DIRECTA DE GASOLINA EN MOTORES DE VOLKSWAGEN [Tesis de grado, Universidad del Azuay, Cuenca]. Cuenca: Facultad de Ciencia y Tecnología, Escuela de Ingeniería Mecánica.

[16] Fernidand, S., & Pytel, A. (1994). Resistencia de materiales. México: Alfaomega.

[17] Norton, R. L. (2011). Diseño de Máquinas. México: Pearson Educación.

[18] Feijóo Vivas, Galo Alexander. Guayanlema Gutierrez, Alejandro Ariel. (2024). Diseño e implementación del sistema de alimentación alternativo GLP de quinta generación para motores de combustión interna GDI. Carrera de Ingeniería Automotriz. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Sede Latacunga

Sistema de estimación de consumo de combustible y autonomía de los motores de inyección directa funcionando con gas licuado del petróleo.

Fuel consumption and range estimation system for direct injection engines running on liquefied petroleum gas.

Guano Rocha Santiago Joel, Ibarra López Ángel David

"Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE" / Departamento de Energía y Mecánica, Carrera de Ingeniería Automotriz Quito, Ecuador

Correspondencia Autores: sjguano@espe.edu.ec / adibarra@espe.edu.ec

Recibido: 18 de julio 2022, Publicado: 18 de diciembre de 2022

Resumen— El presente artículo científico describe el diseño, desarrollo e implementación de un sistema de estimación de consumo de combustible y autonomía para motores de inyección directa (GDI) operando con Gas Licuado de Petróleo (GLP). Se evaluó el comportamiento del sistema de alimentación de combustible dual (gasolina y GLP) de quinta generación mediante pruebas de ruta en tres escenarios: urbano, carretera y combinado. La metodología utilizada se fundamentó en protocolos internacionales de conducción WLTP que permitieron realizar un análisis comparativo entre el consumo de gasolina y el sistema dual.

Se emplearon interfaces como ECO OBDII, ELM327, CarScanner y Geo Tracker, además de software especializado como Landi Renzo System A, para la recolección, visualización y análisis de datos en tiempo real. Se instalaron indicadores visuales y mecánicos en el tablero del vehículo para monitorear el nivel de carburante. El método gravimétrico fue la base para determinar con precisión el consumo de combustible. Los resultados obtenidos muestran un ahorro significativo de combustible: 28,91% en entorno urbano, 31,99% en carretera y 29,73% en rutas combinadas. Asimismo, se registró una autonomía adicional de hasta 784,53 km con el uso del sistema dual y gdi incluido. Se demuestra la viabilidad técnica y económica de integrar sistemas de GLP en vehículos de inyección directa, aportando una alternativa sostenible frente al consumo exclusivo de gasolina

Palabras clave— GLP, DUAL, Consumo de combustible, Autonomía, GDI

Abstract— This scientific article describes the design, development, and implementation of a fuel consumption and range estimation system for direct injection (GDI) engines operating with Liquefied Petroleum Gas (LPG). The behavior of a fifth-generation dual fuel system (gasoline and LPG) was evaluated through road tests across three scenarios: urban,

highway, and combined. The methodology was based on WLTP international driving protocols that enabled a comparative analysis of fuel consumption between gasoline and the dual system.

Interfaces such as ECO OBDII, ELM327, CarScanner, and Geo Tracker, as well as specialized software like Landi Renzo System A, were used to collect, display, and analyze real-time data. Visual and mechanical indicators were installed on the vehicle dashboard to monitor fuel level. The gravimetric method was used to accurately determine fuel consumption. The results show significant fuel savings: 28.91% in urban settings, 31.99% on highways, and 29.73% on combined routes. Additionally, an increase of up to 784.53 km in range was recorded with the dual system.

This article demonstrates the technical and economic feasibility of integrating LPG systems into direct injection vehicles, offering a sustainable alternative to exclusive gasoline

Keywords— LPG, Fuel consumption, Range, GDI .

I INTRODUCCIÓN

La Resolución MME 40246 de 2016 establece que el gas licuado de petróleo (GLP) es una mezcla de hidrocarburos compuesta por propano y butano. En Ecuador, este recurso desempeña un papel importante en su cartera energética y puede ser utilizado para generar energía en motores de combustión interna M.E.P, reemplazando a la gasolina. No obstante, se enfatiza la necesidad de garantizar la fiabilidad del rendimiento de los motores de combustión de inyección directa asistidos por la gestión electrónica. [1].

El Gas Licuado de Petróleo (GLP) en general emerge como una alternativa de combustible que contribuye a reducir la huella de carbono en sistemas de combustión

interna presentes en vehículos equipados con sistemas de quinta y sexta generación, tanto para el transporte público como privado en diversos países [2]

Este combustible se posiciona como una opción viable en el parque automotor debido a su menor costo y alto rendimiento, especialmente en el ámbito del transporte masivo o público. Su uso común en el transporte público y vehículos livianos se destaca por la reducción de emisiones de gases tóxicos y partículas sólidas al medio ambiente, siendo una alternativa que no contamina el aire. Además, se presenta como un método rentable, económico y respetuoso con el medio ambiente, según [3].

La modificación de un vehículo de gasolina a GLP presenta dos beneficios principales: es económica y tiene menores costos de mantenimiento. Este ahorro se estima en aproximadamente un 50% en comparación con el uso de gasolina. Además, garantiza la vida útil de los componentes del vehículo, como mantener las bujías limpias, evitar la contaminación del aceite y reducir la necesidad de recambios frecuentes.

[3] Desde el año 2008, las empresas de taxis cuentan con la autorización para cambiar su sistema de combustible por gas licuado de petróleo (GLP), lo que implica un gasto hasta tres veces menor en comparación con la gasolina. Entre enero y marzo de 2022, el consumo de GLP en el sector automotor se triplicó en relación con el año anterior, pasando de 26.829 barriles a 60.960, según datos de [4].

El aumento en la demanda de GLP en el sector de taxis se inició en 2019, cuando se eliminó parcialmente el subsidio al precio del combustible Extra o Ecopais. Antes de 2019, la demanda para la instalación de sistemas GLP era de dos o tres vehículos al día, mientras que en la actualidad se ha elevado a 10 a 12 autos diarios. Para las compañías de taxis, el GLP tiene un precio fijo de USD 0,33 por cada kilogramo, por debajo del precio real de importación que es de USD 1,18, lo que representa una subvención estatal de USD 0,85 por kilo

[5] En 2007, mediante Decreto Ejecutivo, se autorizó a los taxistas a utilizar el GLP como alternativa al combustible. Esta decisión se tomó debido a que algunos conductores ya empleaban el gas de manera precaria y al margen de la ley. Aunque se realizó un plan piloto en Guayaquil, no se extendió a otras ciudades, y hasta la fecha, no se ha llevado a cabo una prueba para evaluar su efecto positivo en lugares con altitudes superiores a los 2000 metros sobre el nivel del mar. La Federación de taxistas de Ecuador ha solicitado al Gobierno que promueva el uso del GLP a nivel nacional, como se estableció en el decreto 630.

En Guayaquil, solo cinco estaciones de servicio privadas ofrecen GLP para los taxistas. El sistema de GLP implica

la instalación en el motor del vehículo, conectándolo con un cilindro diseñado específicamente para automóviles y colocado en el maletero. Se utiliza un sistema italiano que no elimina por completo el sistema de gasolina, ya que el vehículo se enciende y apaga con combustible.

La autonomía de un motor de combustión interna puede variar debido a varios factores, en los vehículos de combustión interna, el rendimiento del motor y el estilo de conducción influyen en la eficiencia del combustible. Aspectos como el tipo de ruta y la calidad del camino también son determinantes, ya que carreteras en mal estado o con pendientes pronunciadas pueden afectar la capacidad de recorrido. [6].

Según [7], el consumo de combustible de un vehículo se refiere a la cantidad de gasolina que el motor utiliza por unidad de distancia recorrida. Se expresa en términos de eficiencia del carburante, representando cuántos kilómetros puede recorrer el vehículo con una cierta cantidad de combustible.

Los ciclos de conducción son patrones estandarizados de aceleración, desaceleración y velocidad constante que se utilizan en pruebas de emisiones y eficiencia de combustible para evaluar el rendimiento de los vehículos en condiciones de manejo simuladas. Estos ciclos están diseñados para representar situaciones de conducción típicas y se utilizan como herramientas de prueba en laboratorios para evaluar las emisiones de escape y el consumo de combustible de los vehículos en condiciones controladas. [8]

Según [9], el protocolo WLTP es un conjunto de pruebas que se realizan en los vehículos livianos para determinar consumo y niveles de contaminantes de forma más real, este protocolo comenzó en la Unión Europea, India y Japón bajo la supervisión Europea. Esta prueba tiene una duración aproximada de 1800 segundos y alrededor de 34 kilómetros, consta de 3 fases urbano, extraurbano y combinado con sus diferentes variantes.

Según [10] en Ecuador, el Gas Licuado de Petróleo (GLP), es una opción de combustible que se ofrece en varias estaciones de servicio, es una alternativa a los combustibles convencionales y es ampliamente utilizado en turismo y furgonetas. Una de las principales empresas que ofrece GLP es Terpel, que fue pionera en abrir una estación de servicio pública con surtidores, POS y tanques de almacenamiento para GLP. Actualmente, Terpel tiene más de 250 clientes que utilizan GLP.

El Gas Licuado de Petróleo (GLP) es considerado un combustible más limpio en comparación con la gasolina y el Diesel debido a varias razones. Durante la combustión, el GLP emite menos contaminantes atmosféricos, como dióxido de azufre, partículas en suspensión y óxidos de nitrógeno, lo que mejora la calidad del aire. Además, su combustión produce menos compuestos de carbono, reduciendo las emisiones de monóxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles,

que son precursores de problemas de salud y smog. El contenido de azufre en el GLP es significativamente menor que en algunos combustibles convencionales, disminuyendo las emisiones de dióxido de azufre y mitigando impactos en la salud humana y el medio ambiente. [11]

Según [12], El trasvase o recarga de GLP doméstico se realiza en las estaciones de servicio autorizadas. Según la Ley de Hidrocarburos, la comercialización, almacenamiento, distribución y venta al público de GLP debe ser realizada directamente por las empresas públicas, o por delegación por empresas nacionales o extranjeras

Existen normas como: CFR 40 de los Estados Unidos, la NBR 7024 de Brasil o el reglamento 83 de la UNECE, las cuales presentan metodologías que sirven para definir un estándar de medición. [13]

El método gravimétrico es una técnica analítica utilizada para determinar la cantidad de sustancia que se presenta en una muestra, basada en la medida de un cambio de masa. Este método implica la formación de un precipitado o la liberación de un gas seguido por la separación y pesaje del componente de interés. [13]

II MÉTODOS Y MATERIALES

El proceso de investigación comprende la ejecución de pruebas de consumo en tres modalidades de ruta: urbana, carretera y combinada. Se llevaron a cabo antes de proceder con la instalación del sistema GLP. Se seleccionaron rutas representativas para evaluar el desempeño del motor en diferentes condiciones de manejo, proporcionando así datos relevantes para la estimación precisa del consumo de combustible en situaciones reales.

La interfaz ELM327 es una herramienta para diagnosticar vehículos con sistemas OBD II, abarcan gran parte del mercado americano, europeo y asiático, cuenta con el conector de diagnóstico de 16 pines. Es un dispositivo electrónico que funciona mediante el protocolo de comunicación automáticamente con la ECU del vehículo, para leer datos (PID'S) en tiempo real y borrar códigos de falla o DTC'S y visualizar valores de funcionamiento de sensores y actuadores.

ELM OBD II es un aplicativo informático para teléfono celular Android y computadores portátiles los cuales tengan disponibilidad de bluetooth, los cuales permiten al operario grabar y leer datos de los diferentes parámetros del vehículo donde la ECU este monitoreando.

De igual forma se observa los PID'S y los DTC'S generados por mal funcionamiento del vehículo el cual provoca que se encienda la luz de "Check Engine

Geo Tracker, es una aplicación que aportaron información como la localización, valores de tiempo, distancias y velocidades para las rutas establecidas. Proporcionaron gráficas de distancia y duración, elevación.

Pruebas de consumo de combustible

En la prueba se midió parámetros de interés al recorrer con el vehículo la ruta establecida, se obtiene el registro de datos para en caso de necesitar valores más específicos durante el trayecto de la ruta.

Se conecta las interfases ya mencionadas como el ELM 327 y App Geo Tracker, nuevamente al realizar las rutas mientras que con el combustible de GLP tener listo el software Landi Renzo System A.

Ruta de autonomía

Se establece una ruta de al menos 100 km para determinar la autonomía total del vehículo. Comprobando así la distancia máxima que pueda alcanzar o recorrer hasta que se termine el combustible del depósito

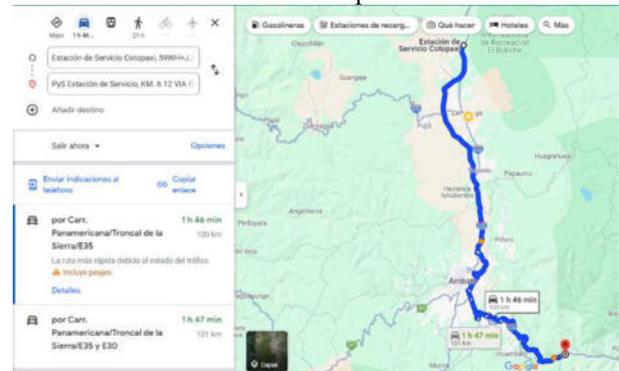


Figura 2. Ruta de prueba de consumo de combustible.

Software Landi Renzo

Es un software que se usa para determinar el porcentaje que existe en el indicador de pluma del depósito y del indicador de leds ubicado en la parte izquierda del volante. Este software se usa mediante un cable que comunica la ECU de GLP del vehículo con el ordenador y aportó varios parámetros de los cuales se destacar el nivel en el depósito. Se conectó el cable con el socket ubicado a lado de la batería en el motor del vehículo, el socket de 4 pines y la entrada USB al computador para comenzar con la comunicación



Figura 3. Interfase de consumo de combustible

Indicador de nivel de carburante GLP

Este indicador del carburante está ubicado en el tablero de instrumentos, en el lado izquierdo del volante, proporciona información del nivel de depósito del gas licuado de petróleo, 4 leds encendidos de color verde indican el depósito completo (60 kg de GLP domestico) y 1 led encendido de color rojo indica que ya está por terminarse el carburante.



Figura 4. Indicador de nivel en el depósito de GLP

Este indicador trabaja de forma mecánica con una boya ubicada dentro del depósito del carburante, a su vez este tiene un indicador de pluma para visualizar, de igual forma envía la información al indicador led ubicado en el tablero de instrumentos.



Figura 5. Indicador mecánico de nivel de GLP.

III. PRUEBAS Y RESULTADOS

En los primeros minutos de las gráficas de consumos de combustible en las distintas rutas realizadas, se observa que las mediciones de consumo de combustible muestran valores significativamente altos. Esto se debe a la falta de datos recopilados durante este breve período inicial. La escasez de información detallada sobre cómo el vehículo de ensayo está funcionando y cuánto combustible está consumiendo al inicio del trayecto puede llevar a estimaciones poco precisas o a la percepción de que el

consumo es excesivamente alto.

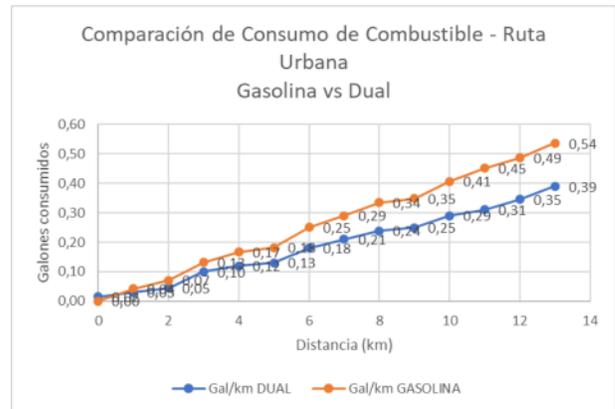


Figura 6. Comparación de consumo de combustible en la ruta urbana. (Gasolina vs Dual)

En la figura 6 se describe la tendencia del consumo de combustible de gasolina vs DUAL varía significativamente alrededor de 28.91 % de ahorro de gasolina durante ambas rutas. Ambas tienen tendencia directamente proporcional, como puntos de análisis en el kilómetro 5 de la ruta se evidenció una reducción mínima del consumo de 0,05 galones; en el kilómetro 9 tiene reducción significativa de 0,10 galones. Al finalizar el trayecto se tiene una variación de 0,15 galones consumidos.

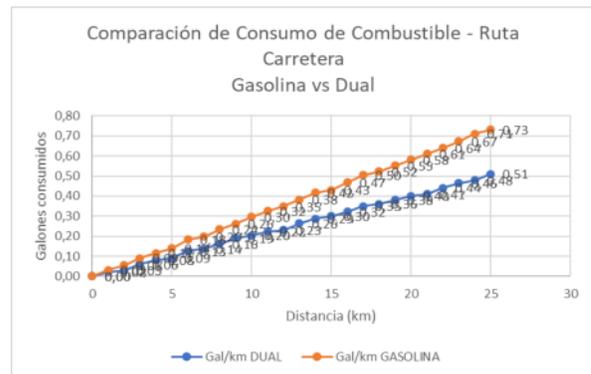


Figura 7. Comparación de consumo de combustible en la ruta carretera. (Gasolina vs Dual)

La figura 7 presenta la reducción del consumo de gasolina durante el trayecto de la ruta de carretera, con un promedio de ahorro de combustible de 31,99% de gasolina (0,22 galones) , los puntos de análisis son en los kilómetros 5 y 11, donde describe una reducción en la variación del consumo, con 0,04 galones el primer kilómetro y de 0,10 galones en el segundo.

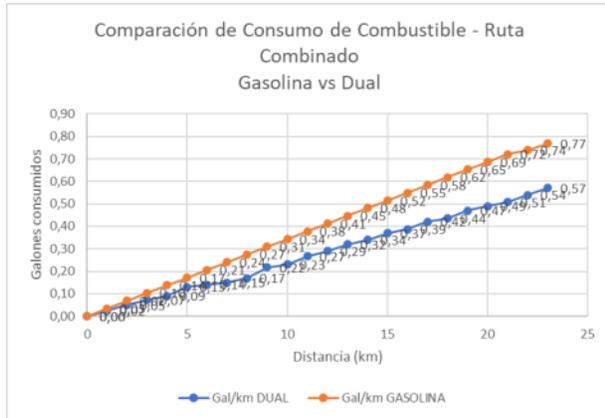


Figura 8. Comparación de consumo de combustible en la ruta combinada. (Gasolina vs Dual).

La figura 8 evidenció un ahorro del 29,84% en el ahorro de combustible (USD 0,2) existiendo un menor ahorro debido a la combinación de las rutas, debido a que la congestión vehicular se presenta a partir de la ruta urbana. Los puntos de análisis son los kilómetros 7 y 17, donde se ve aumento en la variación del consumo con el sistema DUAL, en el primer punto obteniendo 0,10 galones de diferencia, y en el segundo punto con 0,16 galones entre ambos sistemas



Figura 9. Análisis autonomía de gasolina.

La figura 9 describe una tendencia de 0.70 galones (\$ 1,68) por cada 5 km verificando el comportamiento de la autonomía del vehículo de prueba, la variación de los galones consumidos el directamente proporcional a los kilómetros recorrido.



Figura 10. Análisis de autonomía GLP

La tasa de crecimiento de la gasolina consumida durante la activación del sistema DUAL es de 0,45 Galones por cada 25 km y al finalizar el trayecto fue de 4,12 galones de gasolina.

Se determinó el costo de la gasolina durante la ruta para ello se utilizó un factor de conversión de galones al costo unitario por galón en (USD).

$$4,12 \text{ Gal} \times \frac{\$ 2,40 \text{ (USD)}}{1 \text{ Gal}} = \$ 9,88 \text{ (USD)}$$

El depósito de carburante completamente lleno costó USD 6 con dos tanques de gas doméstico, recomendado por el fabricante, al no contar con una estación de servicio en la ciudad que se realizó la investigación.

IV. CONCLUSIONES

En esta investigación, se utilizó un sistema para estimar el consumo de combustible y la autonomía de motores de inyección directa operando con gas licuado del petróleo (GLP).

Mediante la integración de indicadores mecánicos y electrónicos, junto con software especializado, se logró obtener información acerca del nivel de depósito de GLP, permitiendo así una gestión más eficiente del combustible.

El indicador del nivel de depósito de GLP, ubicado en el tablero de instrumentos, proporciona una visualización clara y precisa del nivel de combustible disponible, permitiendo al conductor tomar decisiones informadas sobre la gestión de su consumo.

Tras la aplicación y desarrollo del método de medición gravimétrico que se centra en la variación de la masa del depósito de GLP, logramos estimar el volumen de combustible consumido durante las diferentes rutas de pruebas realizadas. Este enfoque implica la medición del

Dinámica de Motociclos Eléctricos

Electric Motorcycle Dynamics

Daza Martínez, Eric Ricardo , Vargas Tuitise, Yubert Alan

"Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE" /Energía y Mecánica, Quito, Ecuador

Correspondencia Autores: fpdaza@espe.edu.ec, yavargas1@espe.edu.ec

Recibido: 04 de marzo de 2024, Publicado: 13 de diciembre de 2024

Resumen— *La presente investigación analiza la dinámica de los motociclos eléctricos como una alternativa sostenible a los vehículos de combustión interna. Este estudio se enfoca en la identificación y análisis de las principales fuerzas dinámicas que actúan sobre dos modelos representativos: Scooter y la motocicleta eléctrica. Se examinan las fuerzas aerodinámicas, de resistencia a la rodadura, de tracción y la fuerza neta, empleando parámetros técnicos específicos de cada vehículo, como la potencia del motor, el peso, la velocidad y la configuración del sistema de tracción. Mediante cálculos teóricos, se demuestra que las motocicletas eléctricas poseen una fuerza de tracción elevada, lo que se traduce en una excelente aceleración y rendimiento dinámico. Además, presentan una resistencia aerodinámica y a la rodadura relativamente bajas, lo que evidencia su eficiencia energética y su diseño aerodinámico optimizado. Los resultados permiten concluir que estos vehículos son una opción viable para el transporte urbano, con beneficios significativos en términos de autonomía, bajo impacto ambiental y operación silenciosa. Este análisis contribuye al entendimiento técnico del comportamiento dinámico de los motociclos eléctricos y su potencial en la movilidad sostenible, fomentando su implementación en entornos urbanos y promoviendo la transición hacia tecnologías más limpias y eficientes.*

Palabras clave— *Motociclos eléctricos, fuerzas dinámicas, eficiencia energética, movilidad sostenible.*

Abstract— This study analyzes the dynamics of electric motorcycles as a sustainable alternative to internal combustion vehicles. It focuses on identifying and examining the main dynamic forces acting on two representative models: The Scooter and the electric motorcycle. The aerodynamic force, rolling resistance, traction force, and net force are studied using technical parameters such as motor power, vehicle weight, speed, and drive system configuration. Theoretical calculations show that electric motorcycles offer high traction force, resulting in excellent acceleration and dynamic performance. Furthermore, they exhibit relatively low aerodynamic and rolling resistance, reflecting energy efficiency and optimized aerodynamic design. The findings confirm that these vehicles are a viable solution for urban transportation, offering significant advantages in terms of range, low environmental

impact, and quiet operation. This analysis enhances the technical understanding of the dynamic behavior of electric motorcycles and supports their integration into sustainable mobility systems, promoting the shift toward cleaner and more efficient technologies in urban environments.

Keywords: Electric motorcycles, dynamic forces, energy efficiency, sustainable mobility.

I INTRODUCCIÓN

La dinámica de los motociclos eléctricos ha transformado la experiencia de conducción, ofreciendo un rendimiento sorprendente y una conducción suave y silenciosa. Al aprovechar la potencia de los motores eléctricos y las últimas innovaciones en baterías de alta capacidad, estos vehículos han superado muchas limitaciones asociadas con estos sistemas. [1]

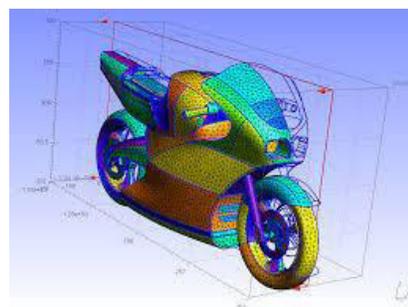


Fig. 1 Dinámica de la motocicleta

[2] Los vehículos de dos ruedas impulsados por electricidad están emergiendo como alternativas altamente favorables para el transporte, debido a su naturaleza ecológica. Su producción, exenta de emisiones y con una reducción significativa en el nivel de ruido durante su funcionamiento, junto con su autonomía por cada carga, contribuye positivamente al medio ambiente.

Las motocicletas eléctricas [3,4], con su funcionamiento silencioso y su creciente popularidad, han inaugurado un nuevo capítulo en la industria del motociclismo. Sin embargo, para comprender a fondo su funcionamiento y mejorar su desempeño, resulta fundamental comprender las fuerzas que influyen en ellas.



Figura 2 Motocicleta eléctrica

[5, 8] Al igual que una bailarina en movimiento, una motocicleta eléctrica está sujeta a un equilibrio complejo de fuerzas. Estas incluyen la resistencia a la rodadura, la tracción, la aerodinámica y la gravedad, todas las cuales afectan la aceleración, la velocidad, la estabilidad y la seguridad del vehículo.

[6, 8] Durante el movimiento, la motocicleta experimenta un equilibrio dinámico entre estas cuatro fuerzas. Es necesario que la fuerza de tracción supere la resistencia a la rodadura y la resistencia aerodinámica para que la moto pueda acelerar. Además, la fuerza de la gravedad y la distribución del peso influyen en la estabilidad del vehículo, especialmente en curvas y terrenos irregulares.

II **MÉTODOS Y MATERIALES.**

[7, 8] Para la aplicabilidad de las formulas de las fuerzas de dinámica se requiere conocer las tablas de especificaciones de cada motocicleta eléctrica a calcular, por lo tanto, a continuación, se presentará las especificaciones necesarias de cada motocicleta.



Figura 3 Scooter Amarillo

Tabla.1 *Tabla de especificaciones* [8,9]

MOTOR	
Régimen Nominal	350RPM

Potencia Nominal	500W
Velocidad Máxima	40Km/h
BATERÍA	
Tipo de Batería	4 de ácido seca
Voltaje Nominal	48V
Capacidad	12/20AH
Tiempo de Carga	8 Horas
Autonomía	40 – 60 Km
Voltaje de entrada del cargador	AC110V60HZ
Voltaje de salida del cargador	DC59V2.0A
TRANSMISIÓN	
Transmisión	Transmisión por eje
CARGA	
Capacidad de carga	100Kg
Masa	53.5Kg



Figura 4 Motocicleta Eléctrica CITY COCO.

Tabla.2 *Tabla de especificaciones*

MOTOR	60V-1500W
BATERIA	12Ah-60V Batería de Litio
VELOCIDAD MAXIMA	30km/h
CARGA MAXIMA	180 kg
LLANTAS	18 x 9.5 pulgadas de ancho
AUTONOMIA	20-70 km por carga
PESO	70 kg
FRENO DELANTERO Y TRASERO	Frenado de disco hidráulico
ANGULO DE SUBIDA MAXIMO	30 grados
TORQUE MAXIMO	41 Nm
DISTANCIA DE FRENO (SECO)	1.2 m (20 km/h)
DISTANCIA DE FRENO (MOJADO)	3.1 m (20km/h)
TIEMPO DE CARGA	3 – 5 horas 110V a 2A
TAMAÑO	196 cm largo * 76 cm de ancho *112 cm de alto
COSTO POR CARGA	2.9Kw/h = 0.30 centavos de dólar

[1, 8] La dinámica o el estudio de fuerzas que implica el diseño de los motociclos eléctricos, para verificar los parámetros necesarios para obtener los resultados deseados, por lo tanto, para este diseño o estudio se requiere considerar las siguientes fuerzas.

- Fuerza aerodinámica
- Fuerza de resistencia a la rodadura
- Fuerza de tracción
- Fuerza neta

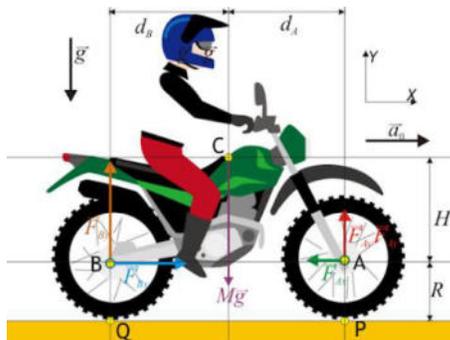


Figura 5 Fuerzas dinámicas aplicadas en una motocicleta eléctrica.

Una vez conocido las fuerzas dinámicas involucradas, daremos a conocer que función cumple cada una de estas fuerzas:

Fuerza aerodinámica:

[2,8] Esta fuerza se debe a la presencia de presiones y fricción viscosa, donde va a depender de varios factores, uno de ellos es la geometría del vehículo que se va mover a través del aire.

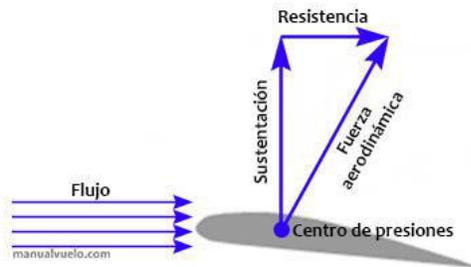


Fig. 6 Fuerza aerodinámica

[1,2] Esta fuerza se divide en dos componentes principales:

- **Sustentación:** Es la fuerza perpendicular a la dirección del movimiento relativo del cuerpo y del aire. La sustentación es la fuerza que permite que los aviones vuelen, ya que contrarresta la fuerza de la gravedad.
- **Resistencia:** Es la fuerza paralela a la dirección el movimiento relativo del cuerpo y del aire. La

resistencia opone resistencia al movimiento del cuerpo y es la responsable de que los aviones desaceleren cuando dejan de propulsarse.

De tal manera, se determina de la siguiente ecuación:

$$F_{aereo} = \frac{1}{2} * \rho * A * C_d (X + V_{viento})^2$$

Donde:

- ρ → Constante aerodinámica
- X → Velocidad lineal del vehículo
- V_{viento} → Velocidad del viento

Fuerza de resistencia a la rodadura:

Para esta fuerza el vehículo se encuentra en reposo caso contrario si está en movimiento se podrá determinar el producto del coeficiente a la rodadura con la fuerza normal entre el vehículo y la carretera.

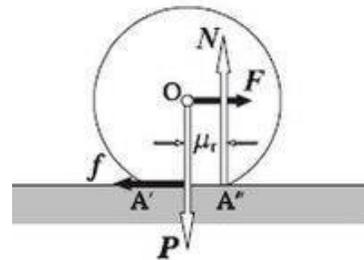


Figura 7 Fuerza de resistencia a la rodadura

La fuerza de resistencia a la rodadura tiene varios efectos, como:

- **Reducir la eficiencia del movimiento:** La fuerza de resistencia a la rodadura consume energía, lo que reduce la eficiencia del movimiento.
 - **Aumenta el desgaste de los neumáticos:** La fuerza de fricción entre el neumático y la superficie provoca el desgaste del neumático.
- Debemos tener en cuenta que la resistencia a la rodadura es relativamente independiente de la velocidad, de tal manera, la ecuación es:

$$F_{roll} = C_{rr} * m_{veh} * g \quad (1)$$

Donde:

- C_{rr} → Coeficiente a la resistencia a la rodadura
- F_{roll} → Fuerza de resistencia a la rodadura
- m_{veh} → Masa del vehículo
- g → Gravedad

Fuerza de tracción:

Esta fuerza especialmente de las ruedas depende de un coeficiente de adhesión y de la fuerza normal del vehículo. Donde el coeficiente de adhesión se determina por el estado del terreno y el deslizamiento del neumático.

$$F_{tracción} = \mu * m_{veh} * g \quad (2)$$

Donde:

$\mu \rightarrow$ Coeficiente de adhesión

$\mu \rightarrow (0.85)$ para asfalto

Fuerza neta:

Una vez determinada la fuerza de tracción y todas las resistencias de conducción presentes en los vehículos, donde se puede determinar la fuerza total en dirección longitudinal.

$$F_{neta} = F_{tracción} - F_{aero} - F_{roll} \quad (3)$$

III. PRUEBAS Y RESULTADOS

Scooter



Figura 8 Cargas actuantes de Scooter Amarillo

Cálculo:

Fuerza aerodinámica

$$F_{ad} = \frac{1}{2} * 1.270 \left(\frac{kg}{m^3} \right) * 0.435 m^2 * 0.4690 * \left(9.72 \frac{m}{s} \right)^2$$

$$F_{ad} = 12.239 N$$

Fuerza de resistencia a la rodadura

$$F_{roll} = 0.019 * 53.5(kg) * 9.81 \left(\frac{m}{s^2} \right)$$

$$F_{roll} = 9.97 N$$

Fuerza de tracción

$$F_{tracción} = 0.85 * 53.5(kg) * 9.81 \left(\frac{m}{s^2} \right)$$

$$F_{tracción} = 446.11 N$$

Fuerza neta

$$F_{neta} = F_{tracción} - F_{aero} - F_{roll}$$

$$F_{neta} = 446.11 N - 12.239 N - 9.97 N$$

$$F_{neta} = 423.90 N$$

Tabla.3 Resultados obtenidos de las fuerzas

Datos obtenidos	
Fuerza aerodinámica	12.239 N
Fuerza de resistencia a la rodadura	9.97 N
Fuerza de tracción	446.11 N
Fuerza neta	423.90 N

Fuerza aerodinámica:

La fuerza aerodinámica de 12.239 N es relativamente pequeña en comparación con la fuerza de tracción. Esto indica que la moto tiene una buena aerodinámica.

Fuerza de resistencia a la rodadura:

La fuerza de resistencia a la rodadura de 9.97 N también es relativamente pequeña. Esto indica que los neumáticos tienen una buena adherencia al suelo y que la superficie de la carretera es lisa.

Fuerza de tracción:

La fuerza de tracción de 446.11 N es la fuerza más grande que actúa sobre la moto. Esto indica que el motor es potente y posee una entrega de potencia inmediata.

Fuerza neta:

La fuerza neta de 423.90 N es la fuerza resultante que impulsa la moto hacia adelante. Esta fuerza es considerable, lo que indica que la moto tiene una aceleración y velocidad muy buenas, esto solo comprueba que las motocicletas eléctricas tienen una entrega de potencia inmediata. [1] [2] [3] [4]

Motocicleta eléctrica

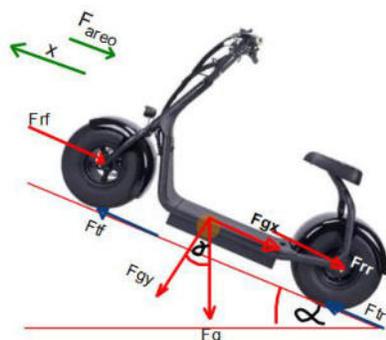


Figura 9 Cargas actuantes sobre el motociclo eléctrico

Cálculo:

Fuerza aerodinámica

$$A = 8512 \text{ cm}^2 * \frac{1\text{m}^2}{100\text{cm}^2} = 0.8512 \text{ m}^2$$

$$x = 30 \frac{\text{km}}{\text{h}} * \frac{1000\text{m}}{1\text{km}} * \frac{1\text{h}}{3600\text{s}} = 8.333 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$F_{aereo} = \frac{1}{2} * 1.185 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 0.8512\text{m}^2 * 0.6(8.333)^2 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$F_{aereo} = 20.99 \text{ N}$$

Fuerza de resistencia a la rodadura

$$F_{roll} = 0.03 * 70\text{kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_{roll} = 20.60 \text{ N}$$

Fuerza de tracción

$$F_{tracción} = 0.85 * 70\text{kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_{tracción} = 586.07 \text{ N}$$

Fuerza neta

$$F_{neta} = F_{tracción} - F_{aero} - F_{roll}$$

$$F_{neta} = 586.07 \text{ N} - 20.99 \text{ N} - 20.60 \text{ N}$$

$$F_{neta} = 544.48$$

Tabla.4 Resultados Obtenidos de Fuerzas

Datos obtenidos	
Fuerza aerodinámica	20.99 N
Fuerza de resistencia a la rodadura	20.60 N
Fuerza de tracción	586.07 N
Fuerza neta	544.48 N

Fuerza aerodinámica:

La fuerza aerodinámica de 20.99 N es relativamente pequeña en comparación con la fuerza de tracción. Esto indica que la moto tiene una buena aerodinámica.

Fuerza de resistencia a la rodadura:

La fuerza de resistencia a la rodadura de 20.60 N también es relativamente pequeña. Esto indica que los neumáticos tienen una buena adherencia al suelo y que la superficie de la carretera es lisa.

Fuerza de tracción:

La fuerza de tracción de 586.07 N es la fuerza más grande que actúa sobre la moto. Esto indica que el motor es potente y posee una entrega de potencia inmediata.

Fuerza neta:

La fuerza neta de 548.44 N es la fuerza resultante que impulsa la moto hacia adelante. Esta fuerza es considerable, lo que indica que la moto tiene una aceleración y velocidad muy buenas, esto solo comprueba que las motocicletas eléctricas tienen una entrega de potencia inmediata. [1] [2] [3] [4]

IV. CONCLUSIONES

Los resultados del estudio muestran que las motocicletas eléctricas analizadas son realmente eficientes al moverse, ya que aprovechan muy bien la energía que reciben del motor. Pueden acelerar con fuerza y mantener un buen rendimiento, incluso enfrentando las fuerzas que se oponen al movimiento.

El diseño de estos motociclos están analizados para cortar el viento con facilidad. Consumen menos energía al avanzar y ofrecen una experiencia de manejo más fluida, lo cual es clave para mejorar su desempeño y autonomía.

La resistencia de las llantas al rodar es bastante baja. Esto no solo mejora la eficiencia, sino que también ayuda a que las llantas se desgasten menos y que el vehículo sea más seguro al tener buen agarre al suelo.

Los motociclos eléctricos responden casi de inmediato al acelerar. Esto se debe a que el motor eléctrico entrega su potencia desde el primer momento, lo que resulta ideal para manejar en la ciudad, donde se necesita reaccionar rápido.

Este tipo de vehículos aportan mucho al cuidado del medio ambiente. Al no generar emisiones contaminantes ni ruido, representan una excelente opción para una movilidad más limpia y responsable con el entorno.

Este análisis aplica de forma concreta principios de la física para entender cómo se comportan estas motos al moverse.

La fuerza de resistencia a la rodadura es un factor clave a la hora de tener un buen punto de gravedad y como se observa la fuerza de resistencia a la rodadura de la motocicleta eléctrica tiene un valor bastante bajo.

La fuerza de tracción de la motocicleta eléctrica es alta lo que manifiesta que la motocicleta eléctrica posee una fuerza de tracción de 446.11 N.

La fuerza neta es la fuerza que impulsa a la motocicleta eléctrica ya que esta es la resultante de todas las fuerzas que calculamos, el valor de esta es de 423.90 N lo cual indica que la motocicleta eléctrica posee una elevada potencia y aceleración

- [10] «Yadea Kemper, su primera moto eléctrica de gran potencia y con carga rápida,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.mundodeportivo.com/solomoto/electricas/20231112/1002103446/yadea-kemper-primera-moto-electrica-gran-potencia-carga-rapida.html>.

REFERENCIAS

- [1] W. H. Hucho, *Aerodynamics of road vehicles: From fluid mechanics to vehicle engineering.*, SAE International., 1998.
- [2] A. K. Pundir y P. Pandey, *Motorcycle design and technology*, CRC Press., 2016.
- [3] C. R. Smith, *Motorcycle aerodynamics.*, SAE International., 1983.
- [4] C. & E. C. Amann, « Aerodynamic drag reduction for motorcycles.,» *SAE International Journal of Passenger Cars* , 2017.
- [5] «MOTO ELÉCTRICA DYNAMO I LITIO,» [En línea]. Available: https://simple.ripley.cl/moto-electrica-dynamo-i-litio-mpm10000189789?color_80=negro&s=mdco.
- [6] «Motores síncronos,» [En línea]. Available: https://www.sapiensman.com/tecnoficio/electricidad/motores_sincronos.php.
- [7] «Motores Electricos,» 2 junio 2009. [En línea]. Available: <https://motoreselectricos.wordpress.com/>.
- [8] Vargas Tuitise, Yubert Alan. Daza Martínez, Eric Ricardo. (2024). *Procesos de operación, diagnóstico y mantenimiento de motociclos eléctricos y adaptación de propulsión eléctrica.* Carrera de Ingeniería Automotriz. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Sede Latacunga
- [9] «Scooter Eléctrico TUNDRA VOLT-X,» [En línea]. Available: <https://www.proimport.com.ec/motociclismo/4146-scooter-electrico-tundra-500-watts-volt-clasic-ii.html>.



1922
ECUADOR

ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



**ENERGÍA MECÁNICA
INNOVACIÓN Y FUTURO**

Revista de Difusión N°13
ISSN: 1390 - 7395
Publicación Anual / Diciembre 2024

RESPONSABLE LEGAL
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE
Av. General Rumiñahui s/n
Sangolquí - Ecuador
P.O. Box171 -5 - 31B
einnovacion-el@espe.edu.ec
wgerazo@espe.edu.ec

