



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

REVISTA
DE DIFUSION
N° 11
VOL. 1 (2022)
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 MECÁNICA

• CUERPO EDITORIAL

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

TCRN. DE E.M. MILBERT BELTRÁN .
Director Sede Latacunga

ING. JOSÉ BUCHELI A. MSc.
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
Universty 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

Sistemas robóticos e interfaces inmersivos para aplicaciones robustas de búsqueda exploración 14 - 18

Robotic systems and immersive interfaces for robust search and exploration applications

Christyan Cruz Ulloa ¹

¹ Universidad Politécnica de Madrid

Banco de pruebas de la bomba de inyección rotativa con mandos electrónicos en motores diésel 19 - 23

Test bench for rotary injection pump with electronic controls in diesel engines

Luis Antonio Mena Navarrete¹, Fernando Alulema Criollo²,

¹Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Departamento de Energía y Mecánica

MECATRÓNICA Y SOSTENIBILIDAD 24 – 28
MECHATRONICS AND SUSTAINABILITY

Andrea Córdova Cruzatty ¹

Arizona State University / acordova@asu.edu

Programación de los mapas de inyección de combustible y de encendido para mejorar el desempeño del motor kawasaki zx-6r. 29 - 35

Programming the fuel injection and ignition maps to improve the performance of the kawasaki zx-6r engine.

Byron Buitrón García ¹, Daniel Narváez Téran²

ASIAUTO – KIA DEL ECUADOR ¹, IMBAUTO - HYUNDAI DEL ECUADOR²

Simulación del proceso de implementación del sistema de propulsión eléctrica de movimiento en vehículos automotores. 36 - 43

Simulation of the implementation process of the electric motion propulsion system in motor vehicles.

José Quiroz Erazo ¹, Juan Carlos Cando Gutiérrez ¹, Marlon Fabricio Cayo Chiguano ¹.

¹ Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica



Optimización del voltaje de operación de packs de batería de alta tensión mediante la entrega de carga y descarga con voltaje y corriente constante 44 - 47
Optimization of the operating voltage of high voltage battery packs by delivering charge and discharge with constant voltage and current.

Carlos Martínez, Edison Maldonado
Vehicentro Vehículos y Camiones Sierra Centro – Sinotruck del Ecuador / Tranvia
Parla Madrid

Exoesqueleto robótico de cadera para movilidad coxo-femoral 48 - 55
Exoskeleton Robotic of hip for coxo-femoral mobility.

¹Jakelyn X. Romero, ¹Marco A. Taco, ¹Héctor C. Terán, ¹Wendy Y. Romero, ¹Diego A. Pazmiño
¹Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE /Energía y Mecánica, Quito, Ecuador

Análisis del comportamiento electrónico del inyector EJBR03701D CRDI, bajo la variación de parámetros de tiempo de inyección, presión y números de strk 56 - 67
Analysis of the electronical behavior of the injector ejbr03701d crdi delphi, under the variation of time parameters for injection, pressure and strk

Jefferson A. Bombón¹, Milton P. Chalco²,
Unidad Educativa Nueva Generación, Latacunga - Ecuador

Análisis comparativo de consumo de combustible y emisiones producidas por un generador de hidrógeno de celda seca vs gasolina de 92 octanos el motor de combustión interna EFI 1800 cc 68 - 73
Comparative analysis of fuel consumption and emissions produced by a dry cell hydrogen generator vs. 92 octane gasoline in the EFI 1800 cc internal combustion engine.

Marco Masapanta¹, Darwin Aimacaña²
RA MOTORS DEL ECUADOR 1, LUBRICACION GLOBAL2

Optimización del sistema de dirección, suspensión y frenos para aplicación en un supercrosscar 74 - 81
Optimization of Steering, Suspension, and Braking System for Application in a Supercrosscar

Edwin P. Palma, Cándido M. Blacio.
Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE /Energía y Mecánica

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 tecnología es solo una herramienta. En términos generales, la gente se considera buena o mala, pero la tecnología por sí sola no es ni buena ni mala". - William Gibson.

Con esta cita del reconocido autor William Gibson como punto de partida, me complace presentar la una décima edición de la revista de difusión científica "ENERGÍA MECÁNICA, INNOVACIÓN Y FUTURO". Esta publicación, bajo la dirección del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, se erige como un bastión del conocimiento científico y tecnológico, reflejando nuestro compromiso con la excelencia y el progreso.

La constancia, como motor fundamental para alcanzar metas, se manifiesta a lo largo de las páginas de esta edición. La colaboración activa de docentes y expertos invitados enriquece el contenido de la revista, que abarca una amplia variedad de temas de investigación en ingeniería y disciplinas afines. Este esfuerzo colectivo busca promover la mejora continua en el ámbito académico y contribuir al desarrollo integral de nuestra sociedad.

En esta edición, se comparten valiosas reflexiones y descubrimientos sobre diversos aspectos relevantes para la industria y la academia. Se exploran nuevas tendencias en materiales y tecnologías empleadas en la industria, se analizan soluciones energéticas innovadoras, se enfocan a mecánicos, automotrices, mecatrónicos, petroquímicos de vanguardia.

Es imprescindible reconocer y agradecer el arduo trabajo, la dedicación y la perseverancia de todas las personas involucradas en la realización de esta décima edición. Su compromiso ha hecho posible la materialización de esta revista científica, que se posiciona como un medio de difusión del conocimiento y un testimonio del potencial innovador de nuestra comunidad académica y científica.

"ENERGÍA MECÁNICA, INNOVACIÓN Y FUTURO" se consolida como un referente esencial en el ámbito de la investigación y la divulgación científica, contribuyendo de manera significativa al avance de la ciencia y la tecnología en nuestra sociedad.

Ing. Milbert Beltrán Salazar MEng.

TCRN. de E.M.

Director ESPE - SL



La edición número XI 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, 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.

En esta edición, se ha incluido contribuciones del II CONGRESO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA ESPE CON ENFOQUE EN INGENIERÍA AUTOMOTRIZ Y MECATRÓNICA- que abarcaron una amplia gama de temas, como procesos de fabricación, energías alternativas, análisis mecánico computacional, materiales utilizados en la industria automotriz, sistemas automotrices, y procesos mecatrónicos. Cada artículo ha sido sometido a un exhaustivo proceso de revisión y selección, garantizando su relevancia y contribución al avance del conocimiento en ingeniería y áreas relacionadas.

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



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

Sistemas robóticos e interfaces inmersivos para aplicaciones robustas de búsqueda exploración

Robotic systems and immersive interfaces for robust search and exploration applications

Christyan Cruz Ulloa ¹

¹ Universidad Politécnica de Madrid

Correspondencia Autores: christyan.cruz@car.upm-csic.es

Recibido: 19 de agosto 2022, Publicado: 18 de diciembre de 2022

Resumen— Los entornos de desastre, catástrofes naturales o atentados, dejan como resultado pérdidas humanas, en medio de zonas colapsadas de acceso potencialmente riesgoso para rescatistas, debido al colapso de estructuras o eventuales explosiones. La Robótica de Búsqueda y Rescate ha sido una línea con gran auge dentro de este campo en las últimas décadas, brindando principalmente soporte a brigadas de intervención. La implementación de un método es importante para la identificación automática de víctimas en estos entornos a través de redes neuronales convolucionales, imágenes térmicas y ROS (Robot Operating System). Para ello se utilizan ciertos tipos de robots que tienen características especiales para búsqueda y rescate debido a su gran destreza para moverse en terrenos no estructurados, en los cuales han sido dotados de un sistema especializado de visión térmica. Para validar este desarrollo se han llevado a cabo pruebas en entornos pos- desastre reconstruidos. El método propuesto ha permitido generar mapas 2D enriquecidos con información de potenciales víctimas e incendios para su posterior uso. Los principales resultados han mostrado una eficacia superior al 90% para la identificación de víctimas totalmente visibles y víctimas parcialmente cubiertas por escombros.

Palabras clave— Robot Cuadrúpedo, ROS, Redes Neuronales Convolucionales, Imágenes Térmicas, Búsqueda y Rescate.

Abstract— Disaster environments, natural catastrophes or attacks result in human losses, in the midst of collapsed areas of potentially risky access for rescuers, due to the collapse of structures or possible explosions. Search and Rescue Robotics has been a booming line within this field in the last decades, mainly providing support to intervention brigades. The implementation of a method is important for the automatic identification of victims in these environments through convolutional neural networks, thermal imaging and ROS (Robot Operating System). For this purpose, certain types of

robots are used that have special characteristics for search and rescue due to their great dexterity to move in unstructured terrain, in which they have been equipped with a specialized thermal vision system. To validate this development, tests have been carried out in reconstructed post-disaster environments. The proposed method has allowed the generation of 2D maps enriched with information on potential victims and fires for later use. The main results have shown an efficiency of more than 90% for the identification of fully visible victims and victims partially covered by debris.

Keywords— Quadruped Robot, ROS, Convolutional Neural Networks, Thermal Imaging, Search and Rescue.

I INTRODUCCIÓN

En las últimas dos décadas se han producido 7.348 desastres naturales a nivel mundial que han provocado aproximadamente 1,23 millones de muertes y afectado a más de 4.000 millones de personas, según un informe de la UNDRR (Oficina de Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres). En su mayoría son producidas por inundaciones, tormentas y terremotos, siendo estas el 40%, 28% y 8% respectivamente. En catástrofes como grandes tormentas, las víctimas mortales rondan el 10% de los afectados, mientras que en los terremotos las víctimas mortales rondan en torno al 49%.

En estos escenarios, la robótica ayuda a la rapidez y eficacia de su gestión. Las víctimas pueden estar tanto en la superficie como enterradas bajo escombros. Los robots de búsqueda y rescate especializados en reconocimiento y búsqueda de víctimas están diseñados para ayudar a la localización de aquellas víctimas que se encuentran fuera de la visión de los operarios o en lugares poco accesibles. Asimismo, su utilización permite que los operarios no se expongan a peligros, como por ejemplo nuevos derrumbamientos.

Se han entrenado diferentes modelos pre- entrenados de redes neuronales convolucionales, para validar este método propuesto se ha llevado a cabo una serie de pruebas en escenarios pos-desastre reconstruidos según los estándares del NIST (Instituto Nacional de Estándares y Tecnología). Donde personas simulando ser víctimas se han distribuido.

La visibilidad de estas ha sido variable, teniendo personas cubiertas por escombros de manera total o parcial. Los principales resultados de este desarrollo muestran una detección de víctimas con un porcentaje alto para los tres tipos de redes entrenadas. En la actualidad la detección de víctimas utilizando redes neuronales e imágenes térmicas ha sido un campo poco explorado, por lo cual uno de los pilares de relevancia de este artículo. El sistema implementado tiene una amplia ventaja sobre sistemas convencionales como cámaras RGB que no funcionan en condiciones de poca luminosidad. En estos escenarios, la robótica ayuda a la rapidez y eficacia de su gestión. Las víctimas pueden estar tanto en la superficie como enterradas bajo escombros. Los robots de búsqueda y rescate especializados en reconocimiento y búsqueda de víctimas están diseñados para ayudar a la localización de aquellas víctimas que se encuentran fuera de la visión de los operarios o en lugares poco accesibles. Asimismo, su utilización permite que los operarios no se expongan a peligros, como por ejemplo nuevos derrumbamientos.

Las labores de búsqueda y rescate de víctimas son las actividades realizadas por equipos de emergencia destinadas a localizar a personas en situación de emergencia para proceder a sacarlas del peligro. Además, contempla las labores de tratado y transporte de heridos a centros hospitalarios. En los últimos años, con el apogeo de la Visión Artificial debido a las nuevas técnicas que emplean redes neuronales para tareas como la clasificación y detección de objetos en imágenes y videos, se han explorado e investigado su aplicación en múltiples áreas. Una de estas áreas es la de termografía, en la que se busca la aplicación de los nuevos modelos de visión a la detección de objetos o personas, haciendo especial énfasis en el estudio de estas últimas. Las principales áreas de aplicación de la visión artificial junto a termografía actualmente son vigilancia y reconocimiento facial.

II MÉTODOS Y MATERIALES

Sistema robótico y sensores.

Las partes que conforma un robot móvil (Fig. 1) son las partes mecánicas, el chasis y la columna que da soporte a todo el robot, consta además de otros elementos como se

observa en la Figura 1 que son un motor brushless, estos son muy ocupados en el área de la robótica ya que su control es muy fiable, se tiene sensores específicos y de tipo laser, se consta de drivers de controles de potencia, los sistemas de alimentación y los sistemas de encendido y tarjetas de control que son los encargados de controlar de algoritmos del robot y por último se tiene la conexión inalámbrica.



Figura 1. Partes de los robots

Software y gestión de información

El desarrollo integral se ha llevado a cabo mediante ROS (Robot Operating System), que en la actualidad es el protocolo estándar a nivel de desarrollo dentro del campo de la Robótica.

La Figura 2 muestra el esquema de conexión del flujo de datos entre el puesto de mando y el Robot en campo. El procesamiento a nivel de robot se ejecuta en uno de sus ordenadores a bordo donde se generan los mapas de entorno y se ejecuta el control a bajo nivel del sistema de locomoción. Por otra parte, en el puesto de mando se recibe toda la información y se ejecuta el procesamiento a alto nivel. Se procesa en tiempo real la imagen térmica transmitida mediante la red neuronal para determinar donde existe una potencial víctima y a su vez colocar una marca dentro del mapa. Por otra parte, se envían comandos de velocidad lineal y angular para continuar con la exploración dentro del entorno.

La ventaja de ROS es que su gestión de comunicación es mediante tópicos, que genera una mayor eficiencia en la redivisión de mensajes y estos mensajes pueden ir desde bytes hasta imágenes y matrices completas entre otros. Otra de las ventajas de ROS es un sistema centralizado donde el master se encuentra en el ordenador más potente y los esclavos pueden estar en campo con una conexión remota

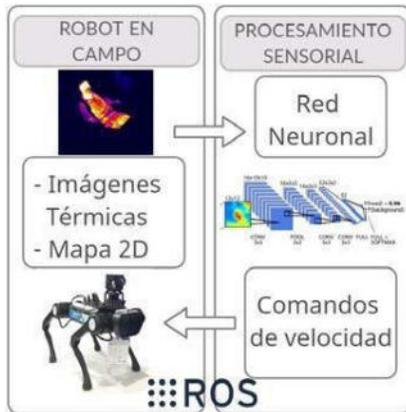


Figura 2. Software de los robots

Movilidad en entornos complejos reales

Para que esto no sea una problemática se deben usar robots con sistemas de locomoción específicos, como los cuadrúpedos (Fig. 3). Este tipo de robots se caracteriza por tener un rango de libertad que consta, si existe un terreno con un desnivel gracias a su control en tiempo real se hace más fácil que el robot atravesase este tipo de camino.

Las altas velocidades que puede alcanzar este robot lo hacen muy ideal para desplazarse en entornos de desastres.



Figura 3. Robots Cuadrúpedos

Otro tipo de robot que se utiliza en las operaciones de búsqueda son los robots oruga (Fig. 4), debido que poseen una gran tracción y gran agarre al suelo, lo que le permite al mismo tiempo subir superficies inclinadas con pendientes superiores a los 30° y superar obstáculos como escaleras, escombros.



Figura 4. Robots Oruga

Otro robot que se utiliza son los Antropomórficos (Fig. 5), este tiene una configuración de patas de tipo C y la combinación de locomoción trípode es capaz de desarrollar movimientos complejos y desplazarse a velocidades regulares

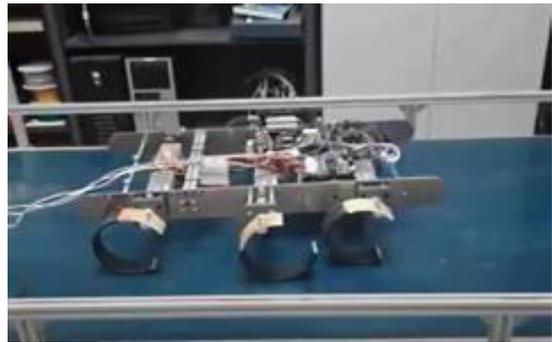


Figura 5. Robots Antropomorfos

El robot con ruedas (Fig. 6) se utiliza para distancias largas en terrenos con condiciones de operación, puede ir a las zonas de desastres para inspección. Los robots con ruedas son más sencillos y más fáciles de construir, la carga que pueden transportar es mayor, relativamente. Tanto los robots basados en cadenas como en patas se pueden considerar más complicados y pesados, generalmente, que los robots de ruedas para una misma carga útil.



Figura 6. Robots de ruedas

III PRUEBAS Y RESULTADOS

Las problemáticas que han surgido sobre la tecnología se basan en el:

Control/ tele operación y gestión de información de sistemas robóticos en campo

Las distintas soluciones que se han dado para esta problemática se basan en interfaces de realidad virtual (RV) e interfaces de realidad mixta (RM), donde las actividades que se realiza con cada realidad aportan en un ámbito específico de la problemática, puesto que en la RV se incluye un ambiente simulado para el operario donde solo necesita de los visores para poder simular una condición real con consecuencias reales pero controladas y sin exposición a ningún peligro gracias a los sensores de temperatura, sensores de proximidad, entre otros muchos sensores que permiten vivir un experiencia lo más real posible.

Por otra parte, se tiene que la RM la cual es una tendencia en el día de hoy puesto que presenta mayor control de simulaciones con respecto a la RV, en la RM no solo se puede visualizar el campo de acción sino también posee un ambiente propio lo más parecido al real donde se podrá sentir de mejor manera ya sea la superficie de trabajo, se tiene mayor control en herramientas.

Este tipo de herramientas un tanto futuristas se planea aplicar en los siguientes campos:

- Reconstrucción y análisis de entornos desconocidos (PC/ PC+term).
- Asistencia a equipos de rescate
- Asistencia a víctimas con equipos de comunicación, botiquines, entre otros.
- Identificación y localización de víctimas y rescatistas/ transeúntes/ (PC/ PC + term)

Estas aplicaciones permiten contribuir a la sociedad no solamente al área automotriz, sino también médica, mecatrónica, software, entre otras ramas de la ingeniería.

Este tipo de aplicaciones ayuda a reducir el peligro del trabajo a realizar ya sea por la dificultad del terreno, ya sea por temas de salud o distanciamiento, por temas de alto riego, entre otros.

IV CONCLUSIONES

El uso de sistemas embebidos, redes neuronales y robots específicos generan soluciones robustas a aplicaciones en entornos reales

Las tecnologías inmersivas RV/RM permiten gestionar sistemas robóticos altamente complejos, mediante interfaces e interacción con el entorno.

Los sensores específicos (lidar, cámaras térmicas) permiten generar aplicaciones robustas en entornos de desastre gracias a su principio de funcionamiento.

Los diferentes sistemas de locomoción (patas/orugas/antropomórficos) facilitan desplazamiento a lo largo de entornos no estructurales.

REFERENCIAS

- [1] Universidad de las Fuerzas Armadas [@Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga]. (03 de septiembre del 2021). II Congreso de ciencia y tecnología ESPE 2021 con enfoque en ingeniería automotriz y mecatrónica.
- [2] Reyes, B., Gómez-Rosero, S., Peralta- Zurita, D., Ronquillo, C., Flores, A., Pastas, J., & Karolys, B. (2018). Diseño de un agente robótico especializado en búsqueda de objetivo común basado en sistemas de robótica de enjambres. UTCiencia" Ciencia y Tecnología al servicio del pueblo", 5(1), 21-29.
- [3] Díaz Umaña, C., & Salas Laurens, S. M. (2017) DORA-E, Sistema robótico de búsqueda y navegación.
- [4] Cruz Ulloa, C., Prieto Sánchez, G., Cerro Giner, J. D., & Barrientos Cruz, A. (2022). Sistema robótico inteligente de exploración térmica para Misiones de búsqueda y restate.
- [5] Bermudez, G., Nova, K. S., & Infant, W. (2004). La robótica en actividades de búsqueda y restate urbano. Origen, actualidad y perspectivas. Tecnum, 8(15), 97-108.
- [6] Solís-Ortega, R. (2017). Enjambres de robots y sus aplicaciones en la exploración y comunicación. In Memorias de congresos TEC.
- [7] Vértiz-Hernández, J. A., Rodríguez- Salas, L., Vital-Ochoa, O., & Medina-Ibarra, D. I. Robot Móvil Autónomo y Tele operado. Circuitos y Sistemas Multidisciplinar Vol., 16.
- [8] Gutiérrez Castillo, V. A., & Salas Cárdenas, D. A. Diseño y simulación de arquitectura cuadrúpeda tipo canina utilizando sistema robótico modular mecabot.
- [9] Alcoba, M. S., & Muñoz, G. P. Comparación de Métodos de Búsqueda Robótica para apoyar al Desminado Humanitario Comparison of Robotic Search Methods to support Humanitarian Demining.
- [10] Girón, M., Molina, W., & Palacios, C. Y. Una Arquitectura de Agente Robótico Móvil para la Navegación y Mapeo de Entornos de Trabajo. para la búsqueda posterior a un sismo, y mitigación de incendios de baja escala.
- [11] Cruz, C., Cerro, J. D., & Barrientos, A. (2022). Robótica colaborativa de búsqueda y rescate, una clasificación basada en interacción física. In XLIII Jornadas de Automática (pp. 679-686). Universidade da Coruña. Servizo de Publicacións.

- [12] Laura Ramos, E. D. D. Y. (2020). robot de exploración, reconocimiento y ayuda en rescate humano.
- [13] Álvarez, F. R., Garzón, J. Á. M., Vargas, B. N. L., Ordóñez, M. A. L., & Godoy, J. D. F. (2021). sistemas inteligentes autónomos para ejecutar misiones de búsqueda y reconocimiento. Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería.
- [14] Martín García, R. (2021). Arquitectura para robots de búsqueda y rescate urbano mediante el uso de algoritmos de anti feromonas.
- [15] Abderrahim, M. Desarrollo de un sistema robótico de triaje rápido para situaciones de catástrofe
- [16] Bent, E., Shayler, P., La Rocca, A. (2011). The effectiveness of stop-start and thermal management measures to improve fuel economy. University of Nottingham.

Banco de pruebas de la bomba de inyección rotativa con mandos electrónicos en motores diésel

Test bench for rotary injection pump with electronic controls in diesel engines

Luis Antonio Mena Navarrete¹, Fernando Alulema Criollo¹

¹Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Departamento de Energía y Mecánica

Correspondencia Autores: lamena@espe.edu.ec¹

Recibido: 17 de agosto 2022, Publicado: 18 de diciembre de 2022

Resumen— El artículo aborda la transformación impulsada por el control electrónico en los motores diésel, enfocándose en la bomba de inyección rotativa VP44 como un hito significativo en esta evolución. Se profundiza en el diseño tanto mecánico como eléctrico de los bancos de pruebas, subrayando su papel fundamental en la evaluación del rendimiento y la seguridad de estas bombas. Asimismo, se ofrecen directrices esenciales para el mantenimiento adecuado y la seguridad durante la operación de estos sistemas, haciendo hincapié en la necesidad de medidas preventivas como el aislamiento de la corriente eléctrica y el uso de equipo de protección personal.

Palabras clave— Motor diésel, Control electrónico, Bomba de inyección, Diseño mecánico.

Resumen— The article addresses the electronic control-driven transformation in diesel engines, focusing on the VP44 rotary injection pump as a significant milestone in this evolution. It delves into both the mechanical and electrical design of test benches, highlighting their critical role in assessing the performance and safety of these pumps. It also provides essential guidelines for proper maintenance and safety during the operation of these systems, emphasizing the need for preventive measures such as isolation from electrical current and the use of personal protective equipment.

Keywords— Diesel engine, Electronic control, Injection pump, Mechanical design.

I INTRODUCCIÓN

En el contexto actual de la industria automotriz, la búsqueda constante de mejoras en el rendimiento y la eficiencia de los motores diésel ha llevado a una notable evolución en los sistemas de inyección de combustible. La introducción del control electrónico en estos motores ha sido un hito significativo en este proceso de transformación. Como señala Parera (2008), "El motor diésel es el elemento en el que más tarde se incorporó el

control electrónico dentro de las aplicaciones para vehículos". Este avance ha permitido a los fabricantes de vehículos no solo reducir las emisiones contaminantes, sino también mejorar la durabilidad y eficiencia de los motores diésel.

La bomba de inyección rotativa VP44, desarrollada por Bosch, ha sido un componente clave en esta evolución. Fabricada a partir de 1996, la VP44 marcó un cambio importante al permitir una regulación electrónica más precisa del proceso de inyección de combustible. Esta bomba, como señala Imperial (2010), incorpora un microcontrolador que optimiza el aprovechamiento del poder calorífico del diésel, resultando en un motor más silencioso y eficiente.

Además, la integración del control electrónico en el diseño de los bancos de pruebas para estas bombas ha sido fundamental para garantizar su rendimiento y seguridad. El diseño mecánico de estos bancos, junto con su circuito eléctrico, permite evaluar de manera precisa el funcionamiento de la bomba VP44 en condiciones reales, como se detalla en el trabajo de Mott (2006) y Shigley (octava edición).

En resumen, el control electrónico diésel (EDC) ha revolucionado la industria automotriz al ofrecer un sistema de inyección de combustible más eficiente y preciso. Este avance, representado por la bomba VP44 y los bancos de pruebas diseñados para su evaluación, demuestra el constante progreso en la ingeniería de sistemas de propulsión diésel

II MÉTODOS Y MATERIALES

En esta investigación, se emplearon diversos métodos y materiales para el estudio del control electrónico diésel

EDC y la bomba de inyección rotativa VP44 [1]. Para evaluar el funcionamiento de estos sistemas, se llevaron a cabo las siguientes actividades:

Se realizó un análisis exhaustivo del control electrónico diésel EDC, centrándose en su capacidad para regular la inyección de combustible en motores diesel [4]. Se estudiaron los principios de funcionamiento de este sistema, así como su aplicación en la optimización del rendimiento del motor, reducción de emisiones y mejora en la eficiencia del combustible.

Se examinaron las características técnicas y el diseño de la bomba de inyección rotativa VP44 fabricada por Bosch [5]. Esto incluyó la evaluación de sus componentes, su estructura interna y su capacidad para generar presiones de combustible adecuadas para la inyección en el motor.

Se llevó a cabo un análisis detallado de la unidad de control de la bomba VP44, destacando su funcionamiento como una computadora personal que procesa datos y calcula señales de salida [6]. Se estudiaron las características de su placa de circuitos impresos, su capacidad de respuesta en tiempo real y su adaptación al entorno de funcionamiento del vehículo.

Se desarrolló un diseño mecánico para un banco de pruebas de bomba de inyección rotativa VP44 [1], con el objetivo de simular condiciones reales de funcionamiento y evaluar el rendimiento de la bomba en diferentes situaciones. Se diseñaron componentes como el acople motor-bomba, el disco flexible del acople y la cámara de inyección.

Se diseñó un circuito eléctrico para el banco de pruebas, considerando los requisitos de funcionamiento y seguridad del equipo [2]. Se elaboraron diagramas de circuito para el control electrónico y la conexión de los componentes del banco de pruebas.

Finalmente, se establecieron parámetros de funcionamiento para el banco de pruebas [3], definiendo valores de RPM, tiempo y caudal de combustible para las pruebas experimentales. Estos parámetros se utilizaron como referencia para evaluar el rendimiento de la bomba de inyección VP44 en condiciones simuladas.

En cuanto a los materiales utilizados, se emplearon herramientas de análisis y diseño asistido por computadora, así como equipos de medición y pruebas de laboratorio [4]. Además, se utilizaron componentes electrónicos y mecánicos específicos para la construcción

del banco de pruebas y la implementación del sistema de control electrónico.

III PRUEBAS Y RESULTADOS

La bomba de émbolos radiales VP44 Figura 1 se introdujo en el mercado a principios de 1996, fabricada en la planta de Feuerbach en Alemania. En el año 2001, Bosch lanzó una versión mejorada de la VP44, diseñada para operar tanto con una tensión de red de 12 voltios como opcionalmente con 24 voltios, lo que la hace adecuada para una variedad de aplicaciones en vehículos ligeros e industriales. Esta bomba se distingue fácilmente por su conector de 9 pines en la parte posterior, que conecta las salidas de combustible a las cañerías, y por la presencia de un microcontrolador en la parte superior. Este microcontrolador contribuyó a optimizar el rendimiento de la bomba al aprovechar de manera más eficiente el poder calorífico del diesel. Aunque la bomba utiliza un sistema de comunicación CAN BUS, aún activa inyectores mecánicos, lo que la convierte en una opción versátil y eficiente para sistemas de inyección de combustible diésel [4].



Figura 1.- Bomba rotativa VP44

Para la instalación de un sistema de inyección diesel con una bomba VP44, es imperativo contar con dos unidades de control: una para regular el motor y otra para controlar la bomba. Estas unidades son esenciales para evitar el sobrecalentamiento de ciertos componentes electrónicos y para prevenir la interferencia de señales parásitas, que pueden surgir debido a corrientes elevadas en la bomba de inyección. Mientras la unidad de control de la bomba registra y procesa las señales de los sensores internos relacionados con el ángulo de rotación y la temperatura del combustible para determinar el momento óptimo de inyección [5].

La unidad de control del motor asume la responsabilidad de procesar todos los datos provenientes del motor, incluyendo las señales de una variedad de sensores externos. Estos sensores pueden abarcar desde los sensores de presión absoluta del colector (MAP), caudalímetro de masa de aire (MAF), posición del acelerador (TPS), hasta sondas lambda, sensores de golpeteo y de temperatura del refrigerante, entre otros. Además de estas señales, la unidad de control del motor también interactúa con los actuadores y el sistema CAM BUS, facilitando así el intercambio y evaluación de datos críticos para la inyección de combustible [1].

El sistema de alimentación de las bombas VP44 se divide en dos componentes principales: el sistema de baja presión y el sistema de alta presión. Estos sistemas trabajan en conjunto para garantizar un suministro de combustible óptimo a la bomba de inyección, permitiendo así un funcionamiento eficiente y preciso del motor diésel [4].

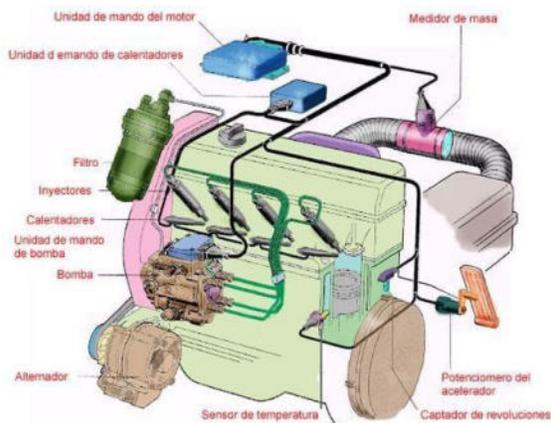


Figura. 2.- Sensores y actuadores de la bomba VP 44

La unidad de control de la bomba VP44 en los vehículos opera inicialmente como una computadora personal, encargada de la lectura y cálculo de señales de salida. En su núcleo, reside una placa de circuito impreso con un microcontrolador, fabricado con técnicas de microelectrónica. Sin embargo, esta unidad debe cumplir con exigencias adicionales, tales como la capacidad de operar en tiempo real, la seguridad de servicio y la adaptación al entorno circundante [5].

En términos de capacidad en tiempo real, la unidad de control debe satisfacer las demandas de respuesta rápida de la regulación. Debe ajustarse al ritmo del proceso físico, como las RPM del motor, para garantizar un funcionamiento eficiente [4].

Para adaptarse al espacio y peso dentro del vehículo, se emplean técnicas como la técnica multicapas, que dispone redes de conductores impresos en varias capas, y componentes SMD, que se montan en la superficie de la placa sin conexiones de paso ni taladros. Además, se utilizan ASIC, componentes integrados diseñados especialmente para reunir múltiples funciones. La seguridad de servicio se logra mediante un proceso de cálculo redundante y diagnóstico integrado, proporcionando una gran fiabilidad contra anomalías [6].

La influencia del ambiente en el funcionamiento electrónico se aborda considerando parámetros como la temperatura, la compatibilidad electromagnética, la resistencia a las vibraciones y la estanqueidad. Las unidades de control deben resistir temperaturas de servicio continuo desde -40°C hasta 60°C, con casos extremos alcanzando hasta 125°C. Además, deben estar protegidas contra interferencias electromagnéticas y soportar hasta 30 veces la aceleración terrestre debido a vibraciones. La resistencia a la humedad, líquidos químicos y niebla salina también se considera crucial para su funcionamiento [6].

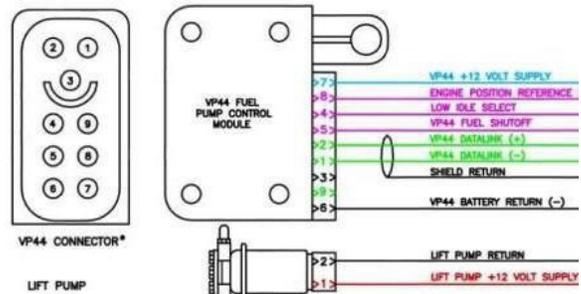


Figura 3.- Puerto de conexión del módulo de control

El diseño mecánico del banco de pruebas para la bomba de inyección rotativa VP44 con mandos electrónicos en motores diesel se desarrolló con el objetivo de cumplir con los requisitos de funcionalidad y seguridad necesarios para este tipo de equipos. Se partió de un modelo preliminar de los componentes mecánicos, los cuales fueron optimizados durante la etapa de cálculo hasta llegar al diseño definitivo presentado en este capítulo [7].

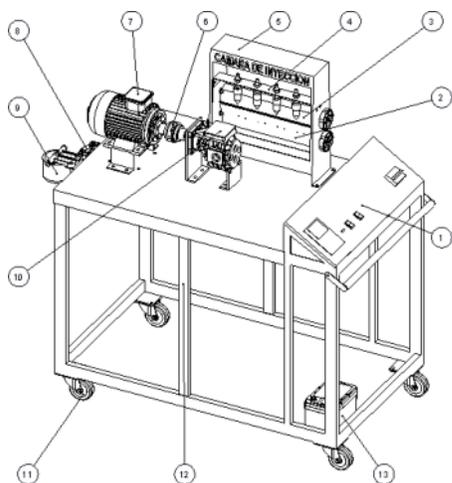


Figura 4.- Componentes del Banco de Pruebas

La Figura 4 muestra los principales componentes que forman parte del banco de pruebas, incluyendo el tablero de control, la placa para soporte de las probetas, la placa para bloqueo de los inyectores, la placa de soporte de los inyectores, la cámara de inyección, el acople entre la bomba y el motor, el motor de corriente alterna, filtros como el Racor y el de combustible, la bomba de inyección, ruedas para movilidad, la estructura de soporte del banco y la batería [6].

Los principales parámetros de diseño fueron determinados considerando las especificaciones técnicas de equipos similares en el mercado y los recursos económicos disponibles. Estos parámetros incluyen la potencia del motor de corriente alterna (3 hp), la velocidad nominal de giro del motor (1750 rpm), el tipo de bomba rotativa de inyección (Bosch VP 44), el número de inyectores en la cámara (4) y un factor de seguridad mínimo requerido de 3 [3].

El diseño del acople entre el motor y la bomba de inyección es crucial para transmitir el torque del motor a la bomba sin deformaciones. Este elemento debe ser capaz de soportar el torque generado por el motor sin sufrir daños [1].



Figura 5.- Modelo del Acople Motor – Bomba

DISEÑO DEL DISCO FLEXIBLE DEL ACOPLE

El disco flexible del acople se instala entre los elementos del acople motor-bomba y tiene la función de mantener sellado el conjunto y permitir cierto grado de desalineación entre el eje del motor y la bomba. Debe ser capaz de soportar el torque transmitido por el motor [2].

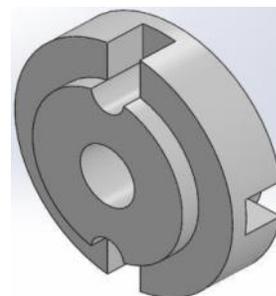


Figura 6.- Modelo del disco flexible

La cámara de inyección consta de varios elementos mecánicos que sostienen y manipulan tanto los inyectores como las probetas donde se inyecta el diesel. Por lo tanto, el bastidor de la cámara debe soportar el peso de estos componentes y las cargas generadas durante el proceso de inyección [6].

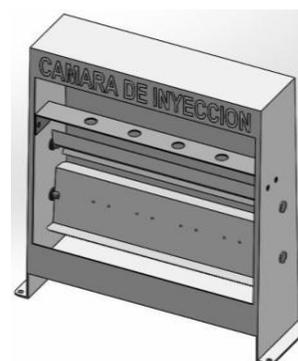


Figura 7.- Modelo ensamblado de la Cámara de Inyección

Luego que se ha revisado todos los aspectos principales para dar el arranque al banco de pruebas se debe de tomar en cuenta lo siguiente: la bomba debe funcionar en estado real, esto quiere decir que trabaja con un mínimo y un máximo de RPM las cuales van dadas por el accionamiento del motor eléctrico, teniendo en cuenta los siguientes valores como referencia en la toma de medida en las probetas y los valores de presión en el manómetro.

Tabla 1.- Parámetros de funcionamiento

	RPM	TIEMPO	CAUDAL
	500	30 SEGUNDOS	15 CC
	750	30 SEGUNDOS	24 CC
	1.000	30 SEGUNDOS	30 CC
	1.250	30 SEGUNDOS	36 CC

IV CONCLUSIONES

Los bancos de pruebas diseñados mecánica y eléctricamente juegan un papel fundamental en la evaluación del rendimiento y la seguridad de las bombas de inyección VP44, proporcionando un entorno controlado para pruebas exhaustivas.

El diseño mecánico del acople entre el motor y la bomba, así como del disco flexible del acople, son elementos críticos para garantizar la transmisión de torque sin deformaciones y mantener el sellado adecuado entre los componentes.

La unidad de control de la bomba VP44, actuando como una computadora personal, desempeña un papel clave en la optimización del proceso de inyección de combustible, asegurando una respuesta rápida y precisa en tiempo real.

La integración del control electrónico en los bancos de pruebas, junto con consideraciones de seguridad como el aislamiento eléctrico y el uso de equipo de protección personal, garantiza la realización de pruebas seguras y confiables.

Los parámetros de funcionamiento establecidos para el banco de pruebas proporcionan una referencia clara para evaluar el rendimiento de la bomba VP44 en condiciones simuladas, contribuyendo a la mejora continua de estos sistemas de inyección de combustible.

Es importante seguir refinando los diseños mecánicos y eléctricos de los bancos de pruebas para garantizar su capacidad para simular condiciones reales de funcionamiento y proporcionar resultados precisos y confiables.

Investigar nuevas técnicas de diseño y fabricación para mejorar la resistencia y durabilidad de los componentes mecánicos y electrónicos utilizados en los sistemas de inyección de combustible diésel.

Establecer estándares de seguridad más estrictos para la manipulación de sistemas de inyección de combustible, especialmente cuando se trabaja con unidades de control y bancos de pruebas que involucran corrientes eléctricas

REFERENCIAS

- [1] R. L. Mott, "Diseño de Elementos de Máquinas", Pearson Educación, México, 2006.
- [2] J. E. Shigley, "Diseño en Ingeniería Mecánica", Octava Edición.
- [3] R. Mott, "Diseño de Elementos de Máquina", Cuarta Edición.
- [4] A. Marti Parera, "Inyección Electrónica en Motores Diesel", España, 2008.
- [5] J. Miralles de Imperial, "Bombas de Inyección Diesel", España, 2010.
- [6] M. Alulema, F. Mena, G. Cruz, "Diseño y Construcción de un Banco de Pruebas de la Bomba de Inyección Rotativa con Mandos Electrónicos en Motores Diesel (Chevrolet D-Max)", 2013.
- [7] F. M. Alulema Criollo, "Construcción de un banco de pruebas de la bomba de inyección rotativa con mandos electrónicos en motores diesel (Chevrolet D-Max 3.0)", 2013.

Mecatrónica y sostenibilidad

Mechatronics and sustainability

Andrea Córdova Cruzatty ¹

Arizona State University / acordova@asu.edu

Correspondencia Autores: acordova@asu.edu

Recibido: 9 de marzo 2022, Publicado: 18 de diciembre de 2022

Resumen— La sostenibilidad permite satisfacer cada una de las necesidades que se generan en la actualidad sin comprometer a ningún entorno que lo rodea, considerando que no debe afectar las necesidades de generaciones futuras, de esta manera se trata de garantizar un equilibrio en el crecimiento económico, con respeto al medio ambiente y bienestar social, de esta manera se trata de mantener condiciones para que el humano y la naturaleza puedan vivir en equilibrio. Aprovechando también el uso de la energía, que es un factor que favorece en primera instancia al cambio climático que representa una gran cantidad de emisiones mundiales de gases de efecto invernadero. Para la reducción de la huella de carbono, se pretende implementar acciones como la descarbonización y la electrificación, las cuales permitirán generar una transición hacia la no dependencia de combustibles fósiles, y con esto lograr reducir la contaminación del medio ambiente y prevenir las consecuencias generadas por el uso desmedido de las mismas

Palabras clave— Sostenibilidad, tecnologías, energía, equilibrio, emisiones, entorno

Abstract— Sustainability allows to satisfy each of the needs that are generated today without compromising any surrounding environment, considering that it should not affect the needs of future generations, in this way it is to ensure a balance in economic growth, with respect for the environment and social welfare, in this way it is to maintain conditions so that humans and nature can live in balance. Also taking advantage of the use of energy, which is a factor that primarily favors climate change that represents a large amount of global emissions of greenhouse gases. In order to reduce the carbon footprint, we intend to implement actions such as decarbonization and electrification, which will allow us to generate a transition towards non-dependence on fossil fuels, thus reducing environmental pollution and preventing the consequences generated by the excessive use of fossil fuels.

Keywords— Sustainability, technologies, energy, balance, balance, emissions, environment.

I INTRODUCCIÓN

Los conceptos de sostenibilidad y desarrollo sostenible se inspeccionan desde la perspectiva sistémica. Que detalla en manera u sentido más general, la sostenibilidad de un sistema puede ser representado mediante una función no decreciente de valuación de las salidas o productos del sistema que se analizó o simplemente que no es de interés. [7]

[1] protege la salud de los seres humanos, el medio ambiente y los recursos naturales. Previene y controla la contaminación del aire y el agua mediante el desarrollo de estándares para la calidad del aire y las emisiones de automóviles, programas para asegurar la limpieza del agua e información sobre la salud ambiental.

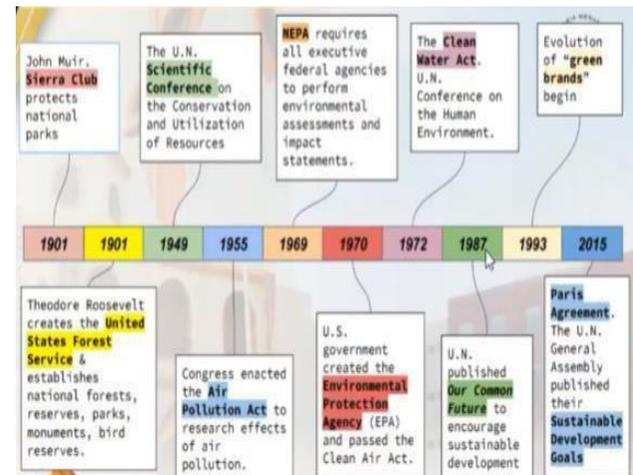


Figura 1. Historia de la sostenibilidad.

Además, los sistemas energéticos del futuro deben ser también resilientes al cambio climático. Por mucho que seamos capaces de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero drásticamente, nuestras sociedades experimentarán y de hecho ya lo están haciendo las consecuencias del cambio climático inevitable. En el caso del sector energético, esto supondrá básicamente menor

disponibilidad de agua para producir energía hidráulica, y también para refrigerar centrales térmicas. [10]

CAMBIO CLIMATICO, SUSTENTABILIDAD Y ENERGIA

[5] El cambio climático es una preocupación cada vez mayor, tanto para gobiernos, como para empresas y particulares. Este fenómeno ha tenido un impacto en el uso de las energías renovables, ya que son una de las claves principales para paliar los efectos del calentamiento global.

La utilización de energías inagotables ha sido un tema cada vez más habitual en las últimas décadas por 2 motivos:

- Que los recursos no renovables, como el petróleo o el carbón, son cada vez más escasos.
- Que el uso de esos recursos no renovables produce una contaminación directa y efectos nocivos en la salud.

PERSPECTIVA MULTINIVEL

A. La perspectiva multinivel de la tecnología

La perspectiva multinivel (MLP) ha surgido como un fructífero marco de rango medio para analizar las transiciones socio técnicas hacia la sostenibilidad. La perspectiva multinivel (MLP) es una teoría de rango medio que conceptualiza los patrones dinámicos generales en las transiciones socio técnicas.

El marco analítico combina conceptos de la economía evolutiva (trayectorias, regímenes, nichos, especiación, dependencia del camino, rutinas), estudios de ciencia y tecnología (creación de sentido, redes sociales, innovación como un proceso social formado por contextos sociales más amplios), teoría de la estructuración y teoría neo institucional (reglas e instituciones como 'estructuras profundas' en las que los actores informados se basan en sus acciones, dualidad de estructura, es decir, las estructuras son tanto el contexto como el resultado de las acciones, 'reglas del juego' que estructuran las acciones). Estos micro supuestos teóricos se han articulado en otros lugares [8]

B. Transiciones a la sostenibilidad

Los problemas ambientales contemporáneos, como el cambio climático, la pérdida de biodiversidad y el agotamiento de los recursos (agua limpia, petróleo, bosques, poblaciones de peces, etc.) presentan desafíos sociales formidables.

Abordar estos problemas requiere mejoras de factor 10 o más en el desempeño ambiental que solo pueden

lograrse mediante cambios estructurales profundos en el transporte, la energía, la agroalimentación y otros sistemas [3]

Estos cambios sistémicos a menudo se denominan "transiciones socio técnicas", porque implican alteraciones en la configuración general de los sistemas de transporte, energía y agroalimentación, que implican tecnología, políticas, mercados, prácticas de consumo, infraestructura, significado cultural y conocimiento científico. [13]

C. Etapas de la evolución de la tecnología.

Para evaluar las diferentes tecnologías y verificar si estas son viables y van a ser adoptadas masivamente por la sociedad, estas deben pasar por un análisis mediante la fig. 1 que es una perspectiva multinivel que cuenta con cuatro etapas dentro de las cuales se verá el análisis de la evolución de la tecnología a lo largo del tiempo hasta que logre llegar a un nivel masivo de adopción. [14]

II MÉTODOS Y MATERIALES

Fase 1.

Dentro de esta fase se verificará si funciona o no está tecnología en la sociedad, en si es un prototipo de la tecnología en la cual se podrá ver si este es apto para su aceptación.

- Fase 2

Aquí se verificará si esta tecnología funciona en ciertas condiciones tanto en ámbitos políticos como sociales, esta fase es un punto crítico ya que se decidirá si esta avanza, retrocede o simplemente es descartada para su implementación.

- Fase 3

Esta fase es la de adopción temprana, dentro de esta solo un limitado número de personas podrá hacerse con esta tecnología, gente que cuente con los recursos necesario para poder desarrollar de manera adecuada la tecnología, por lo general se implementa primero en países desarrollados y que cuenten con los recursos suficientes y necesarios para mantenerla.

- Fase 4

Si la tecnología llega a esta fase, quiere decir que ya contó con una adopción masiva, que todas las personas la aceptaron y están dispuestas a implementarlas, cabe recalcar que la aceptación no solo es por parte del usuario o consumidor, sino que también debe tener una aceptación política, gubernamental, entre otros.

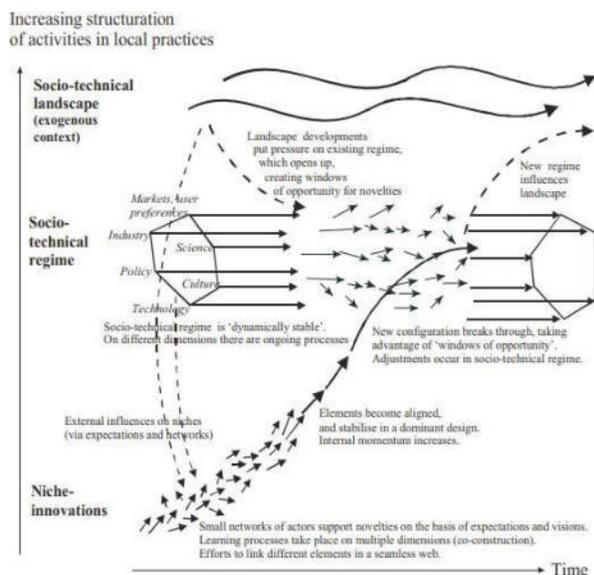


Figura 2. Perspectiva multinivel en transición.

REDUCCIÓN HUELLA DE CARBONO

A. Descarbonización

Descarbonizar es un término empleado en estos últimos años de manera cada vez más un alto nivel de descarbonización, al poder llegar solamente a conseguir niveles del entorno al 60 por 100 de reducción de emisiones de los GEI en 205. [11]

B. Electrificación

La electrificación representa acciones que buscan frenar el ritmo del calentamiento global, donde los gobiernos y las empresas de todo el mundo se han comprometido a reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático, con el fin de alcanzar la neutralidad de carbono hasta el año 2050. Para alcanzar estos objetivos es necesario realizar una transición energética para abandonar los combustibles fósiles tradicionales, como el carbón, el petróleo y el gas, y pasar a las fuentes de energía renovables, como la solar, la eólica, la hidráulica y la geotérmica.

Dentro de este proceso de transición y reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero también es necesario el cambio de las máquinas, los transportes y los procesos industriales que actualmente funcionan con combustibles fósiles, para que de esta manera sean capaces de funcionar con electricidad.

Solo cuando la electrificación se realice con energía generada a partir de fuentes 100 % renovables se convertirá en una herramienta esencial para llevar a cabo

la transición energética, permitir la descarbonización del consumo final y contribuir al objetivo del desarrollo sostenible. [4]

C. Estrategias para lograr una transición a carbono neutro

- Reemplazo de combustibles fósiles Incentiva el empleo de otro tipo de fuentes de energías, tales como el viento, energía solar,

eléctrica para tratar en lo más posible de reducir el consumo de los combustibles fósiles tradicionales utilizados en su mayoría actualmente.

- Incrementar eficiencia energética En este caso lo que se busca es tratar de lograr mediante la utilización de diferentes tipos de tecnología o un proceso de producción más eficientes para reducir las pérdidas de energía que se pueden generar.

- Transportación

El transporte en la mayoría de países se moviliza mediante la utilización de combustibles fósiles, pero lo que se pretende es que esto cambie mediante el incremento de vehículos eléctricos, los cuales son más amigables con el ambiente.

Para impulsar la transición climática es preciso aplicar políticas regulatorias, fiscales, sociales y estructurales que incentiven y favorezcan los cambios necesarios en el modelo productivo. Entre esas políticas se pueden incluir aquellas medidas orientadas a que los agentes contaminantes internalicen las externalidades de sus emisiones de carbono, como los impuestos sobre el carbono o los sistemas de comercio de emisiones. [2]

D. Ley de Cambio Climático

La Estrategia de Transición Justa pretende dinamizar las oportunidades laborales y económicas surgidas a raíz de la transición, así como, paliar los efectos sociales negativos de la misma. Estos impactos negativos se refieren entre otras cosas a las consecuencias que tendrá para el empleo y el tejido social y empresarial de zonas vulnerables afectadas por la desinversión en productos de origen fósil promovida, cuando no impuesta, por la ley. [12]

E. Posible combinación tipo de vehículo- fuente de combustible

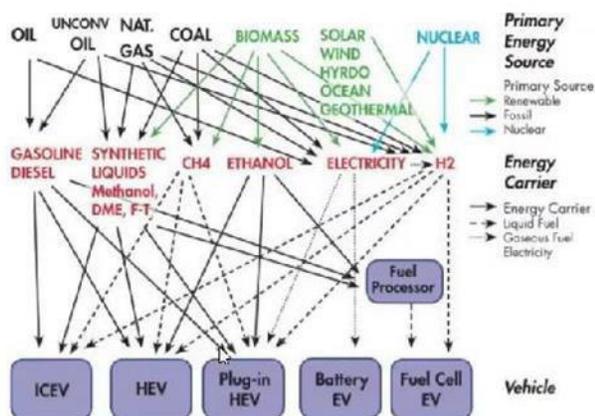


Figura 3. Posible combinación tipo de vehículo- fuente de combustible

Una variedad de combinaciones de vehículos y fuentes de combustible son posibles para satisfacer nuestras necesidades en el ámbito del transporte. De la imagen se puede evidenciar las posibles rutas de combustible/vehículo que se pueden tomar, donde consta que las fuentes de energía primaria se encuentran en la parte superior, los portadores de energía (combustibles) en el medio y las opciones del vehículo en la parte inferior.

III PRUEBAS Y RESULTADOS

Sostenibilidad del transporte

La sostenibilidad en el ámbito de la transportación puede lograrse mediante la solución de las siguientes problemáticas que inciden de alguna u otra manera en la contaminación y desequilibrio del medio, entre las principales problemáticas tenemos:

- Disminución de reservas de petróleo
- Cambio climático
- Calidad del aire y agua
- Impacto a la salud
- Trafico
- Ruido

En la actualidad la movilidad de personas y bienes representa el 20% del total de la energía primaria consumida a nivel mundial, y es responsable por una cuarta parte de las emisiones de CO2 relacionadas con el consumo de energía. El petróleo es el principal combustible utilizado en el sector del transporte. [9].

CONCLUSIONES

En base a este estudio no es recomendable la electrificación del transporte en una sociedad que aun usa fuentes

de energía de origen fósil para la creación de electricidad, ya que en parte la electrificación ayudaría a reducir la huella de carbono en el ambiente, pero esta aumentaría, ya que incrementaría la demanda energética y esta a su vez aumentaría la utilización de combustibles fósiles para la creación de energía eléctrica, por lo cual primero se debería realizar una des carbonización de las fuentes energéticas para poder pensar en la electrificación del transporte. Las especificaciones de los motores eléctricos, nos permitió determinar ciertas características tales como el número de polos, la frecuencia, la eficiencia y el voltaje adecuado de operación de las máquinas.

En la actualidad el Ecuador estaría en la capacidad de cambiar su matriz energética, debido a que cuenta con muchos recursos naturales para poder lograrlo, sin embargo, no cuenta con los recursos económicos suficientes para poder lograrlo de una manera satisfactoria, debido a esto se tendría una transición energética que duraría un largo periodo de tiempo, pero con resultados muy satisfactorios para el Ecuador.

También se considera viable la implementación de la energía nuclear en el Ecuador, ya que está a comparación de otras energías no deja una gran huella de carbono en el ambiente, cabe recalcar que solo sería una solución temporal de alrededor de unos 20 o 25 años hasta que las tecnologías actuales se terminen de desarrollar y puedan implementarse de una manera fácil en nuestro país.

En el ámbito de la transportación la estrategia de una futura electrificación a los vehículos mediante la utilización de los vehículos eléctricos en el sector transporte permitiría una reducción del consumo de combustibles fósiles nacional, como son la gasolina y diésel, con esto también, se podría bajar las importaciones de gasolina, que representan un enorme gasto más aun que en nuestro país existe un subsidio de la misma que no se encuentra focalizado.

REFERENCIAS

[1] Agencia de Protección Ambiental, E. (2020). USA GOV. (EPA) Recuperado el 2022, de <https://www.usa.gov/espanol/agencias-federales/agencia-de-proteccion-ambiental-de-estados-unidos>.

[2] Dormido, L. (2022). El cambio climático y la Sostenibilidad del crecimiento: iniciativas internacionales y Políticas europeas. Banco de España Eurosistemas, 40.

[3] Elzen, B. (2015). Sistema de innovación y transición a la sostenibilidad: teoría, evidencia y política. SciELO, 4-8.

[4] ENEL. (10 de 2022). ENEL CORPORATION.

Obtenido de <https://corporate.enelx.com/es/question-and-answers/what-is-electrification>

[5] Enérgya-VM. (2019). ¿Cómo afecta el cambio climático al uso de las energías renovables? Obtenido de <https://www.energyvm.es/como-afecta-el-cambio-climatico-al-uso-de-las-energias-renovables/>

[6] Gallardo, L. (10 de 2022). Center for Climate and Resilience Research . Obtenido de <https://www.cr2.cl/que-es-la-descarbonizacion/>

[7] Gallop, G. C. (2003). Sostenibilidad y desarrollo sostenible: un enfoque sistémico. CEPAL. Retrieved from <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/5763.LC/L.1864-P>.

[8] Geels, F. (2011). La perspectiva multinivel sobre las transiciones de sostenibilidad: Respuestas a siete críticas. ScienceDirect, 3-5.

[9] Kreuzer, F. (2014). Eficiencia energética y movilidad en América Latina y el Caribe. Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

[10] Linares, P. (2018). La transición energética. Ambienta, 20-31.

[11] Marqués, J. (2020). La descarbonización de la industria retos y oportunidades. EVE - Ente Vasco de Energía, 70.

[12] Muñoz, Á. (2022). La desinversión en combustibles fósiles y la ley de cambio climático y transición energética: una oportunidad para las empresas sostenibles. España: Comillas Universidad Pontificia.

[13] Perez, D. (2017). Ciencia de la Sostenibilidad: ¿Una nueva disciplina o un nuevo enfoque para todas las disciplinas? Educación ambiental, 7-8.

[14] Vilches, A. (2015). Ciencia de la Sostenibilidad. Eureka, 436-438.

[15] Yascaribay, C. (2016). Determinación del consumo de combustible de vehículos en base a los ciclos de conducción EPA FTP75 y EPA HWFET en dinamómetro de chasis. 1-7.

[16] Universidad de las Fuerzas Armadas [@Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga]. (03 de septiembre del 2021). II Congreso de ciencia y tecnología ESPE 2021 con enfoque en ingeniería automotriz y mecatrónica.

Programación de los mapas de inyección de combustible y de encendido para mejorar el desempeño del motor kawasaki zx-6r.

Programming the fuel injection and ignition maps to improve the performance of the kawasaki zx-6r engine.

Byron Buitrón García¹, Daniel Narváez Téran²
ASIAUTO – KIA DEL ECUADOR¹, IMBAUTO - HYUNDAI DEL ECUADOR²

Correspondencia Autores: gbuitron@asiauto.com.ec, daniel.narvaez@imbauto.com

Recibido: 10 de septiembre 2022, Publicado: 18 de diciembre de 2022

Resumen— La investigación tiene como objetivo presentar información experimental relevante acerca del mapeo electrónico de inyección de combustible y encendido, considera los parámetros, característicos del motor que permiten realizar, la modificación de los valores de las tablas para un mejor desempeño del motor Kawasaki ZX-6R. Se establece los cálculos pertinentes para la selección de los valores a usar en los diferentes regímenes de operación del motor. Se realiza las modificaciones para una protección de la unidad de potencia para el arranque en frío y un limitador de revoluciones en altas temperaturas para evitar daños irreversibles.

Palabras clave— Mapeo electrónico, tablas de inyección, protección al motor

Abstract— The research aims to present relevant experimental information about the electronic fuel injection and ignition mapping, considers the parameters, characteristic of the engine that allow the modification of the values of the tables for a better performance of the Kawasaki ZX-6R engine. The pertinent calculations for the selection of the values to use in the different regimes of operation of the engine are established. The modifications are made for a protection of the power unit for the cold start and a rev limiter in high temperatures to avoid irreversible damages

Keywords— Electronic mapping, injection tables, motor protection.

I INTRODUCCIÓN

En base a la investigación sobre hardware especializado para programación del control electrónico, se ha seleccionado como mejor opción a la unidad programable MegaSquirt II.

Megasquirt-2 tiene un amplio conjunto de opciones y características, pero puede requerir personalización por parte del usuario final dependiendo de la aplicación. MS2

es principalmente una configuración de combustible la cual posee dos bancos principales de inyectores que están controlados directamente [1].



Figura 1. MegaSquirt II

En la referencia [1] menciona el modo de combustible por bancos permitirá un control de 4 inyectores y un máximo de 6 bobinas una por cilindro.

MegaSquirt-II tiene un procesador más rápido en relación a MegaSquirt-I, con una mejor resolución de pulso de inyección y varias funciones adicionales (como un control de encendido, un controlador IAC y salidas de repuesto configurables por el usuario para cosas como control de ventilador o luces de cambio). MegaSquirt-II es una pequeña ECU que posee un procesador MC9S12C64 con una frecuencia de funcionamiento de 24 MHz mucho más potente que la MegaSquirt-I.

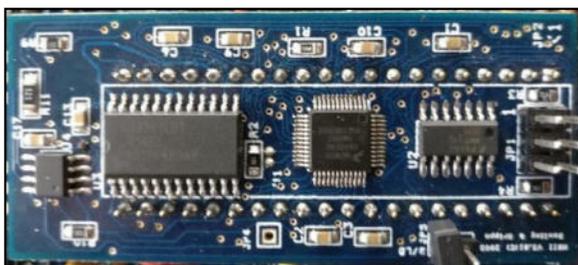


Figura 2. Procesador MegaSquirt-II (MC9S12C64)

II MÉTODOS Y MATERIALES

La interfaz de ajuste usa un software TunerStudioMS para controlar todas las variables en tiempo real.

En la pantalla principal de la interfaz gráfica están campos que son de suma importancia para permitir que el motor pueda funcionar, lee la información a su vez alterar dicha datos y modificar los mapas de inyección de combustible y avance al encendido, así como ciertos valores que permitan modificar el rendimiento y eficiencia del motor.

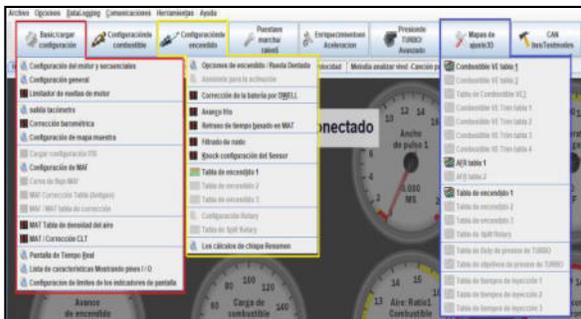


Figura 3. Ventana principal de TunerStudioMS.

Uno de estos campos es configuración básica encerrado de color rojo en donde encontramos los seteos básicos como las características del motor, cilindrada, número de cilindro, numero de inyectores, limitador de RPM.

En el recuadro verde está la configuración del encendido, en donde podemos establecer los valores de: número de dientes de la rueda fónica para la señal del sensor CKP, corrección de arranque en frío, tabla 2D de avance al encendido.

En el recuadro de color azul encontramos lo que son los mapas tridimensionales de control de combustible, AFR (relación mezcla aire/combustible) y el mapa de avance al encendido.

La tabla de inyección de combustible mostrada en la figura 4, está distribuida por una cuadrícula en donde en

el eje "X" tenemos el régimen de giro del motor (RPM) y en el eje "Y" la carga del motor (apertura de la mariposa de aceleración); cuyos valores pueden ser alterados dependiendo la necesidad y el criterio del programador.

RPM \ Throttle	0.0	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0	80.0	90.0	100.0
1000	51	52	52	53	54	56	57	59	61	64	68
1500	51	52	52	53	54	56	57	59	61	64	68
2000	51	52	52	53	54	56	57	59	61	64	68
2500	51	52	52	53	54	56	57	59	61	64	68
3000	51	52	52	53	54	56	57	59	61	64	68
3500	51	52	52	53	54	56	57	59	61	64	68
4000	51	52	52	53	54	56	57	59	61	64	68
4500	51	52	52	53	54	56	57	59	61	64	68
5000	51	52	52	53	54	56	57	59	61	64	68
5500	51	52	52	53	54	56	57	59	61	64	68
6000	51	52	52	53	54	56	57	59	61	64	68
6500	51	52	52	53	54	56	57	59	61	64	68
7000	51	52	52	53	54	56	57	59	61	64	68
7500	51	52	52	53	54	56	57	59	61	64	68
8000	51	52	52	53	54	56	57	59	61	64	68
8500	51	52	52	53	54	56	57	59	61	64	68
9000	51	52	52	53	54	56	57	59	61	64	68
9500	51	52	52	53	54	56	57	59	61	64	68
10000	51	52	52	53	54	56	57	59	61	64	68
10500	51	52	52	53	54	56	57	59	61	64	68
11000	51	52	52	53	54	56	57	59	61	64	68
11500	51	52	52	53	54	56	57	59	61	64	68
12000	51	52	52	53	54	56	57	59	61	64	68
12500	51	52	52	53	54	56	57	59	61	64	68
13000	51	52	52	53	54	56	57	59	61	64	68
13500	51	52	52	53	54	56	57	59	61	64	68
14000	51	52	52	53	54	56	57	59	61	64	68
14500	51	52	52	53	54	56	57	59	61	64	68
15000	51	52	52	53	54	56	57	59	61	64	68

Figura 4. Tabla de control de la inyección.

Dependiendo de los valores presentes en la tabla de inyección de combustible, variará el desempeño del motor a diferentes regímenes de giro, cuyo mapa se basa en las RPM del motor, conformación de la depresión de la carga del motor y la cantidad de combustible inyectado pudiendo tener lo expuesto en la figura 5.

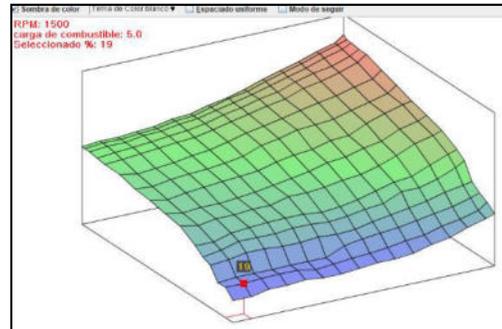


Figura 5. Mapa tridimensional de control de la inyección.

En la figura 6 podemos observar otra de las opciones que el software permite modificar, la tabla del control del avance al encendido, al igual que en el control de la inyección la variación dependerá de la necesidad del programador.

100.0	15.9	17.3	19.9	23.2	28.2	34.3	35.1	35.0	34.6	33.0	33.2	32.2		
90.0	15.4	17.4	19.5	23.7	28.7	35.0	35.4	35.1	34.5	33.6	34.4	33.5		
80.0	15.7	17.7	20.0	24.4	29.9	35.9	35.9	35.9	35.3	35.0	35.8	35.6		
70.0	16.3	18.4	20.3	24.8	30.1	36.3	36.8	36.7	36.2	35.7	35.6	35.3		
60.0	16.6	18.6	20.5	25.6	30.8	36.7	37.0	37.1	36.9	36.5	36.2	35.9		
50.0	16.3	18.7	20.8	26.6	31.6	37.5	37.1	37.1	37.1	36.9	36.9	36.6		
45.0	16.1	18.6	20.7	26.8	31.8	37.2	37.1	37.1	36.8	36.8	36.9	36.8		
40.0	16.2	18.5	20.6	27.2	31.7	37.4	36.9	36.7	36.4	36.4	36.7	36.6		
35.0	16.5	18.8	21.0	26.8	30.6	36.4	36.3	36.1	36.1	35.9	35.9	35.9		
30.0	16.2	18.7	21.0	25.9	30.1	32.2	32.9	32.8	32.8	33.3	33.3	33.3		
25.0	15.9	18.2	19.4	24.3	27.7	30.1	31.7	32.3	32.8	33.3	33.3	33.3		
20.1	14.5	16.6	18.6	21.2	23.9	26.6	29.8	31.6	32.3	32.6	32.7	32.7		
L	701	900	1100	1500	2000	2600	4000	8000	11000	13000	15000			

Figura 6. Tabla de encendido (avance de la chispa).

El mapa de encendido está conformado de la misma manera: régimen de giro VS apertura de la mariposa de aceleración, solo que ahora se basa en los grados de avance al encendido, lo cual podemos observar en la figura 7.

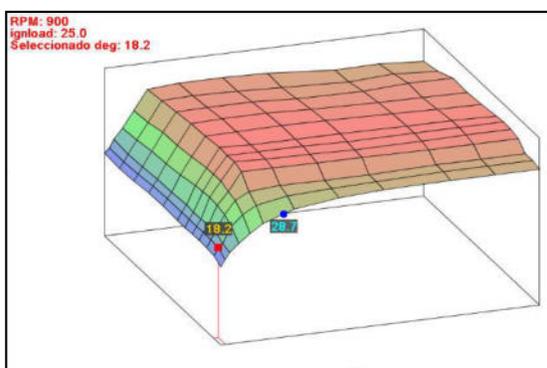


Figura 7. Mapa cartográfico encendido (avance de la chispa).

Para modificar los parámetros las tablas poseen ciertas opciones para realizar dichas modificaciones.



Figura 8. Controles para control y modificación de tablas.

1. Exportar datos de la tabla.
2. Importar datos de la tabla.
3. Igualar el valor de una selección de celdas.
4. Aumentar el valor de la celda.
5. Disminuir el valor de la celda.
6. Disminuir el valor de celdas marcadas en un valor seleccionado.
7. Aumentar el valor de celdas marcadas en un valor seleccionado.

8. Multiplicar el valor de celdas marcadas en un valor seleccionado.

2. Cálculos

La investigación considera varios cálculos para ingresar como datos en el software necesarios para la programación.

Definir el cálculo de la masa de aire.

$$G_o = V_{cil} * \rho_{aire} \quad (1)$$

Donde.

V_{cil} = Volumen del cilindro

ρ_{aire} = Densidad del aire (1.2254 Kg/m^3)

Se tomó en consideración el valor de la densidad en condiciones normales: 25°C y 0 msnm un valor de 1.2254 Kg/m^3 . El desarrollo de la investigación se la realizó en la ciudad de Latacunga por lo que debemos considerar que existe una variación en el valor de la densidad de aire, con ello a 17°C y 2750 msnm la densidad será de 0.93481 Kg/m^3 .

Condiciones ideales de densidad de aire

$$G_o = (0.1498 \times 10^{-3} \text{ m}^3)(1.225 \text{ Kg/m}^3)$$

$$G_o = 0.1835 \times 10^{-3} \text{ Kg}$$

Condiciones reales de densidad de aire.

$$G_1 = V_{cil} * \rho_{aire \text{ latacunga}}$$

$$G_1 = (0.1498 \times 10^{-3} \text{ m}^3)(0.93481 \text{ Kg/m}^3)$$

$$G_1 = 0.14007 \times 10^{-3} \text{ Kg}$$

El coeficiente de llenado del cilindro (rendimiento volumétrico)

$$n_v = \frac{G_1}{G_o} * 100 \quad (2)$$

$$n_v = \frac{G_1}{G_o} * 100$$

$$n_v = \frac{0.14007 \times 10^{-3}}{0.1835 \times 10^{-3}} * 100$$

$$n_v = 76.33 \%$$

Velocidad de flujo de entrada de aire

Cálculo en condiciones ideales

$$V_f = \frac{V_{cil} * \rho_{aire} * RPM}{2} \quad (3)$$

$$V_f = \frac{V_{cil} * \rho_{aire} * RPM}{2}$$

$$V_f = \frac{0.1835 \times 10^{-3} \text{ Kg} * 6000 \text{ RPM}}{2}$$

$$V_f = 0.5505 \text{ Kg/min}$$

Cálculo en condiciones reales

$$V_f = \frac{V_{cil} * \rho_{aire} * RPM}{2}$$

$$V_f = \frac{0.14007 \times 10^{-3} \text{ Kg} * 6000 \text{ RPM}}{2}$$

$$V_f = 0.42021 \text{ Kg/min}$$

El cálculo de la masa de combustible:

$$B = \frac{V_f}{AFR * RPM} \quad (4)$$

Donde:

V_f = Velocidad de flujo de entrada de aire

AFR = Relación (aire/combustible)

RPM = Revoluciones del motor

El valor de la mezcla aire/combustible se la tomo de las pruebas realizadas en el dinamómetro de rodillos en donde se utilizó la ECU de fábrica del motor Kawasaki, tomando un valor de 11.21 a las 6000 RPM.

$$B = \frac{V_f}{AFR * RPM}$$

$$B = \frac{0.4201 \text{ Kg/min}}{11.21 * 6000 \text{ rev/min}}$$

$$B = 6.246 \times 10^{-6} \text{ Kg}$$

Mediante la reprogramación del control electrónico de la inyección de combustible se modificó mediante el software TunerStudioMS, realizando pruebas teniendo los siguientes resultados.

$$B = \frac{V_f}{AFR * RPM}$$

$$B = \frac{0.4201 \text{ Kg/min}}{11.5 * 6000 \text{ rev/min}}$$

$$B = 6.088 \times 10^{-6} \text{ Kg}$$

$$B = \frac{V_f}{AFR * RPM}$$

$$B = \frac{0.4201 \text{ Kg/min}}{12.00 * 6000 \text{ rev/min}}$$

$$B = 5.835 \times 10^{-6} \text{ Kg}$$

$$B = \frac{V_f}{AFR * RPM}$$

$$B = \frac{0.4201 \text{ Kg/min}}{12.7 * 6000 \text{ rev/min}}$$

$$B = 5.5131 \times 10^{-6} \text{ Kg}$$

Para obtener la mayor eficiencia de consumo de combustible se optó por una relación aire/combustible de 12.7 a las 6000 RPM, teniendo en cuenta que no se puede hacer uso de una mezcla aire/combustible demasiado pobre ya que dicha mezcla puede producir daños irreversibles en el motor, valor de RPM en donde el vehículo va a realizar las pruebas dinámicas.

III PRUEBAS Y RESULTADOS

Al finalizar con las configuraciones con los datos básicos del motor, rueda fónica y de los inyectores, podemos encender el motor. [1] Para empezar con la programación partimos de los mapas de inyección de combustible y de encendido.

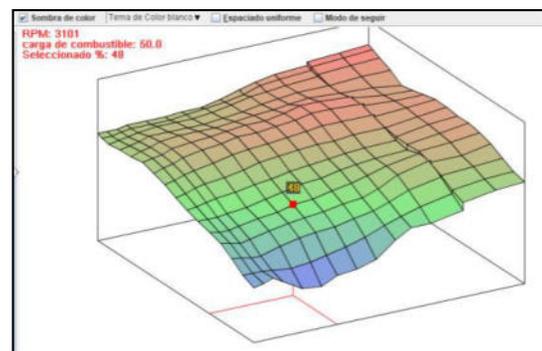


Figura 8. Mapa 3D de inyección inicial

En la figura 8 podemos observar el primer mapa 3D de inyección con el que se parte para modificar, es un mapa muy irregular en el cual tenemos muchos parámetros elevados o incorrectos, que no ayudan a que el motor sea completamente funcional.



Figura 9. Tabla de inyección inicial

En la figura 9 claramente vemos los datos de carga de combustible en las diferentes condiciones de apertura de la mariposa y rpm, se nota claramente que la mayoría de la tabla tiene un color rojo, que nos indica que se está inyectando más combustible en esos puntos específicos.

Se empieza a usar los cálculos de masa de combustible que vamos a necesitar variando la relación aire combustible y ver cuál es el dato más óptimo a usar.

El motor originalmente usa una relación de 11,5 en promedio, por lo que se opta por usar una relación 12,7 para la mayoría de la tabla, el resultado que tenemos es un mapa tridimensional mucho más estable y completamente funcional, como se observa en la figura 10.

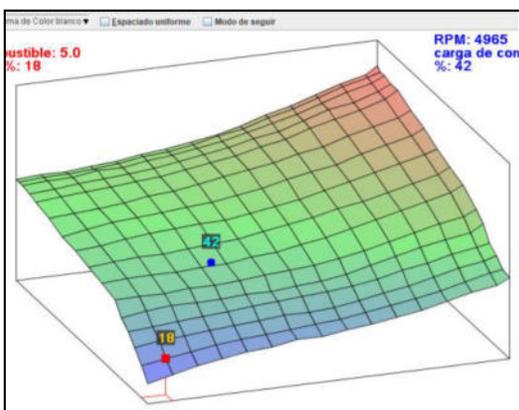


Figura 10. Mapa tridimensional de inyección final

En la figura 10 podemos observar la inyección de combustible según la apertura de la mariposa y las revoluciones del motor, se puede verificar que aumenta gradualmente la inyección de combustible.

Obteniendo una mezcla un poco pobre en la sección de desaceleración y ralentí, y aumentando la carga de combustible en altas revoluciones y un porcentaje alto de la apertura de la mariposa.

La línea de las revoluciones como se puede ver en la figura 11 se modificó desde 500 rpm hasta un máximo de 15000 rpm puesto que el motor tiene un tacómetro con un máximo de 20000 rpm, se trabajó hasta ese rango por motivos de seguridad.

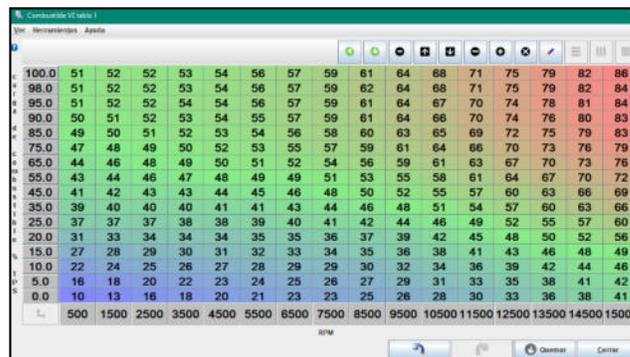


Figura 11. Tabla de inyección final

El mapa tridimensional de avance de encendido, se puede visualizar que en la zona de ralentí se necesita un ángulo menor para que el motor se encuentre estable, mientras que al momento de incrementar las revoluciones por minuto del motor necesita un ángulo de avance de encendido mayor para lograr una combustión completa.

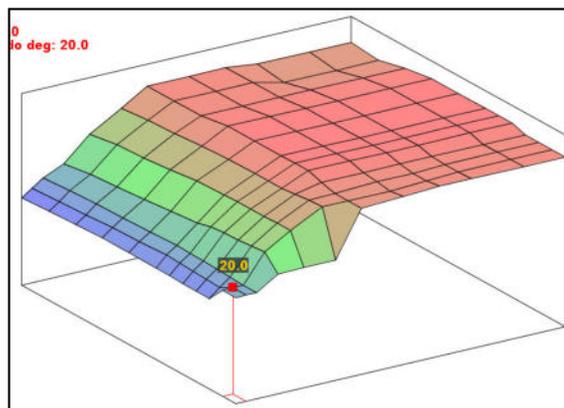


Figura 12. Mapa tridimensional de encendido inicial

Para obtener el mapa final de encendido que nos entregue el mejor desempeño del motor Kawasaki ZX-6R, se empieza a variar los ángulos de encendido en este aumentándolos, para evitar la detonación de esta manera obtener la combustión completa, como se muestra en la figura 13.

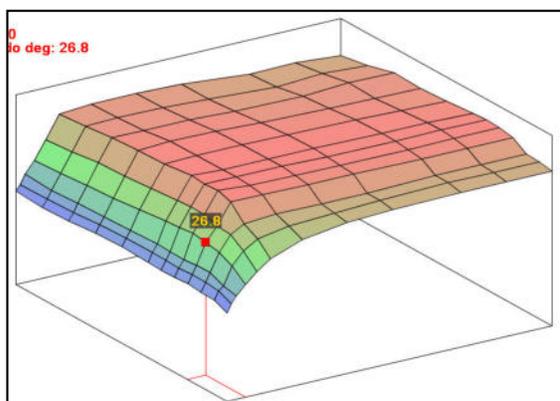


Figura 13. Mapa tridimensional de encendido final.

En la figura 13 a partir de las 2600 rpm y un 35% de apertura se mantienen los ángulos un poco estables, realizar los cambios de estos valores se vuelven un poco molestos si se los realiza en el mapa 3D porque nos deja modificar un valor a la vez.

En la figura 14 la tabla de encendido la cual facilita un poco al modificar estos valores, nos permite modificar los valores en grupos a nuestra necesidad.

rpm	100.0	15.9	17.3	19.9	23.2	28.2	34.3	35.1	35.0	34.6	33.0	33.2	32.2
90.0	15.4	17.4	19.5	23.7	28.7	35.0	35.4	35.1	34.5	33.6	34.4	33.5	
80.0	15.7	17.7	20.0	24.4	29.9	35.9	35.9	35.9	35.3	35.0	35.8	35.6	
70.0	16.3	18.4	20.3	24.8	30.1	36.3	36.8	36.7	36.2	35.7	35.6	35.3	
60.0	16.6	18.6	20.5	25.6	30.8	36.7	37.0	37.1	36.9	36.5	36.2	35.9	
50.0	16.3	18.7	20.8	26.6	31.6	37.5	37.1	37.1	37.1	36.9	36.9	36.6	
45.0	16.1	18.6	20.7	26.8	31.8	37.2	37.1	37.1	36.8	36.8	36.9	36.6	
40.0	16.2	18.5	20.6	27.2	31.7	37.4	36.9	36.7	36.4	36.4	36.7	36.6	
35.0	16.5	18.8	21.0	26.8	30.6	36.4	36.3	36.1	36.1	35.9	35.9	35.9	
30.0	16.2	18.7	21.0	25.9	30.1	32.2	32.9	32.8	32.8	33.3	33.3	33.3	
25.0	15.9	18.2	19.4	24.3	27.7	30.1	31.7	32.3	32.8	33.3	33.3	33.3	
20.1	14.5	16.6	18.6	21.2	23.9	26.6	29.8	31.6	32.3	32.6	32.7	32.7	
	L	701	900	1100	1500	2000	2600	4000	6000	8000	11000	13000	15000

Figura 14. Mapa tridimensional de encendido final.

Como se puede ver en esta tabla de avance de encendido también debemos modificar los valores en los que vamos a trabajar la tabla, nuestro caso modificamos el eje de las rpm de motor y así poder realizar un mejor afinamiento de la unidad de potencia.

Al finalizar con la modificación de los mapas de inyección de combustible y de avance al encendido, se puede realizar modificaciones de curvas que nos ayudan a proteger al motor de daños irreversibles.

El avance en frío es una de las opciones que nos permite modificar el TunerStudio en la configuración de encendido, el cual nos permite modificar por medio de un mapa en 2D, permitiendo el avance de la chispa de encendido durante la fase de calentamiento del motor, o

su a vez retrasar la chispa de encendido en altas temperaturas.

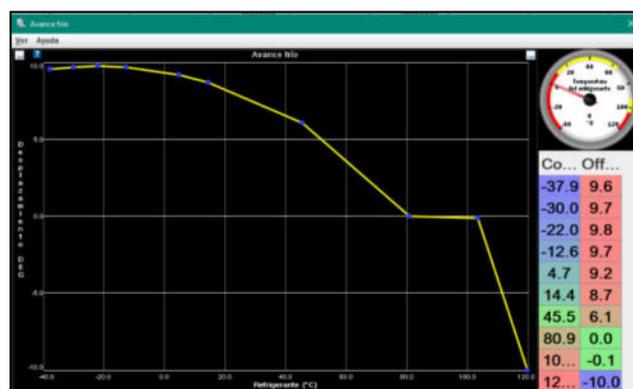


Figura 15. Tabla de avance en frío.

Una de las configuraciones básicas del motor en el limitador de revoluciones en el cual impide que el motor llegue a regímenes de giro sumamente altos que puedan causar daños irreversibles al motor.

En la misma ventana se puede hacer uso de un limitador de revoluciones dependiendo de la temperatura del refrigerante en donde se pueden especificar diferentes límites de giro para evitar que el motor en frío se acelere excesivamente y contar con una protección para el motor cuando este llegue a temperaturas elevadas.

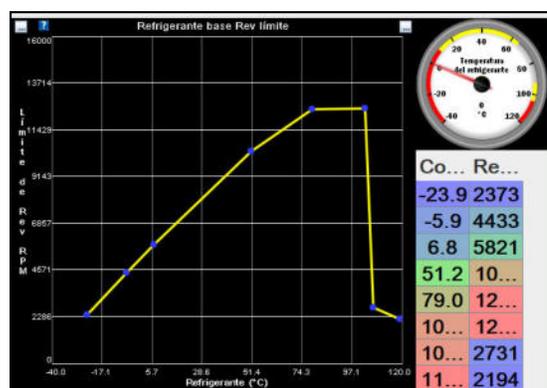


Figura 16. Limitador de revoluciones.

IV CONCLUSIONES

Finalizado el desarrollo del presente artículo de investigación, se pone en consideración las siguientes conclusiones con el propósito de que se constituyan en un referente y fuente de consulta por parte de profesionales relacionados al área.

Las aplicaciones electrónicas cada vez más revolucionan el mercado automotriz, en esta ocasión el mapeo de control electrónico de los motores.

Es posible que a través de investigaciones e innovaciones sencillas como de la tratada, ir a la par con el desarrollo tecnológico de la industria automotriz generando fuentes de trabajo para personas relacionadas con el sector automotriz.

Se seleccionó la unidad programable MegaSquirt II y el software TunerStudio MS disponibles en el mercado y a su vez compatibles con la unidad de potencia utilizada en la investigación.

Se calculó los parámetros necesarios los cuales fueron ingresados al software dedicado para el previo arranque del motor.

La investigación permitió obtener los mapas de inyección de combustible y encendido para el óptimo desempeño del motor Kawasaki ZX-6R

Se implementó protecciones al motor ajustando valores de avance en frío y limitador de revoluciones.

Con las variaciones de los mapas de inyección de combustible y el avance al encendido se puede obtener varios beneficios según sean las necesidades, como: reducción de consumo de combustible, disminución de gases contaminantes, sin alterar el desempeño del motor; o a su vez aumentando el combustible elevar los parámetros de torque y potencia significativamente

REFERENCIAS

- [1] MegaSquirt. (2018). DIY Kits: MegaSquirt 2. Obtenido de MegaSquirt: <http://megasquirt.info/products/diy-kits/ms2/>
- [2] MegaSquirt. (31 de 01 de 2018). Preguntas frecuentes MegaSquirt. Obtenido de MegaSquirt: <http://www.megamanual.com/MSFAQ.htm>
- [3] EFI ANALYTICS. (18 de 01 de 2018). EFI Analytics Software Downloads. Obtenido de EFI ANALYTICS: <http://www.tunerstudio.com/index.php/>
- [4] Fidalgo, R. (26 de 11 de 2014). Cómo reprogramar tu motor. Obtenido de Autocasión: <https://www.autocasion.com/actualidad/reportajes/como-reprogramar-tu-motor>
- [5] García, G. M. (2012). Mapeo de inyección y encendido. Obtenido de Prueba de ruta: <https://www.pruebaderuta.com/mapeo-de-inyeccion-y-encendido.php>
- [6] MIDWEST MegaSquirt. (2018). MegaSquirt-I Programmable EFI System PCB2.2 - Assembled Unit. Obtenido de MIDWEST MegaSquirt: <https://www.midwestmegasquirt.com/products/meg>

asquirt-i-programmable-efi-system-pcb2-2-assembled-unit

- [7] Banish, G. (2007). Engine Management: Advanced Tuning. . North Branch: CarTech.
- [8] Cavalieri, S., Di Stefano, A., & Mirabella, O. (1996). Mapping automotive process control on IEC/ISA FieldBus functionalities. ScienceDirect, 233-250.
- [10] Fidalgo, R. (26 de 11 de 2014). Cómo reprogramar tu motor. Obtenido de Autocasión: <https://www.autocasion.com/actualidad/reportajes/como-reprogramar-tu-motor>
- [11]B. G. Buitrón García and D. M. Narváez Téran, " Mapeo del control electrónico del motor Kawasaki ZX-6R del vehículo Formula Student Sae para reducción de consumo de combustible y emisiones de gases contaminantes," Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga. Carrera de Ingeniería Automotriz, 2018.
- [12] G. C. A. Q. L. M. L. Q. J. Z. D. S. D. Erazo, «Influence of using specialized software in the automotive industry to boost internal combustion engines,» *XII Jornadas Iberoamericanas de Ingeniería de Software e Ingeniería del Conocimiento*, vol. 1, pp. 255 - 265, 2017.

Simulación del proceso de implementación del sistema de propulsión eléctrica de movimiento en vehículos automotores.

Simulation of the implementation process of the electric motion propulsion system in motor vehicles.

José Quiroz Erazo ¹, Juan Carlos Cando Gutiérrez ¹, Marlon Fabricio Cayo Chiguano ¹.
¹ Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Correspondencia Autores: jliquiroz@espe.edu.ec; jccando5@espe.edu.ec; mfcayo1@espe.edu.ec

Recibido: 20 de agosto 2022, Publicado: 18 de diciembre de 2022

Resumen— La investigación considera la modelación y simulación del proceso de selección del kit para de sistema de propulsión eléctrica de movimiento en vehículos automotores mediante el uso de software especializado en la industria automotriz. Con el crecimiento del parque automotor se vienen incorporando diversos vehículos eléctricos motivados por reducir el efecto invernadero a causa de la emisión de gases producidos por los vehículos de combustión interna, sin embargo, los vehículos eléctricos son relativamente costosos por lo que la conversión de vehículos de combustión se convierte en una opción viable y se basa en la utilización de las tres “R” (Reducir, Reutilizar, Reciclar). La modelación y simulación se realizó en función a la dinámica del vehículo, los factores de estudio fueron determinar el kit de conversión para una autonomía de 200 km, en un vehículo que cumpla con los parámetros de 1000 - 2000cc con un peso menor o igual a 3.5 toneladas.

Palabras clave—. Conversión, autonomía, vehículo eléctrico, efecto invernadero.

Abstract— This research focuses on creating a model and simulation to select the appropriate kit for the electric propulsion system in automotive vehicles. The aim is to reduce the emission of greenhouse gases by converting combustion vehicles into electric vehicles. The study is based on the principles of the three "R's" (Reduce, Reuse, Recycle) and uses specialized software in the automotive industry. The modeling and simulation are based on vehicle dynamics and focus on finding the best conversion kit for vehicles with a weight less than or equal to 3.5 tons and an engine capacity of 1000-2000cc. The goal is to achieve a range of 200 km with the selected kit. This research contributes to the growth of the electric vehicle fleet and aims to make electric vehicle conversion a viable option for reducing environmental impact.

Keywords—. Conversion, autonomy, electric vehicle, greenhouse effect.

I INTRODUCCIÓN

Con el transcurso de los años la tecnología ha ido evolucionando en el campo automotriz con el objetivo de reducir la emisión de gases contaminantes, lo que llevo a la creación de los vehículos eléctricos.

Existen vehículos que se denominan clásicos por su año de fabricación anteriores al año 2000 los mismos que poseen un sistema de carburador y al no tener un sistema que ayude a reducir y contribuir con la contaminación ambiental, está afectando continuamente a nuestro ecosistema por tal motivo existe una solución de conservar al vehículo con la implementación de un kit de conversión eléctrico y así se le dará una nueva oportunidad de conservar estos vehículos y mejorar nuestro ecosistema.

El Ecuador siendo un país con gran capacidad energética y poseer distintas hidroeléctricas, nos proyecta a un futuro en que los vehículos eléctricos serán muy rentables en el mercado del país, por lo que se presenta una alternativa al convertir un vehículo convencional a eléctrico, dependiendo de las necesidades de funcionamiento que está expuesto el vehículo. Al tener un vehículo eléctrico brinda un mayor confort de conducción, además ayuda a economizar el costo de mantenimiento de este, su consumo de combustible es menor relacionado al consumo de un vehículo convencional y es amigable con el medio ambiente.

La aplicación de nuevas tecnologías en la industria automotriz, permite optimizar y reducir costos de prueba y error de nuevos diseños en prototipos de vehículos eléctricos que se quieran introducir en el mercado automotriz.

II MÉTODOS Y MATERIALES

El vehículo Suzuki forsa I, de cuatro tiempos, tres cilíndrico Fig. 1, las especificaciones técnicas del vehículo están detalladas en la tabla 1, obtenidas de manual del fabricante.



Fig. 1. Suzuki forsa I.

Tabla 1. Ficha técnica del Suzuki forsa I.

Denominación	Valor
Cilindraje	1000cc.
Motor	Motor cuatro tiempos tres cilindros.
Potencia	36 KW/48 HP.
Peso	620-750 Kg
Potencia R.P.M.	36 KW / 5100 rpm.
Momento de giro R.P.M.	77 Nm / 3200 rpm.
Combustible.	Súper.
Relación de caja	1. 3.41 2. 1.85 3. 1.28 4. 1.09 5. 0.75
Relación diferencial	4.1
Altura	1.35 m
Ancho	1.55 m
Distancia entre ejes	2.25 m

Forward-facing vehicle model

Los modelos orientados hacia adelante proporcionan información sobre la capacidad de conducción del modelo del vehículo, y captura los límites del sistema físico. También facilita el desarrollo y la implementación del control en los sistemas HIL [1] [2]. Sin embargo, con la presencia de múltiples ecuaciones de estado en un modelo típico orientado hacia adelante, la velocidad del vehículo (y posteriormente la velocidad angular del tren de transmisión) se calcula a través de la integración de

múltiples estados, lo que resulta en la necesidad de correr La simulación en pasos de tiempo más pequeños. Esto da como resultado tiempos de simulación más largos en comparación con el modelo orientado hacia atrás como se en la Fig. 2.

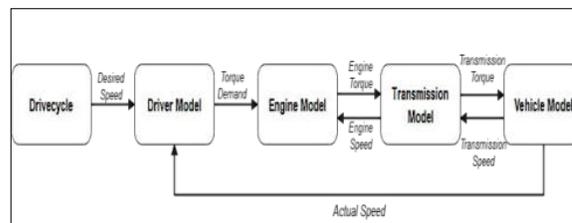


Fig. 2. Forward-facing vehicle model

Backward-facing vehicle model

Los modelos orientados hacia atrás se basan en mapas de eficiencia que se crearon en base a datos de par y velocidad, y que generalmente se producen durante las pruebas del mundo real en estado estacionario [3] [4]. Esto hace que el cálculo sea relativamente más simple que los modelos orientados hacia adelante esencialmente tablas de búsqueda en lugar de ecuaciones de estado) y, por lo tanto, puede ejecutarse en pasos de tiempo relativamente más largos como se ve en la Fig. 3.

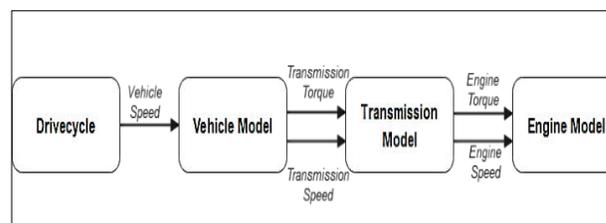


Fig. 3. Backward-facing vehicle model

Dinámica del vehículo.

Una forma de entender la dinámica de un sistema es mediante un modelo matemático abstracto, el cual es a través de la aplicación de leyes físicas que rigen su comportamiento [5] [6], el vehículo en pendiente tendrá que cumplir con la segunda Ley de Newton que plantea que la sumatoria de fuerzas en el eje x, es igual a la masa del cuerpo en movimiento por aceleración que el vehículo eléctrico tenga como se ve en la Fig. 4.

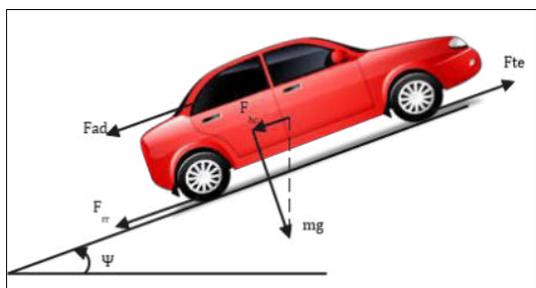


Fig. 4. Diagrama de la dinámica del vehículo

$$F_{ad} = \frac{1}{2} \rho * A * C_d * v^2 \quad Ec. 1$$

$$F_{rr} = \mu_{rr} * m * g * \cos \Psi \quad Ec. 2$$

$$F_{hc} = m * g * \sin \Psi \quad Ec. 3$$

$$F_{nt} = Y_m * m * a \quad Ec. 4$$

$$Y_m = 1,04 + 0,0025 * (\epsilon_{caja} * \epsilon_{Dif})^2 \quad Ec. 5$$

$$F_{te} = F_{ad} + F_{rr} + F_{hc} + F_{nt} \quad Ec. 6$$

Donde:

- F_{ad} : Fuerza aerodinámica. [N]
- ρ : densidad del aire [kg/m³]
- A : área frontal del vehículo. [m²]
- C_d : Coeficiente aerodinámico.
- V : Velocidad del vehículo. [m/s]
- F_{rr} : Fuerza de arrastre [N]
- μ_{rr} : Coeficiente de fricción a la rodadura.
- m : Masa total [m]
- g : Gravedad [m/s²]
- Ψ : Ángulo de la pendiente [rad]
- F_{hc} : Fuerza en pendiente [N]
- F_{nt} : Fuerza neta [N]
- Y_m : Factor de masa
- a : Aceleración del vehículo. [m/s²]
- ϵ_{caja} : Relación de transmisión de la caja de cambios
- ϵ_{Dif} : Relación de transmisión del diferencial
- F_{te} : Fuerza de tracción

La tabla 2 muestra los valores calculados, necesarios para poder realizar la simulación.

Tabla 2. Valores calculados.

Fuerza	Valor
Aerodinámica	$F_{ad} = 92,90$ [N]
Arrastre	$F_{rr} = 225,63$ [N]
En Pendiente	$F_{hc} = 1720,45$ [N]
Factor de masa	$Y_m = 1,1456$
Neta	$F_{nt} = 0$ [N]
Fuerza de Tracción	$F_{te} = 3038,98$ [N]

Ciclo de conducción NEDC.

Significa New European Driving Cycle. Es el ciclo de homologación que supera cualquier coche que se pone a la venta en el viejo continente. [7] Este ciclo es el que determina el consumo urbano, extraurbano y mixto como se ve en la Fig. 5.

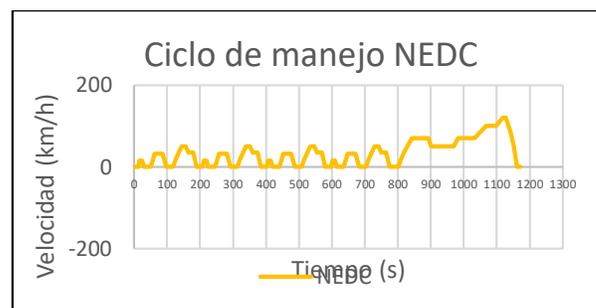


Fig. 5. Ciclo de conducción NEDC

Simulación.

Se presenta la simulación del vehículo eléctrico en el software [8] manejando las ecuaciones de estado planteadas anteriormente, acerca de la dinámica del vehículo. La simulación consta de tres partes:

- Simulación del ciclo de conducción NEDC.
- Simulación de la dinámica del vehículo.
- Simulación de la batería.

Una vez encontrados, definidos las características que poseerá la simulación se realiza el diseño que se muestra en la Fig. 6.

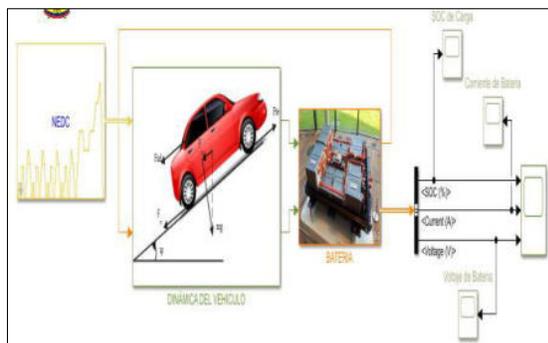


Fig. 6. Simulación.

III PRUEBAS Y RESULTADOS

La fuerza de tracción fue calculada en base a nuestro ciclo de conducción, como se tiene entendido el ciclo de conducción tiene variaciones de velocidad como de aceleraciones, es por ello que el software nos arroja segundo a segundo la fuerza necesaria para que el vehículo se desplace a distintas condiciones de velocidad, se está simulando que el recorrido cuenta con una pendiente del 15,30% como se muestra en la Fig. 7.

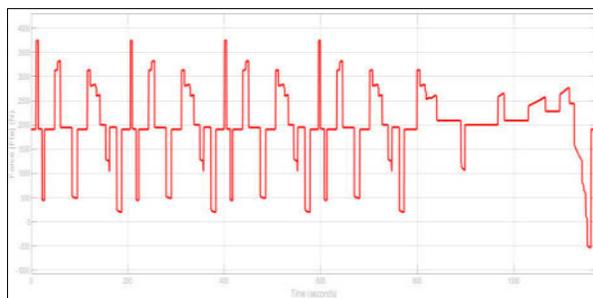


Fig. 7. Fuerza de tracción.

3.1. Simulación potencia eléctrica.

Considerando que la potencia es la velocidad a la que se consume la energía [9], la simulación determina los valores necesarios del motor, para que el vehículo logre superar una pendiente de un determinado porcentaje, considerando diferentes condiciones de velocidad Fig. 8.

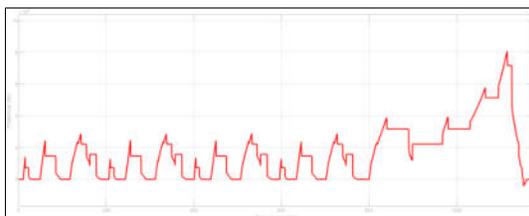


Fig. 8. Potencia eléctrica.

Calculo de la energía.

La cantidad de energía que se necesita está liada con la distancia que se desea recorrer, la simulación entrega un valor de energía al cabo de un ciclo de conducción [10]. Se desea que el vehículo debe recorrer una distancia de 200 Km que es igual a 18,17 ciclos NEDC, para lo cual se procede a realizar una regla de tres Fig. 9.

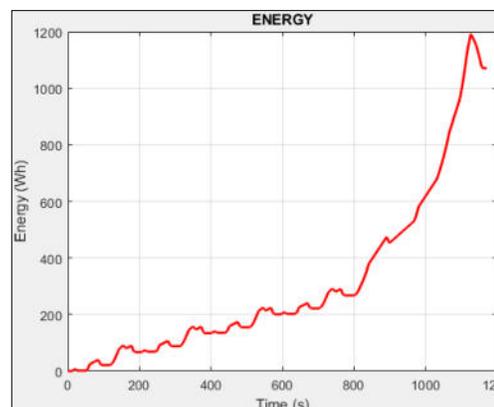


Fig. 9. Energía.

Datos:

Energía = 1,07 kWh

Ciclos = 1

X=Autonomía

$$X = \frac{1,07 \text{ kWh}}{1 \text{ ciclos}} \cdot \frac{X}{18,17 \text{ ciclos}} = \frac{18,17 \text{ ciclos} * 1,07 \text{ kWh}}{1 \text{ ciclos}}$$

$$X = 19,44 \text{ kWh}$$

3.2. Simulación del estado de carga de la batería.

El estado de carga es equivalente al indicador de combustible, el SOC [11] se utiliza para saber la situación actual de una batería en uso Fig. 10.

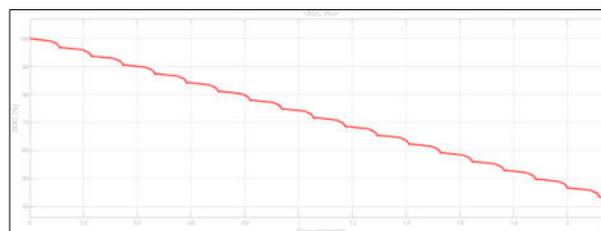


Fig. 10. SOC.

En la Fig. 8, se muestra la descarga de la batería de Ion-Litio de alto voltaje con respecto al tiempo [11], esta gráfica nos indica el estado de carga que dispone la

batería expresada en porcentaje al final del recorrido del vehículo. El vehículo logró cumplir la autonomía de 200 km restando un 43,02 % de la carga de batería.

Selección del kit de conversión eléctrico.

De acuerdo a los datos calculados por ecuaciones de la dinámica del vehículo y por medio del programa [12], se logró obtener la potencia eléctrica necesaria para vencer la inercia en una pendiente de 15,43% es de 51,36 kW a una velocidad de 100 km en su carga máxima por lo tanto se debe escoger un motor eléctrico mayor o igual a la potencia eléctrica mencionada. A continuación, se procede a seleccionar el motor Motenergy ME1002 que tiene una potencia eléctrica de 63 kW.

En la selección del controlador se debe tomar en consideración el voltaje de accionamiento del motor eléctrico especificado anteriormente en este caso el voltaje del motor es de 96 - 144 voltios DC por lo tanto se necesita un controlador que cumpla con esta característica. A continuación, se procede a seleccionar el controlador Curtis – 1231c que trabaja con voltajes que van desde los 96 voltios hasta los 144 voltios.

La selección del convertidor DC/DC se realiza mediante el voltaje de funcionamiento de las baterías de alta tensión y al voltaje al que se lo quiere reducir en este caso se selecciona el convertidor Elcon que recibe un voltaje de entrada de 116 voltios y los transforma a 12-13,4 voltios.

El cargador a bordo seleccionado de la marca ThunderStruck-TCM 2500 posee 3,1 kW de potencia de salida.

Análisis con el nuevo peso.

Considerando que el nuevo kit de conversión dispone de varios elementos que son considerados como un aumento de masa para el vehículo, se procede a realizar la suma de estos y realizar una nueva simulación para verificar si existe una variación en la autonomía y potencia eléctrica [14].

El peso vehicular tomado para la primera simulación incluyó el peso del motor de combustión interna y el tanque de combustible lleno, por lo tanto, se restan esos pesos.

Datos:

W= Peso del vehículo

wm= Peso de motor

wt= Peso de tanque de combustible

$$W = W - w_t - w_m$$

$$W = 690 [kg] - 26,35[kg] - 60,1[kg]$$

$$W = 603,55 [kg]$$

Se procede a calcular el nuevo valor de masa del vehículo sumando el peso del kit Tabla 3.

Tabla 3. Valores de masa del Kit de conversión.

Descripción	Masa [Kg]
Vehículo	603,55
Motor eléctrico	86,18
Convertidor DC/DC	2,26
Controlador	4,5
Cargador a bordo	1,80
Batería de alto voltaje	239,8
Cableado	3

Una vez obtenida la nueva masa del vehículo se procede a realizar el reemplazo de datos en la simulación y obtener las nuevas gráficas de autonomía y potencia Fig. 11.

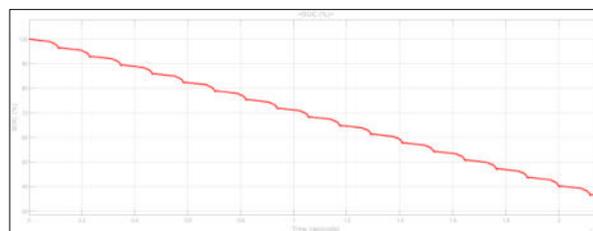


Fig. 11. Autonomía respecto al nuevo peso.

Con la nueva simulación se obtiene un valor sobrante de SOC del 36,20%, el cual permite cumplir la autonomía de 200 km sin presentar problemas en el transcurso.

En la Fig. 12, se observa un incremento de 4 kW en la potencia eléctrica del vehículo, aun así, el motor seleccionado para la conversión nos permite trabajar con la nueva potencia con normalidad, lo que no se vería afectado por el aumento de peso del kit de conversión.

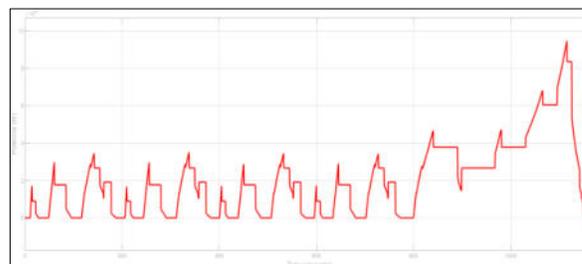


Fig. 12. Potencia respecto al nuevo peso.

Análisis económico de mantenimientos de VCI y EV

Para el análisis económico se realizó una comparación entre un vehículo convencional con uno eléctrico, tomando en cuenta gastos de implementación del kit, mantenimientos y consumo de combustible hasta los 50000 [km] VCI y 100000 [km] para EV Tabla 4.

Tabla 4. Costo de mantenimientos

Tipo de Vehículo	Distancia (Km)	Costo total
Vehículo de combustión interna	50000	\$ 871,00
Vehículo eléctrico	100000	\$ 730,00

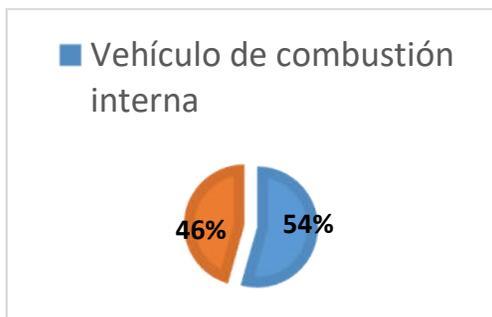


Fig. 13. Costo de mantenimiento.

Análisis de consumo de combustible

En la Tabla 5 se observa el consumo de combustible de un vehículo de combustión interna y un vehículo eléctrico.

Tabla 5. Análisis económico de consumo

Tipo de motor	Distancia (Km)	Consumo por distancia (km/gl) / (km/kW)	Costo de combustible	Costo total
Vehículo de combustión interna	50000	50 km / gl	\$ 2,95	\$ 2.950,00
Vehículo eléctrico	50000	7 km /kW	\$ 0,08	\$ 571,43

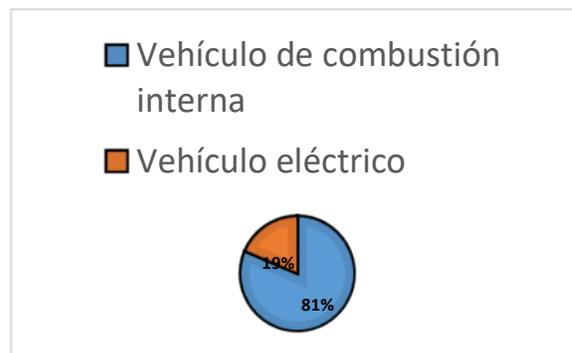


Fig. 14. Costo de combustible.

IV CONCLUSIONES

Se utilizó el vehículo con una cilindrada de 1000 c.c y que tiene un peso de 1150 kg que cumple con las especificaciones planteadas.

Se modeló el vehículo seleccionado con la implementación de su respectivo kit de conversión a eléctrico con software CAD.

Se obtuvo y se calculó los parámetros requeridos para la ciudad de Latacunga y la geografía del Ecuador mediante el uso de la herramienta digital Google earth para obtener la pendiente en la geografía de Ecuador especialmente en la ruta Latacunga-Quito, Latacunga-Ambato y Latacunga-Riobamba en donde se obtuvo un promedio de pendiente de 15,73%.

Se realizó la comparación de componentes del kit de conversión existentes en el mercado en donde se tomó en cuenta costo y características de los componentes. El costo estimado del kit de conversión es de \$10.273,00.

Según el análisis de las gráficas permitió observar el comportamiento de la potencia eléctrica necesaria para poder mover el vehículo en una pendiente de 15,73%, dando como resultado una potencia mayor o igual a 37,80 kW con una velocidad de 70 km/h, mientras que la potencia requerida en un terreno plano (pendiente 0) es de 23,65 kW con una velocidad de 120 km/h.

De acuerdo a la batería seleccionada se obtiene una energía de 32,13 kWh, la que nos permite cumplir la autonomía de 200 km, este valor tiende a disminuir si se eleva el peso del vehículo mientras que se obtendrá mayor autonomía al tener menor peso.

Un vehículo de combustión interna presenta un mayor gasto en mantenimiento al cabo de los 50000 km, por motivo que posee muchos componentes mecánicos que sufren de fricción entre sí y requieren mantenimientos continuos, mientras que el vehículo eléctrico solo emplea un 37,71 % de ese gasto.

El costo de la gasolina por galón es de \$2,95 mientras que el Kilovatio está alrededor de \$0,08, lo que demuestra que existe un ahorro en gastos de combustible de casi el 80,63% al cabo de los 50000 km con referencia a un vehículo de combustión interna.

Análisis comparativos de factores económicos han demostrado que la conversión de vehículos es una opción viable, por motivo que la adquisición de un vehículo eléctrico nuevo está alrededor de \$ 35,000.00, mientras que la compra del kit eléctrico es un 37,14% de ese valor, teniendo como resultado un vehículo 100% eléctrico con las mismas prestaciones que uno nuevo.

El análisis del PRI concluyo que la inversión para adquirir el Kit de conversión se lograra recuperar al cabo de 5 a 6 años.

REFERENCIAS

- [1] Alegre Buj, M. S. (2017). Modelado del vehículo eléctrico e híbrido paralelo y planificación de estaciones de carga mediante sistemas de información geográfica y algoritmos genéticos [Tesis de doctorado]. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Recuperado el 20 de Octubre de 2020, de http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/tesisuned:IngInd-Msalegre/ALEGRE_BUJ_Susana_Tesis.pdf
- [2] Augeri, F. (02 de Septiembre de 2019). Cargador de la batería EV del Nissan Leaf 2011. Recuperado el 29 de Julio de 2020, de <http://www.cise.com/portal/notas-tecnicas/item/950-cargador-de-la-bater%C3%ADa-ev-del-nissan-leaf-2011.html?tmpl=component&print=1>
- [3] Bel, F. M., & Udrizard, A. S. (2018). Conversión de la motorización original mecánica a eléctrica de automóvil Peugeot 308 [Tesis de ingeniería]. Universidad Tecnológica Nacional. Recuperado el 21 de Octubre de 2020, de <https://ria.utn.edu.ar/bitstream/handle/20.500.1227/2/3362/Proyecto-Completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [4] Costas, J. (23 de Junio de 2011). Ciclo NEDC, o cómo entender los consumos homologados. Recuperado el 26 de Julio de 2020, de <https://www.motorpasion.com/otros/ciclo-nedc-o-como-entender-los-consumos-homologados#:~:text=Hoy%20vamos%20a%20conocer%20el,consumo%20urbano%2C%20extraurbano%20y%20mixto>
- [5] Duque Sarmiento, D. A., & Rocano Yunga, J. A. (2018). Determinación de la autonomía del vehículo eléctrico mediante ciclos controlados [Tesis de ingeniería]. Universidad Politécnica Salesiana sede Matriz Cuenca. Recuperado el 14 de Octubre de 2020, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15067/1/UPS-CT007435.pdf>
- [6] Electric Car Parts Company. (2021). 96V Entrada. 12VDC, 50A Salida 600W. Convertidor CC-CC EV aislado. Recuperado el 08 de Noviembre de 2020, de <https://www.electrincarpartscompany.com/dc-dc-converter-waterproof-96v-input-12v-dc-50a-output-600w-isolated-ev#>
- [7] EV West. (11 de Octubre de 2011). Curtis 1238-7601 HPEVS AC-50 Kit de motor de CA sin escobillas - 96 voltios. Recuperado el 06 de Diciembre de 2020, de https://www.evwest.com/catalog/product_info.php?cPath=8&products_id=83
- [8] García Martínez, G. (07 de Mayo de 2018). Motores de flujo axial: más potentes, compactos y ligeros. Recuperado el 26 de Julio de 2020, de [Movilidad Eléctrica: https://movilidadelectrica.com/motores-de-flujo-axial-mas-potentes-compactos-y-ligeros/](https://movilidadelectrica.com/motores-de-flujo-axial-mas-potentes-compactos-y-ligeros/)
- [9] Erazo, W. G., Quiroz, J. L., Salazar, B. J., Pallo, A. D., Erazo, L. A. Q., & León, V. D. Z. (2017). Modelación del parámetro de identificación de diagnóstico PID's, del sensor de temperatura de refrigerante del motor ECT del sistema de control de inyección electrónica de combustible EFI, mediante regresión no lineal. INNOVA Research Journal, 2(12), 112-122.
- [10] Larminie, J., & Lowry, J. (2003). Electric vehicle technology. John Wiley & Sons Ltd.
- [11] López Sánchez, D. (2019). Tecnologías de baterías [Tesis de ingeniería]. Valladolid: Universidad de Valladolid. Recuperado el 05 de Agosto de 2020, de <https://core.ac.uk/reader/228074000>
- [12] Merchán Lima, J. L. (2018). Estudio del rendimiento energético de un vehículo eléctrico en la ciudad de Cuenca [Tesis de ingeniería]. Cuenca: Universidad de Cuenca. Recuperado el 20 de Agosto de 2020, de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30321>
- [13] Mohan, G., Assadian, F., & Longo, S. (2013). Comparative analysis of forward-facing models vs backward-facing models in powertrain component sizing. IET 4th Hybrid and Electric Vehicles Conference 2013 (HEVC 2013), 1-6.
- [14] Müller, W. (1984). Electrotecnia de potencia: curso superior. Reverte.
- [15] Rodríguez Ortiz, J. L., & Vásquez Guaña, L. G. (2018). Implementación e investigación de los

- parámetros de operación de un vehículo eléctrico con freno regenerativo [Tesis de ingeniería]. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Recuperado el 27 de Agosto de 2020, de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/15387/1/T-ESPEL-MAI-0643.pdf>
- [16] Ros Marin, J. A., & Barrera Doblado, O. (2017). Vehículos eléctricos e híbridos. Paraninfo.
- [17] Simon. (10 de Enero de 2019). El vehículo eléctrico: elementos principales y funcionamiento. Recuperado el 26 de Julio de 2020, de Recarga de vehículo eléctrico: <https://www.simonelectric.com/blog/el-vehiculo-electrico-elementos-principales-y-funcionamiento>
- [18] Suárez Montoya, M. C. (2017). Revisión bibliográfica y caracterización de motores para vehículos eléctricos [Tesis de tecnología]. Universidad Tecnológica de Pereira. Recuperado el 03 de Agosto de 2020, de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/8223/6292293S939.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [19] Theodore, W. (2007). Maquinas eléctricas y sistemas de potencia (Sexta ed.). Pearson Educación. Recuperado el 07 de agosto de 2020, de <https://www.academia.edu/18513953/Maquinas-Electricas-y-Sistemas-de-Potencia>
- [20] ThunderStruck. (2019). TSM2500 Series High Efficiency Intelligent Charger. Recuperado el 18 de Diciembre de 2020, de User Manual Ver. 1.07: <http://www.thunderstruck-ev.com/images/companies/1/ThunderStruck-TSM2500-ManualV1.07.pdf?1557962804778>
- [21] Vélez Loaiza, S. C., & Vera Vanegas, A. V. (2016). Obtención de los parámetros necesarios para el cálculo de la fuerza en rueda de vehículos eléctricos [Tesis de ingeniería]. Universidad del Azuay. Recuperado el 09 de Agosto de 2020, de <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/5739/1/12059.pdf>
- [22] Vertiv. (2017). El surgimiento de las baterías de iones de litio en los centros de datos. Un informe de aplicación de Vertiv™. Recuperado el 15 de Diciembre de 2020, de Vertiv Co: https://www.vertiv.com/globalassets/documents/white-papers/vertiv-lithium-ion-battery-wp-en-na-sl-24692-sp_154560_0.pdf
- [23] Vidal Pastor, F., Mas Fito, J., & González López, M. (19 de Diciembre de 2014). Sistemas Eléctricos y de Seguridad y Confortabilidad. Editex. Recuperado el 27 de Julio de 2020, de Transformadores de corriente: <https://books.google.com.ec/books?id=pjiRAwAAQBAJ&pg=PA254&dq=Veh%C3%ADculos+el%C3%A9ctricos+e+h%C3%ADbridos+convertidor+dc+dc&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiP9K2d7pXrAhVPwIkKHSUNCWAQ6AEwAnoECAIQAg#v=onepage&q=Veh%C3%ADculos%20el%C3%A9ctricos%20e%20h%C3%ADbridos%20>
- [24] Wong, J. Y. (2001). Theory of ground vehicles (Thrid ed.). John Wiley & Sons, Inc.
- [25] Zhang, X., & Mi, C. (2011). Vehicle Power Management: Modeling, Control and Optimization. Springer.
- [26] Zumba Álvarez, W. M. (2017). Evaluación de la demanda energética de buses con motores de combustión interna, en rutas reales; para implementar buses eléctricos [Tesis de masterado]. Universidad del Azuay. Recuperado el 13 de Agosto de 2020, de <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/7609/1/13472.pdf>

Optimización del voltaje de operación de packs de batería de alta tensión mediante la entrega de carga y descarga con voltaje y corriente constante

Optimization of the operating voltage of high voltage battery packs by delivering charge and discharge with constant voltage and current.

Carlos Martínez, Edison Maldonado

Vehicentro Vehículos y Camiones Sierra Centro – Sinotruck del Ecuador / Tranvía Parla Madrid

1

Correspondencia Autores: cmartinez@vehicentro.com.ec; epmaldonado@viaparla.com

Recibido: 8 de septiembre 2022, Publicado: 18 de diciembre de 2022

Resumen— La alta contaminación provocada en gran mayoría por los vehículos con motores a combustión interna, ha provocado el deterioro del medio ambiente, por lo que se han tomado medidas para contrarrestar dicha contaminación, mediante la fabricación de vehículos de propulsión eléctrica e híbrida. Dichos vehículos tienen la desventaja de producir contaminación mediante sus baterías, ya que estas contienen químicos altamente contaminantes, y al reflejar un código de falla, acerca del deterioro de la batería de alta tensión, se procede a reemplazar la misma en su totalidad, existiendo, debido a este cambio, un elevado costo de mantenimiento y desperdicio de varios módulos que se encuentran en buen estado. Para corregir esta realidad esta investigación se ha realizado un estudio acerca de los procesos de carga y descarga de los módulos de la batería de alta tensión del vehículo híbrido a una tasa de carga y descarga constantes de 1.5A, con la ayuda de un analizador de baterías CBA, mediante un protocolo de pruebas, se somete a cargas y descargas constantes controladas, de esta forma se realiza un análisis entre las curvas de descarga después de cada prueba, determinando el estado de carga SOC y de descarga DSOC, calculando de esta forma la eficiencia y el tiempo de vida útil de los módulos mencionados.

Palabras clave—. Contaminación, CBA (Analizador de Baterías Computarizado), Carga, Descarga, Batería de alto voltaje, Módulo

Abstract— The high pollution caused mostly by vehicles with internal combustion engines has caused the deterioration of the environment, so measures have been taken to counteract this pollution, through the manufacture of electric and hybrid propulsion vehicles. These vehicles have the disadvantage of producing pollution through their batteries, since they contain highly polluting chemicals, and as they reflect a fault code, about the deterioration of the high voltage battery, it is replaced in its entirety, existing, due to this change, a high cost of maintenance and waste of several modules that are in good condition. To correct this reality, a study has been carried out on the charging and discharging processes of the high-voltage

battery modules of the hybrid vehicle at a constant charge and discharge rate of 1.5A, with the help of a CBA battery analyzer, by means of the modules are subjected to constant controlled loading and unloading through a test protocol, in this way an analysis is made between the unloading curves after each test, determining the state of charge SOC and unloading DSOC, thus calculating the efficiency and life time of the modules mentioned above.....

Keywords—. Contamination, CBA (Computerized Battery Analyzer), Charging, Discharge, High Voltage Battery, Module

I INTRODUCCIÓN

En la actualidad, se destacan tres tipos de propulsión en los vehículos a nivel mundial, los vehículos a combustible, los eléctricos y los híbridos. Estos últimos se caracterizan por ser la combinación de los dos primeros, en el que el motor de combustión interna alimenta de energía a las baterías, las cuales son exigidas al máximo en el proceso de carga y descarga rápida, reduciendo así su vida útil y al ser un componente excesivamente costoso y contaminante, se requiere realizar un análisis en el comportamiento de la misma en diferentes condiciones y determinar una manera de prolongar su vida útil, el mayor tiempo posible [1].

El reciclaje puede minimizar el impacto ambiental de las baterías mediante la reducción de energía requerida para su producción, así como los daños medioambientales causados por los peligrosos materiales usados en su fabricación como en la de nuevas baterías [2].

Pero también hay que tener en cuenta que mientras las baterías constituidas de plomo ácido son comúnmente recicladas, es menos común ver reciclar las baterías de iones de litio de los dispositivos móviles, la electrónica portátil y los autos híbridos y eléctricos [3]. En la Unión

Europea, sólo el 5% del litio de las baterías vendidas en 2010 fueron recicladas [4].



Figura 1. Medición de voltaje en batería de alto voltaje

Una de las razones de esta baja tasa de reciclaje de estas baterías corresponde a un proceso de reciclaje complejo [5].

Para el correspondiente análisis de las celdas y la obtención de sus respectivas curvas, se eligió de entre 5 celdas en mal estado, la que entregaba un mayor tiempo de voltaje en la zona nominal de la gráfica [6].

El desarrollo del presente trabajo se dividió en cinco etapas:

- Introducción.
- Protocolo de medición de módulo.
- Obtención de curvas.
- Análisis de resultados.
- Conclusiones.

II MÉTODOS Y MATERIALES

Instrumentos de medición.- Para realizar la prueba de carga y descarga de un módulo unitario de batería, se utiliza:

- Módulo individual de batería
- Analizador de baterías CBA
- Software “West Mountain Radio CBA”



Figura 2. Instrumentos implementados en los procesos

- Cable USB tipo A/B de impresora
- Cables tipo lagarto

Protocolo de medición. - Para realizar la prueba de carga del módulo de níquel – hidruro metálico se debe seguir los siguientes ítems:

- Encender el computador
- Instalar y abrir el software “West Mountain Radio CBA”
- Conectar el analizador de baterías CBA al computador
- De las pruebas anteriores en el presente capítulo, se escoge el módulo con mayor duración de descarga, verificando tanto en las tablas como en las gráficas correspondientes.
- Configurar el software para descargar el módulo de batería, a una tasa de 1.5 A, durante un tiempo máximo de 15 minutos.
- Conectar mediante lagartos el cargador de baterías a los bornes del módulo a ser cargado.
- Configurar el cargador de baterías, en el modo de carga normal (1.5 A), y conectarlo al tomacorriente de la pared (110V).
- Encender el cargador de baterías, con lo que iniciará la prueba.
- Después de los 15 minutos de carga, el software emitirá un sonido de advertencia de finalización de prueba, con lo que debemos desconectar el cargador, quitar los lagartos de los bornes, y almacenar los datos obtenidos.
- Dejar reposar el módulo por 10 minutos.
- Configurar el software para descargar la batería, a una tasa de 1.5 A, hasta conseguir un voltaje mínimo de 6 voltios, independientemente del tiempo.
- Iniciar la prueba y esperar hasta que el software indique que la prueba finalizó mediante una señal

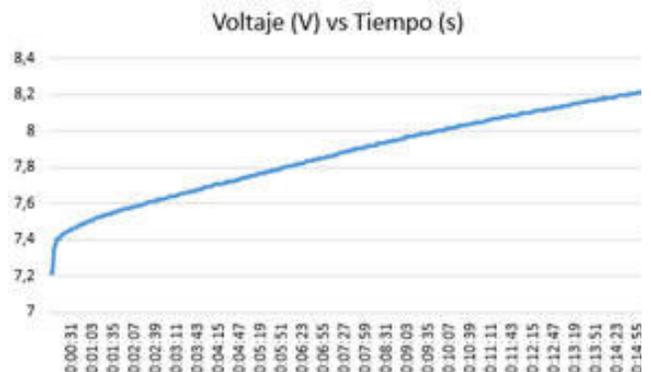


Figura 4. Gráfica de carga del módulo T0.

visual y auditiva.

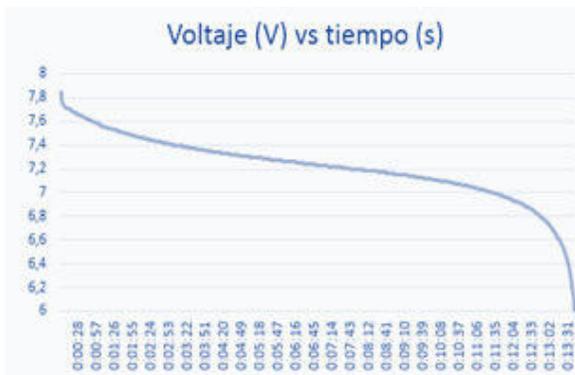


Figura 5. Descarga 1 de la celda T0.

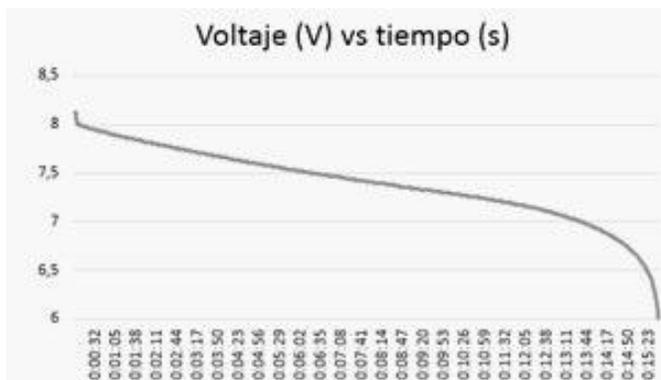


Figura 6. Descarga 9 de la celda T0.

- Al concluir la prueba, desconectar los bornes de la batería, guardar la prueba y exportar sus valores

Carga de módulo de batería

Después de analizar varios módulos de batería, se seleccionó el módulo T0, debido a que la forma de su curva indica que este, posee una zona nominal muy uniforme, es decir que entrega un voltaje similar por más tiempo que el resto de módulos [7].

Por lo tanto, se realiza la carga y descarga del módulo T0 por 9 veces, para luego analizar sus resultados, se debe tener en cuenta que todas las pruebas de carga no van a variar en mucho, por lo que todas las gráficas de carga serán muy similares.

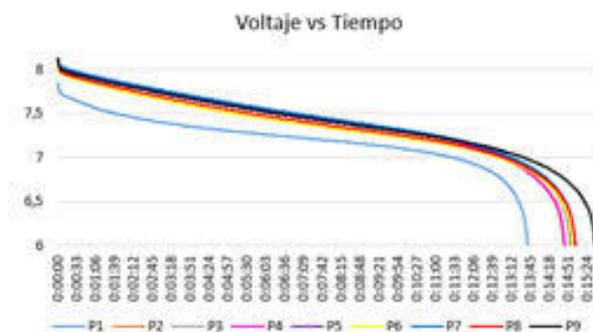


Figura 7. Descargas de módulo

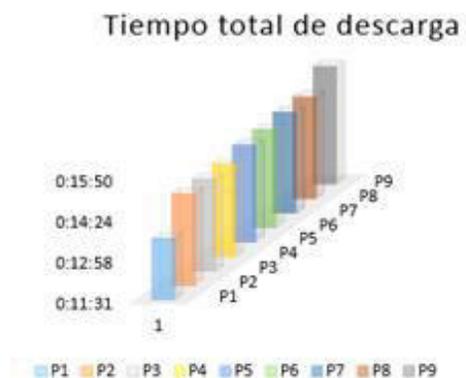


Figura 8. Gráfica de tiempo total de descarga

Descarga de módulo de batería

Mediante la descarga del módulo, se determinará que sucede con el tiempo máximo de capacidad del módulo. Cabe recalcar que esta prueba se realizó a una idéntica tasa de carga y descarga, que fue de 1.5 A.

III PRUEBAS Y RESULTADOS

Para determinar el estado de salud de una batería, se utiliza el tiempo de descarga de la primera prueba, luego, se utiliza el tiempo de descarga de la 10 prueba, y se los reemplaza en la ecuación

$$\%SOH = 100 - \left(\frac{t_0}{t_f} * 100 \right)$$

Donde:

%SOH= Estado de salud de la batería (%)

t_0 =Tiempo de descarga inicial (h)

t_f = Tiempo de descarga luego de haber realizado 10 procesos de carga y descarga consecutivos (h)

Obteniendo los siguientes resultados:

$$t_0 = 13 \text{ min} * \frac{1h}{60 \text{ min}}$$

$$t_0 = 0.216 \text{ h}$$

$$t_f = 15.4 \text{ min} * \frac{1h}{60 \text{ min}}$$

$$t_f = 0.257 \text{ h}$$

$$\%SOH = 100 - \left(\frac{0.216}{0.257} * 100 \right)$$

$$\%SOH = 15.95 \%$$

Con los resultados obtenidos, se determinó que, tras repetir la carga y descarga de un módulo, la salud de la batería aumento en un 15.95%, por lo que su tiempo de entrega de voltaje aumentará en dicho porcentaje.

Como se puede observar, tras las pruebas se aumentó el tiempo total de descarga en más de dos minutos

IV CONCLUSIONES

Se sometió a procesos de carga y descarga constantes según el protocolo de pruebas especificado, estimando un aumento de eficiencia de 4.7% y un aumento de vida útil de 15.58%.

Cuando el pack de batería se encuentra en buen estado de salud al aplicar un proceso de carga y descarga con voltaje y corriente de descarga constante mejora el estado de carga.

Un proceso de carga y descarga controlada mejoran el estado de salud de la batería y por ende su control de estado de carga.

Cuando el estado de carga y descarga se realizan un proceso de balanceo de voltajes el incremento de estado de salud es notorio.

Los packs de baterías son susceptibles de reaccionar y mejorar su condición de operación cuando se producen estado de carga y descarga controlados.

REFERENCIAS

- [1] E. P. Maldonado y C. F. Martínez, «Investigación del Proceso de Carga (SOC) y de Descarga (DSOC) de las Baterías de Alta Tensión para Estimar su Eficiencia y Tiempo de Vida Útil a través de un Módulo de Corriente Constante», Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Latacunga, Ecuador, 2018.
- [2] O. R. B. A. Bustos y A. S. C. C. Correa, «Elaboración de un manual práctico de diagnóstico y corrección de fallas referente al sistema de inyección electrónica en los vehículos de la línea Toyota, mediante interface y utilizando el software

techstream», Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador, 2012.

- [3] O. A. Z. M. Zelaya, «Análisis general de los vehículos híbridos y su funcionamiento», Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 2006.
- [4] L. F. E. D. Espinosa, «Diseño y aplicación de un protocolo de mantenimiento, diagnóstico y reparación del sistema de baterías de vehículos híbridos», Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Latacunga, Ecuador, 2013.
- [5] J. E. J. Acosta, «Estudio del sistema híbrido, diseño, construcción e implementación de un modelo de conexión de fuerzas propulsoras de transmisión por medio de engranajes planetarios», Universidad Internacional del Ecuador, Quito, Ecuador, 2013.
- [6] A. P. V. Pantoja, «Modelado y control de un sistema de propulsión híbrido», Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, México, 2006.

Exoesqueleto robótico de cadera para movilidad coxo-femoral

Exoskeleton Robotic of hip for coxo-femoral mobility.

¹Jakelyn X. Romero, ¹Marco A. Taco, ¹Héctor C. Terán, ¹Wendy Y. Romero, ¹Diego A. Pazmiño

¹Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE /Energía y Mecánica, Quito, Ecuador

Correspondencia Autores: g.jxromero@espe.edu.ec, mataco@espe.edu.ec, hcteran@espe.edu.ec, wendyyr7@gmail.com,
djapazmino@gmail.com

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

Resumen— El objetivo de este estudio es ayudar a las personas con movilidad reducida de cadera, se diseñó un prototipo de exoesqueleto robótico de cadera proporcionando a la persona afectada la capacidad de generar algunos movimientos de forma fácil y natural. Permite el desplazamiento de la persona, brindándole la comodidad requerida y la oportunidad de reintegrarse a la comunidad permitiéndole desenvolverse en el medio de una mejor manera. Para el diseño del exoesqueleto de cadera, se eligieron datos biomecánicos y antropométricos del ser humano basados en la norma ISO 7250:1, estudios de materiales y selección bajo la norma AISI con aleaciones de aluminio 2XXX, en cumplimiento ergonómico a la norma ISO 11226 y seguridad del equipo en la norma ISO 12100. El análisis estructural y de elementos finitos cumplió con el criterio de Von Mises que analizó en el software SolidWorks que permite la validación de este diseño y determinar la seguridad del exoesqueleto. El control permite realizar los movimientos y posicionamientos que el exoesqueleto debe generar para su correcta ejecución.

Palabras clave— Exoesqueleto, análisis estructural, cadera..

Abstract— The aim of this study is to help people with reduced hip mobility, was designed a prototype of a robotic hip exoskeleton providing the affected person the ability to generate some movements easily and naturally. It allows the displacement of the person, giving them the required comfort and the opportunity to reintegrate into the community allowing them to develop in the environment in a better way. For the design of the exoskeleton hip, biomechanical and anthropometric data of the human being were chosen based on the ISO 7250:1 standard, studies of materials and selection under the AISI standard with aluminum alloys 2XXX, in compliance ergonomic to the ISO 11226 standard and safety of the equipment on the ISO 12100 standard. The structural and finite element analysis complied with the Von Mises criterion which analyzed in the SolidWorks software allowing the validation of this design and determining the safety of the

exoskeleton. The control allows the movements and positioning that the exoskeleton must generate for the correct execution.

Keywords— Exoskeleton, structural analysis, hip.

I INTRODUCCIÓN

Los problemas de salud evolucionan constantemente debido a la preocupación del ser humano, la sociedad ha evolucionado aumentando su esperanza de vida gracias a la aplicación de nuevas tecnologías en el campo médico. Sin embargo, aún queda mucho por hacer, la tecnología robótica está dando una importante contribución con el uso de exoesqueletos, prótesis inteligentes o robóticas. En este caso, es necesario definir primero qué es un exoesqueleto. [2][8][9]

Un exoesqueleto es un mecanismo situado en la parte externa del cuerpo humano con diferentes fines militares, lo utilizan los soldados para mejorar el rendimiento físico o la potencia, por ejemplo, para transportar grandes cargas durante un tiempo determinado; y en la rehabilitación de pacientes con discapacidad motora, generalmente se asocia al movimiento de las extremidades superiores, inferiores o ambas [1].

II MÉTODOS Y MATERIALES

Algunas aplicaciones en robótica exoesqueletos son conocidos en todo el mundo, dan al ser humano las facultades que poco a poco fueron perdiendo debido a diferentes enfermedades como la distrofia muscular (DM), atrofia muscular espinal (AME), lesiones parciales de la médula espinal.

En la actualidad existen investigaciones relacionadas con el estudio en curso, se han introducido varios exoesqueletos de la articulación de la cadera en busca de aplicaciones prácticas, como funciones de apoyo

ambulatorio para ancianos o pacientes con trastornos de la marcha [15]. Entre ellos se encuentran: Design and Experiment of the Lower Extremity Exoskeleton, Autonomous Hip Exoskeleton Saves Metabolic Cost of Walking Uphill, exoesqueletos que difieren de este prototipo, incluyen las extremidades inferiores del ser humano lo que lo convierte en una estructura difícil de adaptar y el alto costo lo hace inalcanzable para la mayoría de las personas, Un aporte innovador es también el control con materiales inteligentes utilizando sensores piezoeléctricos que se activan con el tacto del usuario, a diferencia de investigaciones anteriores que presentan controles tradicionales como sistemas hidráulicos combinados con neumáticos y complejidad a la hora de aprender a controlarlo.

El diseño de este exoesqueleto robótico de cadera parte del estudio de exoesqueletos similares que permiten a personas con movimiento reducido tener mejores condiciones de vida [10] [12], se investigaron los indicadores biomecánicos y los datos antropométricos que cumplen con la norma ISO 7250:1. Se analizó el modelo cinemático directo e inverso de un robot con los parámetros de Denavit Hartenberg, la selección del material cumple con la norma AISI de aleaciones de aluminio 2XXX, se establecieron las posiciones que debe cumplir el paciente para generar el movimiento, determinando los valores de fuerza máxima a aplicar al exoesqueleto, se calcularon estos valores necesarios para la selección de los componentes mecánicos y electrónicos, mediante el uso del software Solidworks para el proceso CAD/CAE, el diseño 3D cuenta con las normas ISO 11226 de ergonomía e ISO 12100 de seguridad de los equipos. El análisis estructural cumple con el criterio de Von Mises que proporciona el factor de diseño para la construcción y finalmente se desarrolló el diagrama del sistema de control a implementar para ejecutar los movimientos correspondientes.

Las medidas antropométricas del equipo cumplen la norma ISO 7250:1 "Medidas básicas del cuerpo humano para el diseño tecnológico. Parte 1: Definiciones de medidas corporales y puntos de referencia", que consiste en resúmenes estadísticos de medidas corporales de poblaciones individuales ISO, valores de diseño regionales y globales.

La ergonomía cumple la norma internacional ISO 11226:2000, "Ergonomía. Evaluación de la postura de trabajo estática", ésta establece recomendaciones ergonómicas para diferentes tareas laborales y normas de seguridad para los equipos ISO 12100, "Seguridad de las máquinas, el principal objetivo de esta norma internacional es que los diseñadores proporcionen una estructura general y una guía para la toma de decisiones durante el desarrollo de máquinas que sean seguras para el uso previsto.

La elección del material cumple la norma AISI para aleaciones de aluminio 2XXX, estas aleaciones con un tratamiento T6 tienen una resistencia a la tracción de aproximadamente 64ksi (442 MPa), el aluminio 6061-T6 fue seleccionado por características como: aleación dúctil y ligera, alta resistencia y excelentes características de acabado, fácil mecanizado con buen acabado superficial, resistencia a la corrosión, facilidad de soldadura y resistencia similar al acero.

Antropometría y Biomecánica

El estudio antropométrico para el diseño del prototipo de exoesqueleto es muy importante, ya que es una de las áreas que fundamentan la ergonomía y trata de las medidas del cuerpo humano que se refieren al tamaño corporal, formas, fuerza. En la tabla I se muestran las medidas antropométricas de poblaciones mestizas, indígenas y afroecuatorianas de la Sierra ecuatoriana, que se encuentran dentro de los percentiles más utilizados en el diseño ergonómico P5 y P50[4]

Tabla 1. Medidas Antropométricas de la población de la región andina

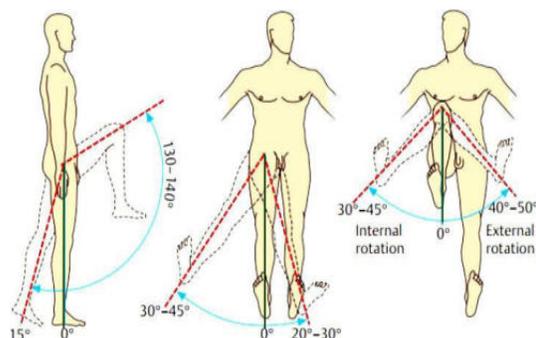
Medidas antropométricas	Hombres - Medias corporales [cm]		
	Mestizos	Indígena	Afroecuatoriano
1 Altura normal	172,4	163,3	177,6
2 Longitud Glúteo-Rodilla	57,11	55,17	58,38
3 Posición sentada a la anchura de la cadera	35,62	37,89	40,63

El prototipo del exoesqueleto robótico de cadera se limita a los parámetros antropométricos de las medidas de los ecuatorianos indicado en la tabla 2, que cumple la norma ISO 7250.

Tabla 2. Parámetros antropométricos de diseño

Altura [cm]	Peso [kg]
170,00	70,00

La cadera es considerada como una articulación esférica de tres grados de libertad, permite rotar sobre los ejes generados por la intersección de los planos y tiene diferentes movimientos mostrados en la Figura 1, estudiado por la biomecánica [5] [11]



(a) Extensión-Flexión (b) Abducción Aducción (c) Rotación
Figura 1. Grados de libertad de la cadera.

Una limitación es también el grado de libertad que se aplicará al prototipo, mostrado en la Figura 1 (a), que permitirá al paciente realizar la marcha.

El método matemático que se ha seleccionado para calcular la cinemática directa e inversa del exoesqueleto es el algoritmo Denavit-Hartenberg. Este método aplica matrices homogéneas para calcular todos los parámetros de rotación y traslación, relacionando todos los sistemas desde el origen hasta el final de las cadenas cinemáticas.

La cinemática es el movimiento de los cuerpos sin considerar las fuerzas o momentos que causan el movimiento, por otro lado, en robótica se refiere al modelo matemático para determinar la relación entre las posturas y velocidades de las articulaciones, contra la posición y velocidad de la herramienta o algún miembro terminal del robot [6].

A. Cinemática directa

Determina la posición del robot, con las posiciones de sus grados de libertad, estos se distribuyen de acuerdo al cuerpo humano, la figura 2 muestra los movimientos generados por un exoesqueleto de extremidades inferiores [14].

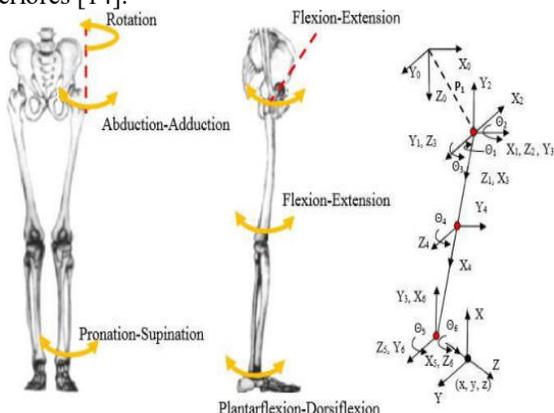


Figura 2. Ejes de rotación en la extremidad inferior
secuencial de geometría espacial de los elementos

de una cadena cinemática (ver Tabla III), especialmente de un robot, respecto al sistema de referencia fijo [7] [13] [14].

Una de las restricciones para resolver un problema cinemático directo es encontrar la ubicación espacial del extremo del robot o de la cadena cinemática. Para este estudio la solución del problema vendrá dada por lassiguientes funciones:

$$X \text{ derecha} = fx(\theta 1) \tag{1}$$

$$Y \text{ derecha} = fy(\theta 1) \tag{2}$$

$$Z \text{ derecha} = fz(\theta 1) \tag{3}$$

$$X \text{ izquierda} = fx(\theta 2) \tag{4}$$

$$Y \text{ izquierda} = fy(\theta 2) \tag{5}$$

$$Z \text{ izquierda} = fz(\theta 2) \tag{6}$$

Este algoritmo consiste en obtener matrices de transformación homogéneas compuestas por secuencias de rotación y traslación, para obtener estas matrices es necesario realizar varios pasos para establecer una notación que sirva para identificar las relaciones entre los sistemas coordenados, se deben enumerar los enlaces a partir de un enlace fijo, el cual se marca con "0" que es la espaldera, luego se enumeran las articulaciones q1 y q2 como se muestra en la figura 3 y también se establecen los ejes según la notación del algoritmo de Denavit- Hartenberg.

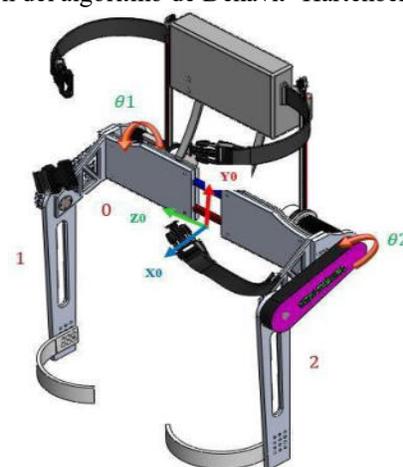


Figura 3. Enlaces de enumeración y articulaciones

Establecidos los parámetros, es necesario obtener las dimensiones entre los orígenes de los sistemas de coordenadas como se detalla en la figura 4, las dimensiones se toman a lo largo de los ejes de coordenadas Zi-1 y Xi para las articulaciones 1 y 2.

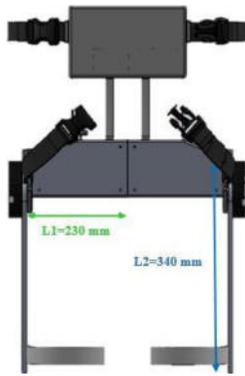


Figura 4. Dimensiones del exoesqueleto

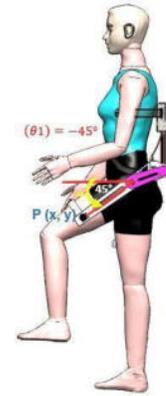


Figura 5. Posición final P (x, y)

El sistema de exoesqueleto se compone de dos cadenas cinemáticas que corresponden a cada una de las extremidades del paciente, las rotaciones sobre los ejes dispuestos en el sentido de las agujas del reloj se toman como positivas.

Tabla 3. Parámetros de Denavit - Hartenberg

Articulación	θ_i	d_i	a_i	α_i
1	$-(\theta_1 + \frac{\pi}{2})$	L1	L2	0
2	$-(\theta_2 + \frac{\pi}{2})$	-	L2	0

Donde:

Rotación alrededor del eje θ_{i-1} , ángulo θ_i . Traslación a lo largo de d_{i-1} , distancia d_i . Traslación a lo largo de a_i , distancia a_i .

Rotación alrededor del eje x_i , ángulo α_i .

Tabla 3 obtenemos las matrices homogéneas que describen la relación entre los sistemas de coordenadas.

En la Figura 5 se sitúa el punto P (x, y) que será la posición final que alcanza la persona al inicio de la marcha, este punto viene determinado por el proceso de cinética directa.

La primera cadena cinemática, se obtienen las siguientes relaciones.

$$O_{A1} = \begin{bmatrix} \cos(\frac{\pi}{2} + \theta_1) & \sin(\frac{\pi}{2} + \theta_1) & 0 & L2 \cos(\frac{\pi}{2} + \theta_1) \\ -\sin(\frac{\pi}{2} + \theta_1) & \cos(\frac{\pi}{2} + \theta_1) & 0 & -L2 \sin(\frac{\pi}{2} + \theta_1) \\ 0 & 0 & 1 & L1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

La segunda cadena cinemática se obtienen las siguientes relaciones.

$$O_{A2} = \begin{bmatrix} \cos(\frac{\pi}{2} + \theta_2) & \sin(\frac{\pi}{2} + \theta_2) & 0 & L2 \cos(\frac{\pi}{2} + \theta_2) \\ -\sin(\frac{\pi}{2} + \theta_2) & \cos(\frac{\pi}{2} + \theta_2) & 0 & -L2 \sin(\frac{\pi}{2} + \theta_2) \\ 0 & 0 & 1 & -L1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

De este modo, se obtiene la relación entre el final de la cadena cinemática y el sistema S0.

$$T_{right} = O_{A1} \quad (9)$$

$$T_{left} = O_{A2} \quad (10)$$

Por último, para obtener la posición final de cada extremidad, cada relación se multiplica por un vector con la posición del origen del último sistema de coordenadas.

$$\begin{bmatrix} X_{right} \\ y_{right} \\ z_{right} \\ 1 \end{bmatrix} = O_{A1} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

Se sustituyen las dimensiones de los enlaces L1 y L2, se realiza la operación indicada para obtener:

$$\begin{bmatrix} X_{right} \\ y_{right} \\ z_{right} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 340 * \cos(\frac{\pi}{2} + \theta_1) \\ -340 * \sin(\frac{\pi}{2} + \theta_1) \\ 230 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

Por último, se sustituye el ángulo θ_1 y se calcula el valor de la posición final del exoesqueleto.

$$X_{right} = 240,42 [mm] \quad (13)$$

$$Y_{right} = -240,42 [mm] \quad (14)$$

Para el lado izquierdo es el mismo proceso, que sólo se expresa la posición final.

$$\begin{bmatrix} X \text{ left} \\ y \text{ left} \\ z \text{ left} \\ 1 \end{bmatrix} = 0_{Az} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

B. Cinemática inversa

El problema de cinemática inversa se basa en encontrar los valores de las variables de articulación, donde el final de la cadena cinemática se encuentra en la posición y orientación deseada.

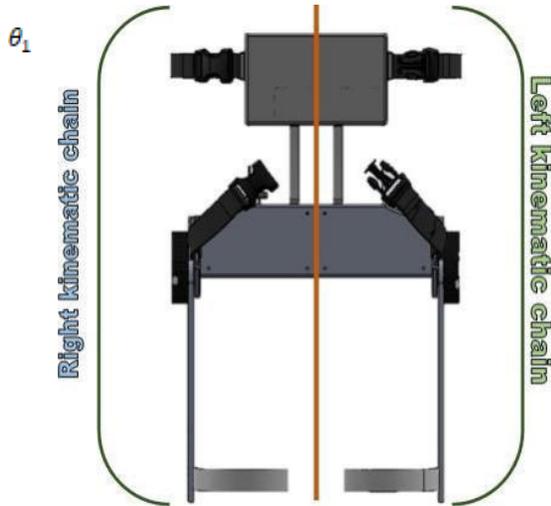


Figura. 6. Cadena cinemática derecha e izquierda

La resolución del problema cinemático inverso se debe dividir para cada extremidad como se detalla en la figura 6, las dos cadenas cinemáticas son simétricas y están en la misma dirección de los ejes "X0" y "Y0", por lo tanto, las funciones de las variables articulares serán las mismas para ambas cadenas cinemáticas, de esta manera se encuentra la siguiente igualdad:

$$\theta_1(X_2, Y_2, \alpha_2) = \theta_2(X_1, Y_1, \alpha_1) \quad (16)$$

Dada esta situación, el problema cinemático derecho se resuelve mediante (16).

Encontrar las funciones explícitas

$$\theta_1(X_2, Y_2, \alpha_2) = \theta_2(X_1, Y_1, \alpha_1)$$

Se basa en (11) donde el problema cinemático directorelaciona el final de la cadena cinemática con el origen, en esta relación deben despejarse las variables articulares (θ_1), referidas a los grados de libertad.

$$[X \ Y \ Z \ 1]^T = 0_{A_1} [0 \ 0 \ 0 \ 1]^T \quad (17)$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\frac{\pi}{2} + \theta_1) & \sin(\frac{\pi}{2} + \theta_1) & 0 & L_2 * \cos(\frac{\pi}{2} + \theta_1) \\ -\sin(\frac{\pi}{2} + \theta_1) & \cos(\frac{\pi}{2} + \theta_1) & 0 & -L_2 * \sin(\frac{\pi}{2} + \theta_1) \\ 0 & 0 & 1 & L_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

Resolviendo las operaciones matriciales y sustituyendo los valores de: L1, L2:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 340 * \cos(\frac{\pi}{2} + \theta_1) \\ -340 * \sin(\frac{\pi}{2} + \theta_1) \\ 230 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (18)$$

La solución es:

Aislado θ_1 de (19)

$$\theta_1 = \cos^{-1}\left(\frac{X}{340}\right) - \frac{\pi}{2} \quad (21)$$

Aislar θ_1 de (20)

$$\theta_1 = \sin^{-1}\left(\frac{-Y}{340}\right) - \frac{\pi}{2} \quad (22)$$

Suma (21) y (22), toma θ_1 para poner en función de X e Y.

$$\theta_1 = \frac{\sin^{-1}\left(\frac{-Y}{340}\right) + \cos^{-1}\left(\frac{X}{340}\right) - \pi}{2} \quad (23)$$

$Z = 230$

Z es constante porque ese grado de libertad no tiene movimiento por lo que concluyó la cinemática inversa.

Los valores de (13) y (14) se sustituyen por (23) y se obtiene el valor del ángulo en el que debe estar el exoesqueleto.

$$\theta_1 = -45^\circ$$

Teniendo en cuenta los parámetros antropométricos según la norma ISO 7250, se establece un modelo adaptativo para personas de diferentes medidas de estatura y anchura de cadera con un rango mínimo y máximo.

C. Selección de elementos electrónicos y mecánicos

El cálculo de Dempster y Clauser permite obtener el porcentaje corporal en relación con la masa-par y la potencia requerida en casos más críticos, cuando la persona está sentada formando un ángulo de 90° entre sus extremidades inferiores y superiores.

Factores como: tiempo de respuesta (t), ángulo de trabajo (θ), velocidad requerida (ω), carga (Peso), par requerido, potencia requerida (Tabla IV), proporcionan los datos necesarios para seleccionar el motor, la caja de cambios y el sistema de transmisión.

Tabla 4. Parámetros para la selección de elementos electrónicos

t (s)	θ (rad)	ω (rpm)	Peso (N)	Par de apriete necesario (Nm)	Potencia necesaria (vatios)
4	$\frac{\pi}{2}$	3,75	232,79	94,98	37,3

Por ello, se seleccionó un motor Maxon EC Brushless de 100 vatios de potencia y un reductor planetario GP 52 BØ con una relación de reducción de 353:1.

Con el peso de la persona más el exoesqueleto, disposición de espacio, costes y potencia a transmitir. Se eligió un sistema de transmisión por piñón y cadena que cumple los parámetros exigidos. La relación de transmisión (i), el tipo de cadena y el paso de la cadena se utilizaron para seleccionar las ruedas dentadas motriz y conducida Z1 y Z2 respectivamente

Tabla 5. Selección de elementos mecánicos

Cadena	Pitch	i	Z1	Z2
RS35-2	3/8 pulg.	1.63	11 dientes	18 dientes

B. Elementos del exoesqueleto

La figura 7 muestra los componentes del exoesqueleto y su ubicación. Se colocó una estructura ajustable en la parte posterior del exoesqueleto, con una abertura de hasta 6 cm, partiendo inicialmente de 40 cm, acoplándose a la anchura de la cadera y alcanzando los 46cm.

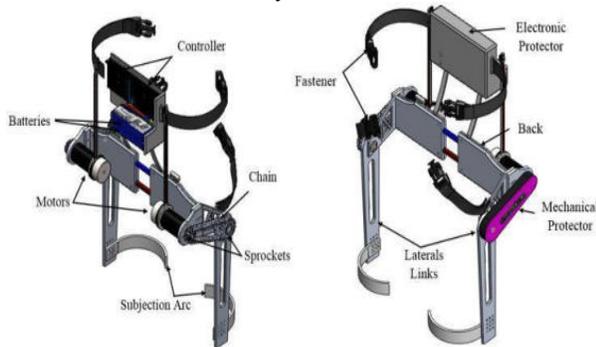


Figura 7. Componentes del exoesqueleto

III. PRUEBAS Y RESULTADOS

Se analizó el comportamiento de las diferentes partes del exoesqueleto aplicando von Mises, esta teoría para materiales dúctiles determina que la falla por fluencia ocurre cuando el esfuerzo de Von Mises (σ Von Mises) es igual o mayor que la resistencia a la fluencia (S_y) del material: σ Von Mises $\leq S_y$, se ensayó con las cargas necesarias, tales como: (Peso de la persona + Peso del exoesqueleto), cargas de los motores y de la transmisión Piñón - Cadena.

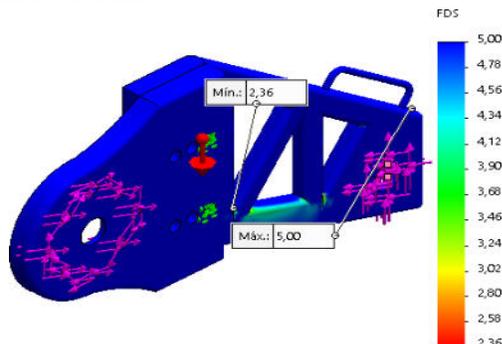


Figura 8. Análisis de tensiones (lado derecho).

Para evitar un fallo estructural, la carga que es capaz de soportar debe ser mayor que la carga que se le va a aplicar cuando esté en funcionamiento. La relación de la resistencia real entre la resistencia requerida se conoce como factor de seguridad (FS), donde 2 es el FS mínimo para un diseño de seguridad en un elemento de máquina de material dúctil aplicado a una carga estática, cumpliendo con $n = S_y / \sigma_{eq}$ donde n es el FS y σ_{eq} es el esfuerzo de Von Mises, en la figura 7 la parte lateral y base de los elementos de transmisión, el FS mínimo obtenido por el software es 2.36 cuyo valor es mayor que 2, como resultado el diseño es seguro.

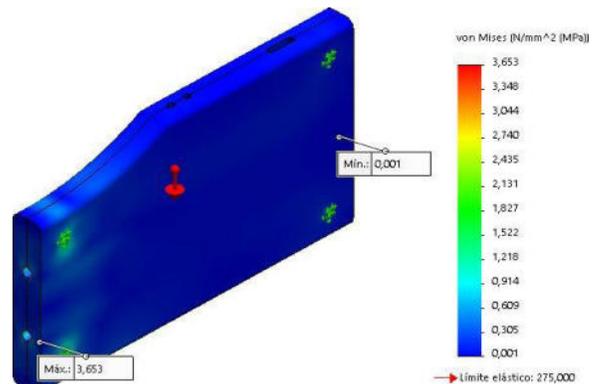


Figura 9. Análisis de tensiones (lado derecho del respaldo).

En la Figura 9, el análisis de la tensión de von Mises, que muestra que el valor máximo aplicado es de 3,653 Mpa, el material utilizado para el respaldo es Aluminio 6061-T6 cuyo límite a la fluencia (S_y) es de 275 Mpa. Se ha demostrado que el respaldo no es defectuoso porque la tensión de von Mises es inferior a la resistencia a la fluencia.

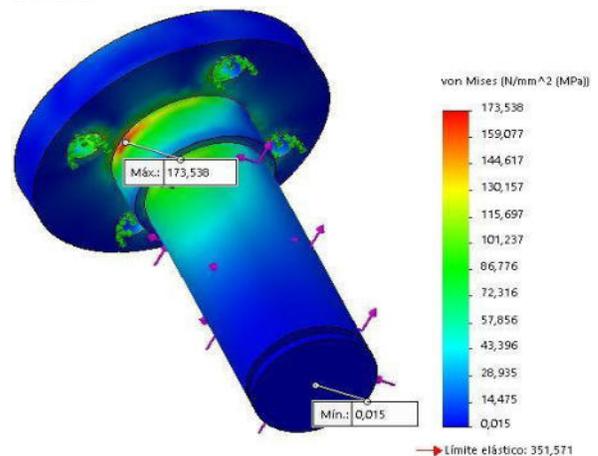


Figura 10. Análisis de tensiones (eje del piñón de arrastre).

La figura 10 muestra el valor máximo de 173,538 MPa como valor máximo de von Mises, que es inferior a 351,571 Mpa, cumpliendo con la teoría de Von Mises, evitando fallos.

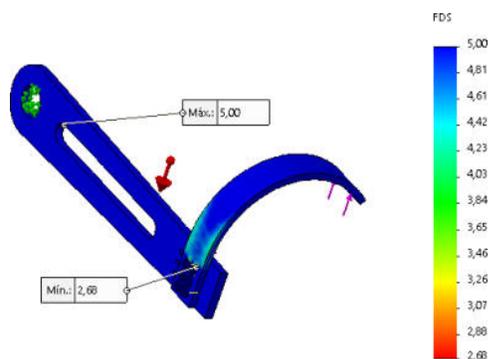


Figura 11. Análisis de tensiones (parte inferior derecha).

La figura 11, muestra un FDS 2,68, el valor mínimo de FDS para que un elemento de máquina dúctil sometido a carga estática sea seguro es 2, por lo que el eslabón del lado derecho no fallará.

Diagrama de control

El usuario al tocar los sensores piezoeléctricos envía las señales de entrada a la placa Arduino donde se interpretan los datos digitales, se controlan los ángulos de posición y el tiempo de duración de la señal para activar los motores que permiten el movimiento para el funcionamiento del exoesqueleto.

El software Escon Studio permite configurar los parámetros del controlador, como el modo de funcionamiento, el tipo de motor, la posición del rotor y las entradas de habilitación, para que la ejecución de los motores se ajuste a los movimientos requeridos.

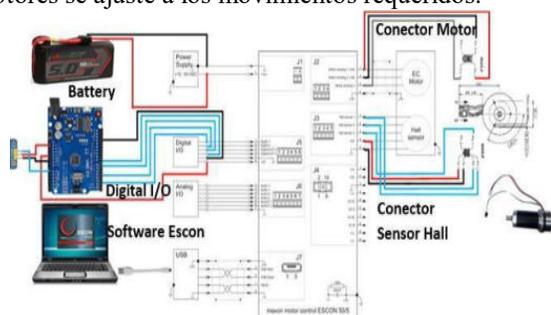


Figura 12. Diagrama del proceso de control Diagrama del proceso de control.

La figura 13 muestra las fases del exoesqueleto de cadera, que son levantarse, caminar, reajustarse y sentarse con respecto a los diferentes ángulos y tiempos de funcionamiento.

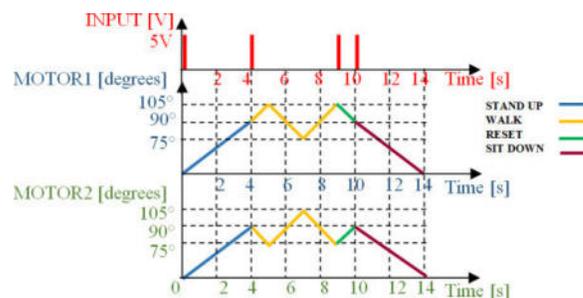


Figura 13 Diagrama de fases del exoesqueleto

La Tabla V muestra la validación del sistema de control al permitir que el exoesqueleto funcione con las pruebas realizadas en personas de diferentes pesos y, por tanto, diferentes requisitos de torsión durante las fases principales de ejecución, levantamiento, marcha y sedestación.

Dónde

W: Peso del usuario

T: Tiempo en cada

fase D.T: Par de

diseño R.T: Par

requerido

Ef: Eficacia del control

Tabla 6. Control validación

Fase 1		Levántate			
W [Kg]	T [s]	D.T [Nm]	R.T [Nm]	Ef. [%]	
65	4	97,6	73,5	132,8	
70			79,1	123,3	
75			84,8	115,1	
Fase 2		Caminar			
65	2	97,6	38,0	256,6	
70			40,9	238,3	
75			43,9	222,3	
Fase 2		Siéntate.			
65	4	97,6	73,5	132,8	
70			79,1	123,3	
75			84,8	115,1	

IV. CONCLUSIONES

Para la selección antropométrica personas con parámetros principales de altura hasta 1,70m y 70kg de peso límite, que se encuentran dentro de los percentiles más utilizados en el diseño P5 y P50 y bajo la norma ISO 7250.

Mediante el análisis cinemático directo e inverso, con una posición inicial del exoesqueleto en (0,0) [mm]

y un ángulo de 90°, se determina el punto crítico de elevación de (240,42, -240,42) [m] con un ángulo de 45°, lo que permite establecer la trayectoria final del mecanismo.

Para el ciclo de trabajo del exoesqueleto con un ángulo de trabajo de 90° a una velocidad de 3,75 rpm soportando una carga de 22,79 N, un motor de 100 vatios con una caja de cambios de 353:1 para obtener un par final de 94,98 Nm.

En la parte más crítica de la estructura, el Eje del Piñón de Impulsión fue ensayado de acuerdo con el criterio de Von Mises, porque está sometido a varias cargas que no presentan fallas, el valor máximo de 173,538 MPa como valor máximo de von Mises, que es menor que 351,571 Mpa, cumpliendo con la teoría de Von Mises, y con el análisis del factor de seguridad, tiene un valor mayor que 2, lo que demuestra que el diseño es Seguro.

El sistema de control activa al usuario de forma táctil pulsando los sensores piezoeléctricos que permiten que los motores empiecen a funcionar, estableciendo ángulos de 90° para levantar, 30° para caminar y -90° para sentarse.

REFERENCIAS

- [1] S. Federici, F. Meloni y M. Bracalenti, "Gait Rehabilitation with Exoskeletons". En Handbook of Human Motion, Springer, pp.2-5, 2017.
- [2] P.Dario, E.Guglielmelli, B. Allotta. Robótica para aplicaciones médicas. Robotics & Automation Magazine.IEEE. Issue: 3, pp.44,1996.
- [3] D. Galeano, Robótica Médica. Universidad Católica de Nuestra Señora de la Asunción. Facultad de Ciencia y Tecnología, pp.22, 2, 7, 10, 13, 15,2014.
- [4] D. V. Lema. Comparación estadística de medidas antropométricas entre mestizos, indígenas y afroecuatorianos de la Sierra del Ecuador. Tesis de licenciatura. Quito: USFQ, 2013.
- [5] A. Faller, M. Schünke y G. Schünke. Introducción a la estructura y la función. En El cuerpo humano. Nueva York: Thieme Stuttgart, pp.178, 2004.
- [6] Schilling. R. J., Fundamentals of Robotics Analysis and Control, Ed. Prentice-Hall, pp 25-116, 1990.
- [7] Z.Peng, G Ma y M. Luo, "Modeling and gait generation of Powered Lower Exoskeleton Robot," IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, pp. 1802-1804, Jul. 2017.
- [8] Zhang and H. Huang, "Design and Experimental Verification of Hip Exoskeleton With Balance Capacities for Walking Assistance," IEEE Transactions on Mechatronics, vol. 23, no. 1, pp. 274-276, Feb. 2018.
- [8] Q.Wu, X. Wang, F. Du y X.Zhang, "Design and Control of a Powered Hip Exoskeleton for Walking Assistance", International Journal of Advanced Robotic Systems, pp. 1-3, 2015.
- [9] K.Seo, J.Lee and Y. J.Park, "Autonomous Hip Exoskeleton Saves Metabolic Cost of Walking Uphill," In 2017 Transactions on International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR), IEEE, pp. 246-247, Jul. 2017.
- [10] A. J. Young, J.Foss, H. Gannon y D P. Ferris, "Influence of Power Delivery Timing on the energetics and Biomechanics of humans Wearing a hip exoskeleton", en Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. 5, no. 4 pp. 3, mar. 2017.
- [11] M.Gloger, G. Obinata, E.Genda, J.Babjak and Y.Pei, "Active Lower Limb Orthosis with One Degree of Freedom for People with Paraplegia," In 2017 Transactions on International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR), IEEE, pp. 258, Jul. 2017.
- [12] Z. Aftab and A.Ali, "Simulating a wearable lower-body exoskeleton device for torque and power estimation," In International Conference on Humanoid Robotics (Humanoids), IEEE-RAS, pp. 413, Nov. 2017.
- [13] J.A. Medrano e I.Z. Hernández, "Diseño de un exoesqueleto de miembro inferior para la movilidad de personas con paraplejia", En XVI Congreso Mexicano de Robótica, pp.3-6, nov. 2014.
- [14] J. F. Veneman, R. Kruidhof, E. E. Hekman, R Ekkelenkamp, E. H. Van Asseldonk, H. van der Kooij, "Design and evaluation of the LOPES exoskeleton robot for interactive gait rehabilitation," IEEE Trans. on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, vol. 15, pp.379,2007.
- [15] T.Lenzi, M.C.Carrozza, and S. K. Agrawal, "Powered Hip Exoskeletons Can Reduce the User's Hip and Ankle Muscle Activations During Walking," IEEE Trans. on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, vol. 21,no.6, pp.939-940,Nov,2013.
- [16] Medidas básicas del cuerpo humano para el diseño tecnológico, ISO 7250-1:2017.
- [17] Ergonomía -- Evaluación de las posturas de trabajo estáticas, ISO 11226:2000:2006.
- [18] Seguridad de las máquinas -- Principios generales para el diseño -- Evaluación y reducción de riesgos, ISO 12100:2010.

Análisis del comportamiento electrónico del inyector ejbr03701d crdi, bajo la variación de parámetros de tiempo de inyección, presión y números de strk

Analysis of the electrical behavior of the injector ejbr03701d crdi delphi, under the variation of time parameters for injection, pressure and strk

Jefferson A. Bombón¹, Milton P. Chalco²,
Unidad Educativa Nueva Generación, Latacunga - Ecuador

Correspondencia Autores: distritolatacunga05h0033rp@gmail.com

Recibido: 10 de julio 2022, Publicado: 18 de diciembre de 2022

Resumen — El objetivo de esta investigación es determinar el comportamiento electrónico del inyector CRDI EJBR03701D bajo parámetros variables como el tiempo de inyección, la presión y los números STRK. Comprender el comportamiento del inyector CRDI es crucial en el campo de la automoción para establecer rangos y valores de trabajo eficientes. Mediante protocolos y metodologías de ensayo, el estudio proporciona información precisa sobre el comportamiento electrónico del inyector CRDI R03701D. También aporta conocimientos científicos tecnológicos para los investigadores y establece el rango de funcionamiento y el rendimiento del inyector. El estudio emplea el comprobador CRDI VNP - 3500 para realizar pruebas, variando el tiempo de inyección, el número STRK y la presión, estableciendo las características eléctricas del inyector en condiciones óptima.

Palabras clave— Crdi, Inyectores diesel, Caudal, Oscilogramas.

Abstract— This research aims to determine the electronic behavior of the EJBR03701D CRDI injector under varying parameters such as injection time, pressure, and STRK numbers. Understanding the CRDI injector's behavior is crucial in the automotive field to establish efficient working ranges and values. Through testing protocols and methodologies, the study provides accurate information about the electronic behavior of the Delphi R03701D injector. It also contributes scientific technological insights for researchers and establishes the injector's operating range and performance. The study employs the VNP - 3500 CRDI Tester to conduct tests, varying injection time, STRK number, and pressure, establishing the injector's electrical characteristics under optimal conditions

Keywords — Crdi, Diesel injectors, Flow, Oscillograms.

El funcionamiento del motor de combustión interna produce una serie de residuos, entre los cuales se encuentran los gases contaminantes producto de la quema de un combustible fósil [1]. Debido a estos contaminantes, las regulaciones medioambientales son cada vez más estrictas, con el objetivo de reducirlos. Para lograr este propósito, las casas automotrices desarrollan nuevas tecnologías y perfeccionan los sistemas de inyección de combustible. Es así como hoy en día es más común encontrar vehículos con un sistema de inyección CRDI [2].

El sistema CRDI es una forma inteligente de controlar un motor diésel mediante el uso de sistemas computarizados modernos. Ayuda a mejorar la potencia, rendimiento y a reducir las emisiones dañinas de un motor diésel [3]. En comparación con los motores diésel convencionales, los cuales no son CRDI, estos son más lentos, ruidosos y menos eficientes en términos de rendimiento [4].

A pesar de que la utilización de un sistema CRDI en un vehículo diésel conlleva una alta inversión en la adquisición y mantenimiento, las ventajas a largo plazo son significativas [4]. El motor diésel funciona principalmente con un exceso de aire, y si este excedente es demasiado bajo, las emisiones contaminantes aumentan, produciendo contaminantes como el NOX [2]. El sistema CRDI mejora el control de la inyección y la atomización del combustible, lo que ayuda a ahorrar combustible y a reducir las emisiones. Se estima que es posible ahorrar alrededor del 30% de combustible en comparación con un motor diésel convencional, además

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

de reducir el ruido debido a una sincronización más precisa [5].

Los inyectores CRDI de Delphi y su tecnología se encuentran en diferentes marcas de vehículos, que circulan en el medio. Sin embargo, la información relacionada con estos sistemas, incluidos los mantenimientos, protocolos de pruebas y calibración de inyectores Delphi, es escasa y limitada [6].

Dado que hay poca información y personal capacitado, los trabajos de mantenimiento se vuelven arduos y escasos. Dado el aumento de la demanda de vehículos con este sistema, es necesario conocer el comportamiento electrónico y los parámetros de funcionamiento del mismo en ciertas condiciones de uso [6].

Por esta razón, la investigación se centró en determinar los parámetros eléctricos y electrónicos característicos del inyector EJBR03701D, mediante pruebas de voltaje de activación, retención, amperaje, resistencia en la bobina e inductancia. Estas pruebas presentan las características de trabajo del inyector cuando están en condiciones óptimas de funcionamiento del Sistema CRDI de Delphi.

Este sistema se ha diseñado para: reducción del ruido, de las emisiones contaminantes, del consumo de combustible y aumento de las prestaciones. En el caso específico del sistema CRDI de Delphi, se subdividen en dos tipos, donde la PCM controla directamente los inyectores y la bomba, recibiendo toda la información necesaria para operar el motor [7].



Figura 1. Inyector Delphi

El módulo se comunica con la PCM y controla este a los inyectores, llamado IDM (Inyector Drive Module) este módulo actúa como un amplificador del PCM dados los requerimientos de potencia que se requieren para operar este tipo de inyectores [7].

Al utilizar un sistema de alimentación CRDI, el valor que se incrementa es la presión de combustión debido a una inflamación de la mezcla aire-combustible, lo cual provoca un aumento de ruido. En un motor diésel, la combustión no empieza inmediatamente después de la inyección del combustible en el cilindro. Este retraso se llama el retraso de inflamación. El aumento de la presión del cilindro durante la inflamación del combustible provoca un ruido de combustión elevado en función de la cantidad inyectada previamente. Para disminuir el ruido de combustión, hay que reducir pues el plazo de inflamación. La disminución de este plazo pasa por un aumento de la temperatura y de la presión en el cilindro. Para ello son posibles varios métodos; Disminución de la cantidad inyectada, precalentamiento, recalentamiento del aire de sobrealimentación, multi inyección (Añadido de una inyección antes de la inyección principal), el precalentamiento y la multi inyección son los 2 procedimientos más empleados [2].

El equilibrio correcto de las proporciones de aire y combustible es de suma importancia para reducir las emisiones contaminantes. De esta forma se ilustran gráficamente los valores adecuados [1]. El motor diésel funciona principalmente con un exceso de aire. Si el excedente de aire es demasiado bajo, las emisiones contaminantes aumentan [2].

Los inyectores de combustible diésel de Delphi son una familia de productos mecánicos altamente versátiles que puede adaptarse para su uso en una amplia gama de liviano, medio y sistema pesado de combustible, de inyección directa y motores diésel de inyección indirecta [2].

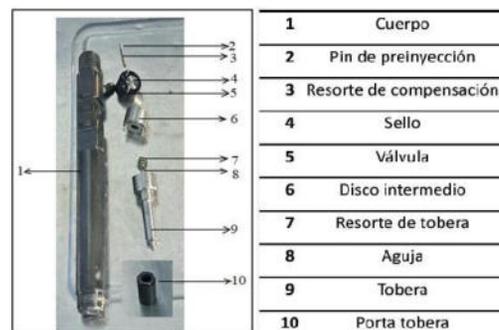


Figura 2. Composición de un inyector Delphi.

Los inyectores de carburante de Delphi diésel están disponibles en una amplia gama de diseños, esto proporciona a fabricantes la libertad para optimizar el rendimiento de las emisiones de motor y vehículo con diseño de motor y otros componentes del sistema de combustible.

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

Cuando se combina con otros componentes del sistema combustible apropiado, Delphi inyectores de combustible diésel han demostrado para contribuir a la consecución de estándares de emisiones hasta e incluyendo Euro IV [2].

II. MÉTODOS Y MATERIALES

Para llevar a cabo el cumplimiento del protocolo de pruebas se utiliza el Tester VNP – 3500 CRDI, además con la pinza amperimétrica Brain Bee, y el Osciloscopio Hantek 1008c .

Osciloscopio Hantek 1008c.

El osciloscopio automatizado Hantek 1008c permite visualizar y medir señales eléctricas de inyectores en tiempo real. Se conecta a la PC y su software permite ajustar escalas, tomar medidas y visualizar oscilogramas en ocho canales. Es una herramienta útil para el diagnóstico y reparación de sistemas de inyección automatizada. Los investigadores lo usan para identificar problemas como fugas, obstrucciones o fallos en los inyectores



Figura 3. Osciloscopio Hantek.

Pinza amperimétrica .

La pinza amperimétrica, mide corriente sin necesidad de abrir el circuito, detecta el campo magnético generado

por la corriente circulante en un conductor, y su nombre proviene de su diseño de pinza que abraza el cable a medir.



Figura 4 Pinza Amperimétrica

Tabla 1. Especificaciones de la pinza amperimétrica Pinza amperimétrica Brain Bee

Entrada.	60A Max AC/DC
Salida.	10mV/A - 100mV/A
Max voltaje.	240V- AC / 300V - DC

Tester CRDI V – 3500 VNP

El Tester VNP - 3500 CRDI es un dispositivo especializado en analizar inyectores de marcas Bosch, Delphi y Denso, utilizando controles digitales STRK para ajustar el número de inyecciones, la presión y el tiempo de pulso del inyector. Utiliza contadores digitales automatizados con diferentes regímenes de trabajo, junto con tubos de ensayo y probetas de control para análisis visuales y comparaciones posteriores, ofreciendo así una herramienta completa para evaluar y comparar el estado mecánico y electrónico de los inyectores.

Tabla 2.Especificaciones técnicas del banco de pruebas V – 3500.

Categoría	Especificaciones
Modelo No.	MT 3000
Tipo de control	Regulador de aire + digital
CPU	18.4 MHz
Entrada	AC 220, MAX 300W
Salida	DC 0 – 12 V, MAX 200W
Corriente de funcionamiento	13A / MAX 30A por canal Para operación multicanal: MAX 25ª
Entrada de presión	8 bar
Salida de presión Max.	800 bar
Temperatura	5 – 40 °C
Fusible	110V 2ª
Peso	55 Kg

Para utilizar el Tester VNP-3500 correctamente, se deben seguir protocolos de inspección inicial, que incluyen verificar y limpiar la trampa de agua, asegurarse de que no haya fugas en el filtro de aceite, ajustar el control de presión principal y verificar el nivel de viscosidad del sistema. Además, se debe asegurar que las mangueras y cañerías estén libres de residuos y correctamente conectadas. El montaje del inyector debe seguir un protocolo específico, incluyendo el uso de guantes y equipo de protección personal. Es crucial no encender la máquina sin que los inyectores estén instalados correctamente. Durante el montaje, se deben ajustar las cañerías con cuidado para evitar fugas y daños. Se deben seguir las sugerencias proporcionadas para el uso adecuado del Tester VNP-3500.

- Tener en cuenta que nada ingrese en los cilindros de pulverización el momento del montaje de los inyectores.
- Utilizar siempre guantes de látex al momento de manipular los inyectores
- Por ningún motivo encender la máquina durante el proceso de montaje de los inyectores.
- Cuando el equipo no esté en uso, gire la válvula de presión de liberación en sentido antihorario una vez (liberación de presión)
- Cuando un inyector no está conectado al orificio de descarga, el aceite podría fluir.

El protocolo que utilizarse fue basado en la variación de tiempo de inyección, numero de STRK y presiones de funcionamiento. Teniendo en cuenta los datos iniciales, realizar las pruebas en el inyector y anotarlos en la tabla de datos.

La tabla de datos debe ser llevada a cabo para todas las presiones establecidas. Dentro de los valores a medir se encuentran; Voltaje de activación (V), Voltaje de retención (V), Resistencia en la bobina (Ω), Inductancia (H).

III. PRUEBAS Y RESULTADOS

El diseño de la investigación del comportamiento mecánico del inyector EJBR03701D CRDI Delphi inicia a partir de un problema con ello se formuló la hipótesis. Para confirmar la hipótesis se planteó la caracterización del inyector y el protocolo de pruebas en el cual se utilizó instrumentos y técnicas de medición. Con el desarrollo del protocolo de pruebas se generaron resultados, los cuales fueron tratados con técnicas de análisis de datos, estos se escribieron en el reporte y a la vez se los puede considerar para una nueva hipótesis de acuerdo a los resultados alcanzados.

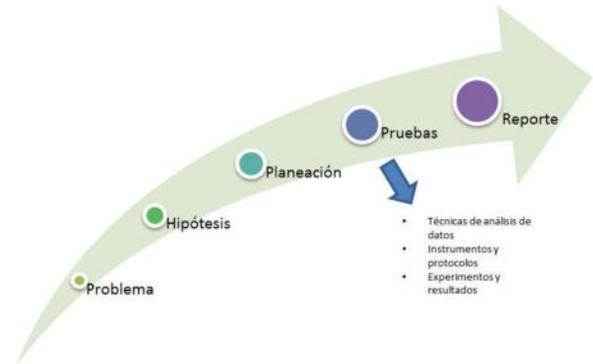


Figura 5 Metodología

Inyector EJBR3701D CRDI Delphi.

El primer inyector a ser sujeto de estudio fue el EJBR03701D de la casa comercial automotriz Delphi, el cual es usado en las motorizaciones diésel CRDI que cumplen la normativa ambiental euro III, de 2.9lt, cuatro cilindros, de la marca Hyundai / Kia para los modelos Terracán y Carnival respectivamente, motores que llegan a generar 150 CV, estos inyectores utilizan una tobera de serie L137PRD y para complementar el funcionamiento de estos inyectores en la motorización descrita es necesario mencionar que es compatible con una bomba rotativa de serie 9044A072A.

Tabla 3. Aplicación del inyector Delphi R03701D.

Marca de auto.	Hyundai. Kia.
Modelo.	Terracán. Carnival.
Motor.	2.9 CRDI.
BHP.	150.
Cilindros.	4.
Normas emisión.	Euro III.
Bomba.	9044A072A.
Tobera.	L137PRD.

Análisis de las pruebas a la presión de 300 bar

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

Tabla 4. Prueba del inyector Delphi EJBR03701D a una presión de 300bar con una variación del número de pulsos de (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms

PRESIÓN DE 300 BAR

STRK	Tiempo de inyección	Vol-taje de activación	Vol-taje de retención	Co-rriente de activación	Re-sis-tencia en la bobina	In-duc-tancia
	ms	(V)	(V)	(A)	(Ω)	(H)
250	0,25	20,3	2,1	16,5	0,3	88,49
250	1	20,4	2,1	16,9	0,3	88,49
250	2	20,4	2,3	16,1	0,3	88,49
500	0,25	20,4	2	16,6	0,3	88,49
500	1	20,4	2	17,5	0,3	88,49
500	2	20,4	2	16,8	0,3	88,49
750	0,25	20,4	2	17,5	0,3	88,49
750	1	20,4	2	16,5	0,3	88,49
750	2	20,4	2	16,8	0,3	88,49
990	0,25	20,4	2	16,7	0,3	88,49
990	1	20,4	2	16,7	0,3	88,49
990	2	20,4	2	16,3	0,3	88,49

En la tabla 4 se observa la variación del número de STRK y tiempo de inyección para cada una de las pruebas, se determinó un consumo promedio de voltaje de 20.385 V, también se determinó que el voltaje de retención oscila entre valores similares siendo 2V el valor mínimo y 2,3 V el valor máximo, en cuanto a la corriente de activación se puede observar un valor mínimo de 16.1 A y un valor máximo de 17.5 A resultando un promedio de corriente de activación de 16.675 A, además se comprobó que para el buen funcionamiento de la bobina debe exponer un valor resistivo de 0.3Ω, y una inductancia de 88,84 μH, estos valores de resistencia e inductancia son independientes de los parámetros variados en las diferentes pruebas .

Análisis de las pruebas a la presión de 500 bar

Tabla 5. Prueba del inyector Delphi EJBR03701D a una presión de 500 bar con una variación del números de pulsos de (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms

PRESION DE 500 BAR

STRK	Tiempo de inyección	Vol-taje de retención	Vol-taje de activación	Co-rriente de Activación	Re-sis-tencia en la Bobina	In-duc-tancia
	ms	(V)	(V)	(A)	(Ω)	(H)
250	0,25	20,3	2	15,6	0,3	88,49
250	1	20,4	2	16,7	0,3	88,49
250	2	20,4	2	16,9	0,3	88,49
500	0,25	20,4	2	15,8	0,3	88,49
500	1	20,4	2	15,9	0,3	88,49
500	2	20,4	2	16,5	0,3	88,49
750	0,25	20,4	2	16,8	0,3	88,49
750	1	20,4	2	17,1	0,3	88,49
750	2	20,4	2	15,9	0,3	88,49
990	0,25	20,4	2	17,5	0,3	88,49
990	1	20,4	2	16,8	0,3	88,49
990	2	20,4	2	16,8	0,3	88,49

En la tabla 5 se observa la variación del número de STRK y tiempo de inyección para cada una de las pruebas, se determinó un consumo promedio de voltaje de 20.395 V para su activación, se puede observar que el voltaje de retención oscila entre valores similares teniendo así un voltaje continuo para esta prueba de 2 V, se obtuvo un valor promedio de corriente de 16.56 A, además se comprobó que para el buen funcionamiento de la bobina debe exponer un valor resistivo de 0.3Ω, y una inductancia de 88,84 μH, estos valores de resistencia e inductancia son independientes de los parámetros variados en las diferentes pruebas.

Análisis de las pruebas a la presión de 700 bar

Tabla 6. Prueba del inyector Delphi EJBR03701D a una presión de 700 bar con una variación de los números de pulsos de (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms

PRESION DE 700 BAR

STRK	Tiempo de inyección	Vol-taje de activación	Vol-taje de retención	Co-rriente de Activación	Re-sis-tencia en la Bobina	In-duc-tancia
	Ms	(V)	(V)	(A)	(Ω)	(H)
250	0,25	20,3	2,1	(A)	0,3	88,49

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

inyección en ms, (c) en el cual la distancia vertical representa el voltaje de activación en voltios, (d) es la calibración que permite realizar el osciloscopio para el eje de tiempo, el cual es de 500 μ s, (e) es la distancia vertical del valor para el voltaje de retención, (f) es la distancia que representa el tiempo de retención de inyección, este valor irá aumentando conforme variemos el valor del tiempo de inyección, (g) es la calibración que permite realizar el osciloscopio para el eje y, el cual es de 5V.

El siguiente oscilograma presenta la corriente, cual inicia y culmina en el mismo momento en que lo hace la gráfica de voltaje.

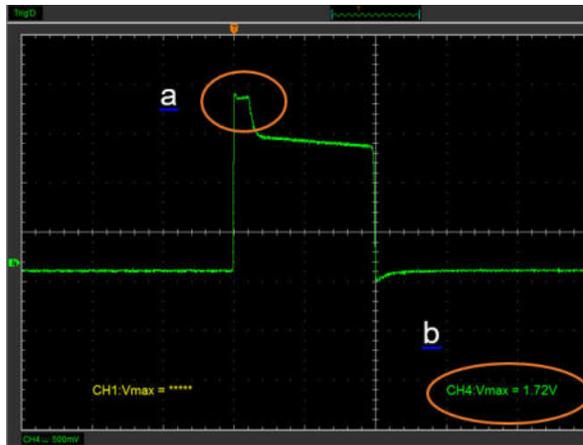


Figura 82. Detalle de las partes que componen la gráfica de corriente.

Los significados de las letras se detallan de la siguiente forma, (a) es el tiempo de disparo en la gráfica de corrientes. (b) es el valor de activación de la curva de corriente, esta opción es posible visualizarlo ingresando a la opción de measure value que es necesario transformarlo para obtener el amperaje con la relación de 10 mV es igual a 1 amperio.

Los oscilogramas de cada prueba realizada en el inyector inductivo comparten similitud en su forma, lo que establece un solo patrón de identificación de la curva de inyección, los parámetros que se diferencian son apreciables mediante el análisis de la información, expuesta en cada una de las tablas y graficas de barras, anteriormente presentadas, y según los datos que a continuación se identifican en cada figura.

Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 0.25 ms, inyector inductivo Delphi R03701D CRDI.

Los siguientes oscilogramas de voltaje y corriente se los obtuvo variando los pulsos de inyección a 0.25 ms,

independientemente de la presión de trabajo y los STRK además la calibración del osciloscopio se la especifico en 500us para el eje de las abscisas y 1,25 V para el eje de las ordenadas.

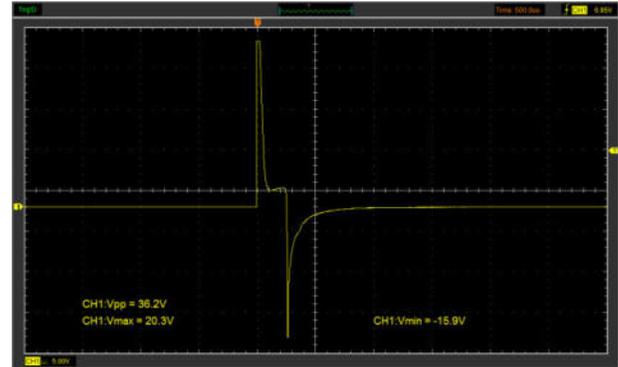


Figura 9 Curva de voltaje, con un tiempo de inyección de 0,25ms del inyector EJBR03701D CRDI Delphi independiente de su presión de trabajo

En la figura 9 se observa que la curva amarilla representa el voltaje de activación de 20,3 voltios en 0,0244 milisegundo y un voltaje de retención de 2 voltios en un tiempo de 0,2257 milisegundos, el voltaje de activación no se alteró al momento de variar los parámetros de número de STRK o presión.

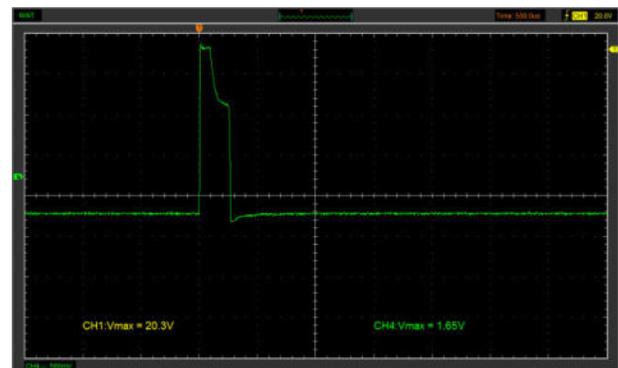


Figura 3. Curva de corriente, con un tiempo de inyección de 0,25ms del inyector EJBR03701D CRDI Delphi independiente de su presión de trabajo

En la figura 10, se observa la curva verde que indica la corriente necesaria para activar el inyector de 16,5 amperios, la cual se mantiene durante el tiempo de disparo, el amperaje de activación no se vio alterado al variar los parámetros de número de STRK o presión del sistema.

Artículo Científico / Scientific Paper

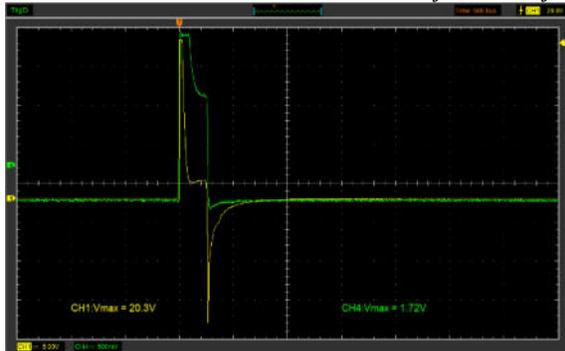


Figura 4. Curva de voltaje y corriente simultaneo con un tiempo de inyección de 0,25 ms, del inyector EJBR03701D CRDI Delphi.

En la figura 11 se aprecia la activación simultánea de la señal de voltaje y corriente, identificándose que al pico de voltaje de la activación del inyector se aproxima el pico de corriente, para luego descender hasta la zona donde empieza el tiempo de retención de la inyección, hasta llegar a finalizar totalmente el proceso de inyección.

Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 1 ms, inyector inductivo Delphi R03701D CRDI.

Los siguientes oscilogramas de voltaje y corriente se los obtuvo variando los pulsos de inyección a 1 ms, independientemente de la presión de trabajo y los STRK además la calibración del osciloscopio se la especifico en 500us para el eje de las abscisas y 1,25 V para el eje de las ordenadas.

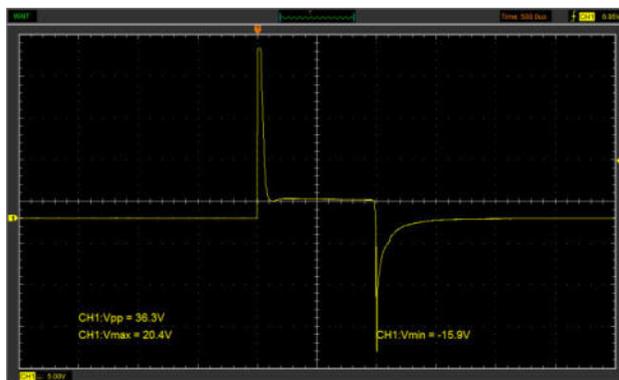


Figura 5. Curva de voltaje, con un tiempo de inyección de 1ms del inyector EJBR03701D CRDI Delphi independiente de su presión de trabajo

En la figura 12 se observa que la curva amarilla presenta el voltaje de activación de 20,4 voltios en 0,0243 milisegundos y un voltaje de mantenimiento de 2,1 voltios en un tiempo de 0,9757 milisegundos, el voltaje de activación no se ve alterado al momento de variar los parámetros número de STRK o presión del sistema.

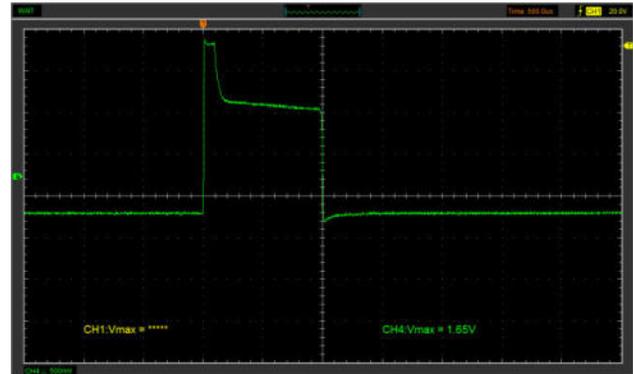


Figura 13. Curva de corriente, con un tiempo de inyección de 1ms del inyector EJBR03701D CRDI Delphi independiente de su presión de trabajo

En la figura 13, se observa la curva verde que indica la corriente necesaria para activar el inyector de 16,5 amperios, la cual se mantiene durante el tiempo de disparo, el amperaje de activación no se vio alterado al variar los parámetros de número de STRK o presión del sistema.

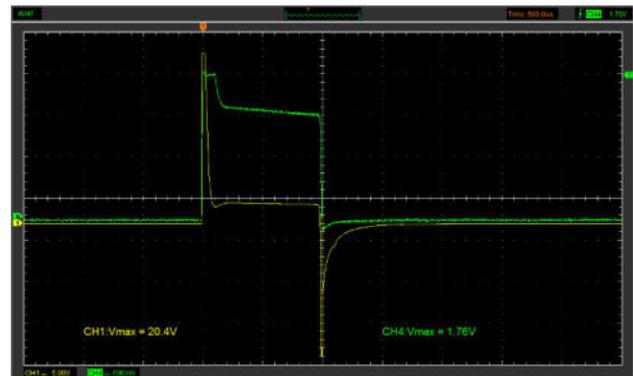


Figura 6. Curva de voltaje y corriente simultaneo con un tiempo de inyección de 1 ms, del inyector EJBR03701D CRDI Delphi.

En la figura 14 se aprecia la activación simultánea de la señal de voltaje y corriente, identificándose que al pico de voltaje de la activación del inyector se aproxima el pico de corriente, para luego descender hasta la zona donde empieza el tiempo de retención de la inyección, hasta llegar a finalizar totalmente el proceso de inyección

Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 2 ms, inyector inductivo Delphi R03701D CRDI.

Artículo Científico / Scientific Paper

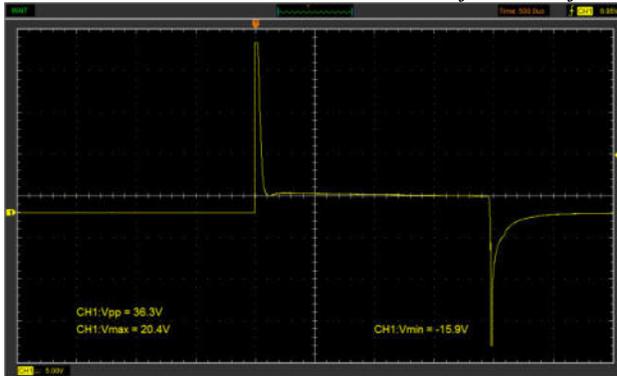


Figura 7. Curva de voltaje, con un tiempo de inyección de 2ms del inyector EJBR03701D CRDI Delphi independiente de su presión de trabajo

En la figura 15 se observa que la curva amarilla presenta el voltaje de activación de 20,4 voltios en 0,0243 mili segundo y un voltaje de mantenimiento de 2 voltios en un tiempo de 1,9757 milisegundos, el voltaje de activación no se ve alterado al momento de variar los parámetros número de STRK o presión del sistema.

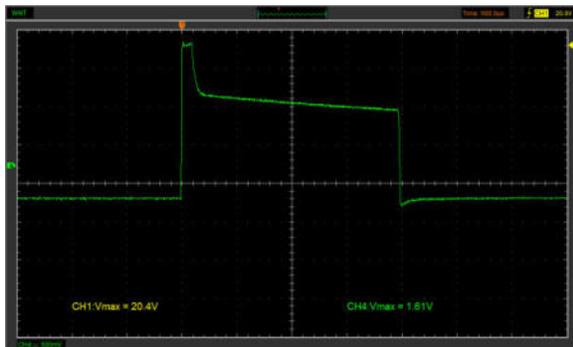


Figura 8. Curva de corriente, con un tiempo de inyección de 2ms del inyector EJBR03701D CRDI Delphi independiente de su presión de trabajo

En la figura 16, se observa la curva verde que indica la corriente necesaria para activar el inyector de 16,1 amperios, la cual se mantiene durante el tiempo de disparo, el amperaje de activación no se vio alterado al variar los parámetros de número de STRK o presión del sistema.

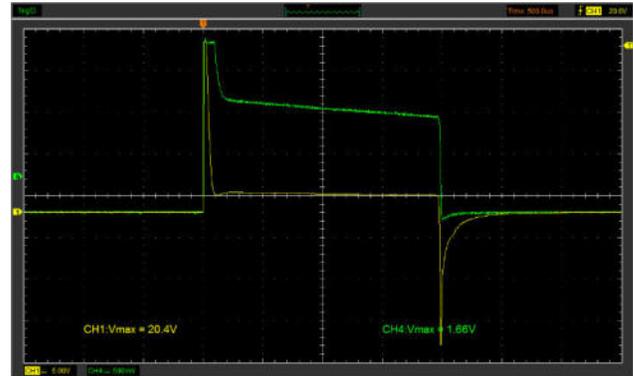


Figura 17. Curva de voltaje y corriente simultaneo con un tiempo de inyección de 2 ms, del inyector EJBR03701D CRDI Delphi.

En la figura 17, se aprecia la activación simultánea de la señal de voltaje y corriente, identificándose que al pico de voltaje de la activación del inyector se aproxima el pico de corriente, para luego descender hasta la zona donde empieza el tiempo de retención de la inyección, hasta llegar a finalizar totalmente el proceso de inyección.

IV. CONCLUSIONES

Los valores obtenidos muestran que la corriente de activación varía entre 15.7 A y 17.6 A, con un promedio de 15.58 A, mientras que el voltaje de activación promedio es de 20.4V y el voltaje de retención promedio es de 2V, con resistencia eléctrica e inductancia constantes en 0.3Ω y $88.84 \mu\text{H}$ respectivamente.

Los oscilogramas de voltaje y corriente proporcionan una representación detallada de la activación de los inyectores, mostrando la relación entre voltaje y corriente durante el proceso de inyección.

La estabilidad de la corriente y el voltaje de activación a lo largo de diferentes pulsos de inyección indica una robustez en el diseño y funcionamiento del inyector, lo que sugiere una alta confiabilidad en su desempeño en diversas condiciones de operación.

La representación gráfica detallada proporcionada por los oscilogramas facilita la identificación de patrones consistentes en la activación de los inyectores, lo que puede ser útil para el diagnóstico preciso de problemas y el ajuste óptimo de los parámetros de inyección.

La correlación observada entre los picos de voltaje y corriente durante la activación del inyector sugiere una relación directa entre estos dos parámetros, lo que puede ser importante para comprender mejor el proceso de inyección y optimizar su eficiencia.

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

La similitud en la respuesta del inyector bajo diferentes condiciones de tiempo de inyección y presión de trabajo indica una consistencia en su desempeño, lo que podría traducirse en una mayor confiabilidad y durabilidad en aplicaciones prácticas.

La variación en el tiempo de inyección a 0.25 ms, 1 ms y 2 ms no afecta significativamente los valores de corriente y voltaje de activación, lo que indica una estabilidad en el funcionamiento del inyector.

La activación simultánea de la señal de voltaje y corriente revela una correlación entre el pico de voltaje de activación y el pico de corriente, seguido por un período de retención de inyección antes de finalizar el proceso.

Estos resultados sugieren que el inyector inductivo Delphi R03701D CRDI mantiene un comportamiento consistente y predecible en términos de activación bajo diferentes condiciones de tiempo de inyección y presión de trabajo.

REFERENCIAS

- [1] Orovio, M. (2010). *Tecnología del automovil*. Paraninfo: Madrid.
- [2] Ganesan V (2012). *Internal Combustion Engines*. Tata McGraw Hill: New Delhi.
- [3] Delphi France SAS. *MANUAL COMMON RAIL Principios de Funcionamiento*. Blois: Delphi France SAS, 2007.
- [4] Delphi Automotive LLP. *DELPHI*. 2015.
- [5] <http://www.delphi.com/manufacturers/auto/powertrain/diesel/inject/diesel-fuel-injectors>.
- [6] Delphi. *Manual Common Rail Principios de Funcionamiento*. Francia.: Delphi France SAS., 2007.
- [7] Bombón, T., Jefferson, A., & Chalco, S., Milton, P. (2017). *Investigación del comportamiento mecánico y electrónico de los inyectores de marca Delphi "EJBR02801D" y "EJBR04601D" del sistema de inyección crdi (common rail diésel injection) (Bachelor's thesis, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga. Carrera de Ingeniería Automotriz.)*.
- [8] Torres, y Arizaga. *Diseño de un simulador para diagnóstico de bombas CRDI e implementación en un banco de pruebas*. Cuenca, 2014
- [9] Fustillo, J.M. *Programa Master Sistemas Common Rail*. Miami, 2006

[10] Bosch, R. (2005). *Sistemas de inyección diesel por acumulador Common Rail*. Reverté.

[11] Arco Sola, J. (2015). *Hydraulic Characterization of Diesel Engine Single-Hole Injectors*.

[12] Mobasheri, R. (2017). *Influence of narrow fuel spray angle and split injection strategies on combustion efficiency and engine performance in a common rail direct injection diesel engine*. *International Journal of Spray and Combustion Dynamics*, 9(1), 71-81.

Análisis comparativo de consumo de combustible y emisiones producidas por un generador de hidrógeno de celda seca vs gasolina de 92 octanos el motor de combustión interna EFI 1800 cc

Comparative analysis of fuel consumption and emissions produced by a dry cell hydrogen generator vs. 92 octane gasoline in the EFI 1800 cc internal combustion engine.

Marco Masapanta ¹, Darwin Aimacaña ²
RA MOTORS DEL ECUADOR ¹, LUBRICACION GLOBAL ²

Correspondencia Autores: eduarmspnt@gmail.com , aimapaul26@gmail.com

Recibido: 18 de octubre de 2022, **Publicado:** 15 de diciembre de 2022

Resumen— *La integración de un generador de hidrógeno de celda seca en el motor Opel Corsa de 1.8 L implica la operación de un sistema que produce HHO como carburante adicional, complementando la mezcla aire-combustible con el objetivo de optimizar el rendimiento del combustible y reducir las emisiones contaminantes. Para evaluar el impacto en las emisiones contaminantes, se llevaron a cabo pruebas aplicando la norma INEN NTE 2204 utilizando un analizador de gases. Los resultados mostraron una reducción de hasta el 12% en monóxido de carbono (CO) al utilizar HHO en combinación con gasolina extra y súper, mientras que los demás gases como hidrocarburos (HC), dióxido de carbono (CO₂) y oxígeno (O₂) no experimentaron reducciones significativas, cumpliendo con los estándares establecidos en ambos casos. Además, se realizó una prueba de consumo conforme al protocolo WLTP, demostrando una optimización del uso de combustible de hasta el 15% al emplear gasolina súper.*

Palabras clave— Emisiones de combustible, Emisiones contaminantes, Generador de hidrógeno. Protocolo WLTP

Abstract— The integration of a dry cell hydrogen generator into the Opel Corsa 1.8 L engine involves operating a system that produces HHO as an additional fuel, complementing the air-fuel mixture to optimize fuel efficiency and reduce emissions. To assess the impact on emissions, tests were conducted following the INEN NTE 2204 standard using a gas analyzer. Results showed a reduction of up to 12% in carbon monoxide (CO) when using HHO with both regular and premium gasoline, while other gases such as hydrocarbons (HC), carbon dioxide (CO₂), and oxygen (O₂) did not experience significant reductions, meeting the standards in both cases. Additionally, a fuel consumption test was conducted

following the WLTP protocol, demonstrating up to a 15% optimization in fuel usage with premium gasoline.

Keywords— Emission, Pollutant emissions, Hydrogen generator, WLTP protocol

I INTRODUCCIÓN

Una aplicación destacada que involucra la generación de hidrógeno es la implementación de un sistema Gasolina-HHO en motores de combustión interna. El gas HHO, producido mediante electrólisis, se introduce directamente en el sistema de alimentación del motor, donde se combina con la mezcla aire-combustible, proporcionando así un carburante suplementario a la gasolina. Este sistema se desarrolla con eficiencia sin causar alteraciones en el funcionamiento adecuado del motor.

La búsqueda de alternativas energéticas para reemplazar los combustibles fósiles en vehículos se justifica por las consecuencias del uso de estos últimos. En Ecuador, por ejemplo, las emisiones de dióxido de carbono derivadas de la quema de combustibles fósiles alcanzaron las 2.3 toneladas métricas per cápita en 2019.

El hidrógeno puede ser utilizado como un carburante adicional a la mezcla aire-combustible, lo que mejora la combustión y optimiza los parámetros característicos del motor. Al ser inyectado directamente en el motor, la combustión del hidrógeno es hasta 10 veces más rápida que la del combustible convencional (gasolina), ocupando los espacios vacíos entre las moléculas. En

esencia, el hidrógeno actúa como una bujía gigante que enciende todo el combustible para una combustión limpia y completa.

Por lo tanto, existe un creciente interés en explorar fuentes de energía alternativas, como la generación de hidrógeno, para complementar los hidrocarburos [1].

II MÉTODOS Y MATERIALES

Se aborda varios aspectos relacionados con el consumo de combustible y las emisiones de gases contaminantes en un motor de combustión interna, así como la implementación de un generador de hidrógeno de celda seca en el vehículo. Se utilizan diferentes métodos y materiales para llevar a cabo estas investigaciones.

Se calcula el consumo específico de combustible utilizando una fórmula específica y se realiza una prueba de consumo de combustible en ruta siguiendo el protocolo WLTP. Para medir las emisiones de gases contaminantes, se utiliza un analizador de gases y se aplica la norma técnica NTE INEN 2204.

Precauciones y medidas de seguridad para la instalación del generador de hidrógeno, así como el procedimiento para la preparación del electrolito necesario. Además, se detallan los componentes y el funcionamiento del generador de hidrógeno de celda seca.

Incluye cálculos relacionados con la admisión de la mezcla aire/combustible en el motor y se presentan los resultados de las pruebas de emisiones de gases tanto con gasolina súper 92 octanos como con gasolina súper 92 octanos y HHO, demostrando el cumplimiento de las normativas correspondientes.

Consumo de combustible

Todo vehículo tiene especificaciones técnicas, dentro de las cuales está el consumo específico de combustible, pero este valor está muy por encima del real ya que este valor se obtiene bajo condiciones óptimas de funcionamiento, tanto del propio vehículo, como de las condiciones exteriores como el clima, tipo de carretera. Por esto es importante la medición del consumo de combustible que tiene por objeto controlar la cantidad de combustible que se consume en determinada distancia. [2]

$$c_e = \frac{m_f \left[\frac{g}{s} \right] * 3600 * V_T [m^3] n_i * n_m}{n_t [kW] * n_v}$$

Donde:

c_e : Consumo específico

m_f : Flujo másico de combustible

V_T : Volumen total motor

n_i : Rendimiento Interno

n_m : Rendimiento mecánico

n_t : Potencia teórica

n_v : Rendimiento Volumétrico

El dióxido de carbono, aunque no tiene efectos directos sobre la salud, se reconoce como un gas de efecto invernadero que contribuye significativamente al calentamiento global al retener el calor en la atmósfera [3].

El monóxido de carbono se forma durante la combustión incompleta de materiales como la madera, aceites y carbón, y se encuentra en los humos de los vehículos y el tabaco. Las emisiones de CO aumentan con la riqueza de la mezcla, siendo bajas y crecientes para mezclas pobres y aumentando bruscamente cuando la mezcla carece de oxígeno [4].

Los hidrocarburos no combustionados presentan un nivel mínimo de emisiones en mezclas pobres, ya que, a mayor riqueza, mayor es la concentración de hidrocarburos en la mezcla. Sin embargo, con mezclas muy pobres, esta tendencia se invierte debido a apagados locales de llama [5].

El hidrógeno es el gas menos denso conocido, con un poder calorífico inferior muy elevado por unidad de masa, pero bajo por unidad de volumen debido a su baja densidad. Tiene una baja energía de activación y amplios rangos de inflamabilidad y explosividad, lo que hace que cualquier mezcla con aire prenda o explote fácilmente [6].

El Protocolo WLTP establece los parámetros básicos para la prueba de consumo de combustible en ruta, incluyendo la duración del ciclo, la distancia recorrida, la fase de conducción y las temperaturas de prueba [7].

Tabla 1. Protocolo wltp de prueba de ruta

Protocolo WLTP (Procedimiento de prueba de vehículos ligeros armonizados en todo el mundo)

Ciclo de prueba	Ciclo dinámico
Duración de ciclo	Mínimo 30 minutos
Distancia del ciclo	Mínimo 23,25 kilómetros
Fase de conducción	52% urbano – 48% extraurbano
Velocidad media	46,5 kilómetros por hora
Velocidad máxima	131 kilómetros por hora

Cambios de velocidad	Calculados para cada automotor
Temperaturas de prueba	14°C a 23°C

Para garantizar la seguridad durante la instalación del generador de hidrógeno de celda seca en el vehículo, es crucial inspeccionar meticulosamente cada componente del sistema, incluidas las mangueras, depósitos, cables eléctricos y el reactor.

Es fundamental tomar precauciones al manipular los reactivos, como el Hidróxido de Potasio y el Bicarbonato de Sodio, para preparar la mezcla. Se deben utilizar guantes de protección personal, gafas protectoras y mascarilla para evitar cualquier riesgo.

Dada la alta explosividad del hidrógeno durante las pruebas de funcionamiento, se recomienda el uso de tapones para los oídos debido al excesivo ruido generado al entrar en contacto con una chispa.

En cuanto a la instalación mecánica del sistema, es necesario posicionar el reactor de hidrógeno de forma vertical para garantizar su correcto funcionamiento. Además, se debe tener en cuenta que la conexión eléctrica es la última etapa del proceso, considerando la señal de salida del generador que se activará mediante la señal de contacto del vehículo.

Para preparar el electrolito, se requiere medio galón de agua, ya sea destilada o no, al que se agregan 10 gramos de bicarbonato y 20 gramos de hidróxido de potasio hasta que la mezcla esté homogénea. Además, se recomienda añadir 2 ml de refrigerante de color a la mezcla antes de verterla en el depósito, lo que facilitará la detección de posibles fugas en el sistema

III PRUEBAS Y RESULTADOS

Para implementar el generador de hidrógeno de celda seca, se requieren componentes específicos del sistema, como el depósito, el secador, el generador y otros filtros de HHO necesarios para la producción de hidrógeno.

En cuanto al funcionamiento del sistema la conexión del reactor de HHO trabaja con 12 V y dispone de las siguientes características.

Tabla 1. Características del generador de hidrógeno

Parámetros	Valor	Unidad
Número de placas (n)	6	---
Consumo de voltaje del generador	12	V
Consumo de amperaje	5	A
Separación entre placas	5	mm

El generador de hidrógeno consta de 6 placas, funciona con un voltaje de 12 V y consume 5 amperios.

Cálculo del volumen de hidrógeno.

$$P * V = n * R * T$$

$$V = \frac{n * R * T}{P} \quad n = m$$

$$V_{H_2} = \frac{1.55 \times 10^{-3} \text{ mol} * 0.082 \frac{\text{atm} \cdot \text{l}}{\text{mol} \cdot \text{K}} * 298 \text{ K}}{1 \text{ atm}}$$

$$V_{H_2} = 0.0378 \text{ l por celda}$$

$$V_{H_2} = 37,8 \text{ ml}$$

El gas de oxígeno producido en volumen es la mitad del volumen del gas de hidrógeno, por lo que el flujo de gas HHO suministrado por el reactor es:

$$V_{O_2} = \frac{V_{totalH_2}}{2} = \frac{226.8 \text{ ml}}{2} = 113.4 \text{ ml}$$

$$V_{HHO} = V_{totalH_2} + V_{O_2}$$

$$V_{HHO} = 226.8 \text{ ml} + 113.4 \text{ ml}$$

$$V_{HHO} = 340.2 \text{ ml}$$

$$V_{totalH_2} = 6 * 37.8 \text{ ml}$$

$$V_{totalH_2} = 226,8 \text{ ml}$$

Analizador de gases

El opacímetro a través del software de inspección sirve para analizar las emisiones contaminantes de motores a gasolina, GNV y diésel, además que cuenta con captadores de RPM y temperatura.

Tabla 2. Protocolo wltp de prueba de ruta

Protocolo WLTP (Procedimiento de prueba de vehículos ligeros armonizados en todo el mundo)	
Ciclo de prueba	Ciclo dinámico
Duración de ciclo	Mínimo 30 minutos

Distancia del ciclo	Mínimo 23,25 kilómetros
Fase de conducción	52% urbano – 48% extraurbano
Velocidad media	46,5 kilómetros por hora
Velocidad máxima	131 kilómetros por hora
Cambios de velocidad	Calculados para cada automotor
Temperaturas de prueba	14°C a 23°C

Después de completar la conexión mecánica y eléctrica del generador de hidrógeno en el vehículo, se llevaron a cabo pruebas en el dinamómetro.

Pruebas de consumo con gasolina súper:

Se aplicó el protocolo WLTP para obtener datos de consumo de combustible. La ruta de prueba, que cubre una distancia de 30 kilómetros, 2820 MSN, se mantuvo un régimen de revoluciones entre 2500 y 3000 rpm, con un flujo de tráfico moderado. Para asegurar la precisión de los datos, se utilizó un tanque secundario transparente y graduado con una capacidad de 7 litros, que permitió medir el volumen de combustible consumido con mayor exactitud. Al finalizar cada prueba, se midió el combustible restante en el tanque secundario utilizando una probeta graduada en mililitros.

Resultados de consumo con gasolina súper:

Se registraron los niveles de consumo en condiciones de uso exclusivo de gasolina súper y en combinación con HHO, con dos pruebas realizadas en cada condición.

Tabla 3. Valores de consumo con gasolina súper y HHO

Sistema	Número de pruebas	Cantidad consumida (l)	Autonomía Km/l	Valor promedio	Variación autonomía
Súper	1	2,56	11,72	11,86	14,58
	2	2,50	12,00		
Súper + HHO	1	2,28	13,16	13,59	
	2	2,14	14,02		



Fig. 1 Consumo con gasolina súper + HHO

Después de completar ambas pruebas para cada condición de consumo de combustible, ya sea con gasolina súper únicamente o combinada con HHO, se obtuvo un promedio de 11.86 kilómetros por litro de combustible en la condición con gasolina súper, y 13.59 kilómetros por litro de combustible en la condición dual con gasolina súper y HHO. Esto representa un aumento del 14.58% en la autonomía del vehículo. Estos resultados se encuentran detallados en la tabla.

Matematización de valores de admisión de la mezcla aire/combustible.

El coeficiente de amortiguación y resistencia $\beta^2 + \xi = 3.1$ para vehículos a gasolina y la velocidad del aire a ese régimen de $W_{ad} = 82 \text{ m/s}$ a una temperatura de 12°C .

Densidad del aire al final de la admisión.

$$\rho_0 = \frac{P_0}{R * T_0} = \frac{72346.05 \text{ Pa}}{286.9 \text{ N} \cdot \frac{\text{m}}{\text{kg}} \cdot \text{K} * 285.15^\circ\text{K}} = 0.88 \text{ kg/m}^3$$

$$P_a = P_0 - (\beta^2 + \xi) * \frac{W_{ad}^2}{2} * \rho_0$$

$$P_a = 72346,05 \text{ Pa} - (3.1) * \frac{(82 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2} * 0.88 \text{ kg/m}^3$$

$$P_a = 63174.51 \text{ Pa} = 0.0631 \text{ MPa}$$

Prueba de emisiones de gases

Las pruebas de emisiones de gases contaminantes del motor de combustión interna OPEL de 1.8 L se realizaron en el laboratorio de Autotrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas con el analizador de gases CARTEK, aplicando la norma técnica NTE INEN 2204 a

una altura de 2820 m sobre el nivel del mar en la parroquia Belisario Quevedo del cantón Latacunga.

TABLA III PRUEBA DE EMISIONES CON GASOLINA SUPER

Par.	Medición 1		Medición 2		Promedio	
	R.	C.	R.	C.	R.	C.
HC	178	54	159	52	168,33	52,33
CO (%V)	0,69	0,77	0,61	0,77	0,63	0,76
CO2 (%V)	13,27	13,42	13,37	13,46	13,31	13,45
O2 (%V)	0,06	0,03	0,06	0,03	0,06	0,03
RPM	774	2229	774	2220	771,00	2219

Nota: R (Ralentí) y C (Crucero)

Aplicando la norma técnica NTE INEN 2204 a 2820 m sobre el nivel del mar se realizaron tres mediciones con sus respectivos promedios al utilizar el combustible súper, en ralentí a 771 rpm y en modo crucero a 2219 rpm, en donde los HC llegaron a 168.33 ppm en ralentí y 52.33 ppm en modo crucero. El porcentaje en volumen del monóxido de carbono CO en modo ralentí llegó a 0.63 y en modo crucero 0.76, del dióxido de carbono CO2 de 13,31 en ralentí y 13.45 en crucero, del oxígeno O2 de 0.06 en ralentí y 0.03 en crucero. Los datos conseguidos aprobaron la norma técnica NTE INEN 2204.

Prueba de emisiones con gasolina Súper y HHO

En la siguiente tabla se muestran los resultados de emisiones de gases contaminantes del vehículo con gasolina súper y HHO aplicando la norma NTE INEN 2204.

Tabla 4. Prueba de emisiones con gasolina súper y HHO

Par.	Medición 1		Medición 2		Promedio	
	R.	C.	R.	C.	R.	C.
HC	173	52	176	54	173,33	53,00
CO (%V)	0,5	0,78	0,61	0,76	0,55	0,77
CO2 (%V)	13,36	13,46	13,35	13,6	13,37	13,50
O2 (%V)	0,07	0,04	0,05	0,03	0,06	0,03

Par.	Medición 1		Medición 2		Promedio	
	R.	C.	R.	C.	R.	C.
RPM	771	2220	772	2213	771	2216

Aplicando la norma técnica NTE INEN 2204 a 2820 m sobre el nivel del mar se realizaron tres mediciones con sus respectivos promedios, en ralentí a 771 rpm y en crucero a 2216 rpm, en donde los HC llegaron a 173.33 ppm en ralentí y 53 ppm en crucero. El porcentaje en volumen del monóxido de carbono CO en modo ralentí llegó a 0.55 y en modo crucero 0.77, del dióxido de carbono CO2 de 13,37 en ralentí y 13.50 en crucero, del oxígeno O2 de 0.06 en ralentí y 0.03 en crucero. Los datos conseguidos aprobaron la norma técnica NTE INEN 2204.

Relación y análisis de emisiones con combustible súper vs súper + HHO

Al aplicar la norma NTE INEN 2204 para el estudio de las emisiones contaminantes, se realizó una tabla resumen con variaciones porcentuales con cada uno de los parámetros de HC, CO, CO2 y O2 al utilizar gasolina súper con hidrógeno.

Tabla 5 Análisis de variación de emisiones contaminantes

Parámetros	Ralentí			Limite
	Súper	Súper + HHO	Variación	
HC (ppm)	168,33	173,33	+2,88%	200 ppm
CO (%V)	0,63	0,55	-12,70%	1%
CO2 (%V)	13,31	13,37	+0,45%	7%
O2 (%V)	0,06	0,06	0,00%	5%

Fuente: Autores

Al implementar hidrógeno con gasolina súper, los hidrocarburos no combustionados HC en el estudio, aumentaron en un valor porcentual de 2.88% en modo ralentí y en modo crucero en un 1.26%. En cambio, hubo una reducción del monóxido de carbono CO de un 12.70% en ralentí y en modo crucero aumentó en un 1.3%. Y con el dióxido de carbono CO2 en modo ralentí aumentó en un 0.45% y disminuyó en modo crucero en un 0.37%. Los valores porcentuales de oxígeno no tuvieron variación en ambos casos y ambos aprobaron la norma NTE INEN 2204.

IV CONCLUSIONES

. La introducción de combustible súper y HHO produjo una reducción del 12,70% en las emisiones de monóxido de carbono en ralentí, y una disminución del 0,37% en las emisiones de dióxido de carbono en régimen de crucero. Estos valores cumplen con los estándares establecidos por la norma NTE INEN 2204.

La preparación del electrolito se realiza utilizando componentes fácilmente disponibles en el mercado, como el hidróxido de potasio, el bicarbonato, un concentrado de refrigerante y agua común.

El estudio detallado del consumo de combustible y las emisiones de gases contaminantes en vehículos de combustión interna revela la importancia de medidas precisas y realistas en condiciones de conducción reales, destacando la necesidad de protocolos como el WLTP y normativas técnicas como la NTE INEN 2204 para evaluar adecuadamente el rendimiento y el impacto ambiental.

La implementación segura y efectiva de generadores de hidrógeno de celda seca en vehículos requiere precauciones rigurosas y la comprensión completa de los componentes y procedimientos involucrados, subrayando la importancia de la seguridad y la preparación adecuada del electrolito.

Los resultados de las pruebas de consumo y emisiones muestran que la adición de hidrógeno (HHO) a la gasolina súper puede mejorar significativamente la eficiencia del combustible y reducir las emisiones de gases contaminantes, lo que respalda la viabilidad de esta tecnología como una medida para mitigar el impacto ambiental de los vehículos de combustión interna.

El análisis detallado de la variación en las emisiones de gases revela patrones consistentes de reducción en los niveles de monóxido de carbono (CO) y ligeros cambios en los niveles de dióxido de carbono (CO₂) y hidrocarburos no combustionados (HC), lo que indica una mejora general en la combustión y la eficiencia del sistema.

La validación de los resultados con respecto a las normativas técnicas garantiza la calidad y la confiabilidad de los hallazgos, respaldando la implementación y el desarrollo continuo de tecnologías de reducción de emisiones en vehículos de combustión interna.

Se recomienda continuar investigando y refinando las técnicas de implementación de generadores de hidrógeno en vehículos, así como realizar pruebas adicionales en diversas condiciones de conducción para evaluar su aplicabilidad en diferentes entornos y situaciones.

Para establecer la influencia del HHO en los parámetros del motor, es fundamental que este esté afinado y funcionando correctamente, garantizando la obtención de datos confiables para el análisis.

Es necesario verificar el adecuado funcionamiento del sistema eléctrico del generador de hidrógeno, incluyendo el voltaje, amperaje y resistencias, para evitar problemas de ineficiencia en el reactor o un consumo inadecuado de la batería que pueda afectar el funcionamiento del vehículo.

REFERENCIAS

- [1] Barreto, W., & Jiménez, J. (2013). Análisis del tren alternativo del motor que funciona a hidrógeno versus el motor a gasolina (Tesis Pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas). Repositorio Institucional, Latacunga. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/7016>
- [2] Castillo, J., Rojas, V., & Martínez, J. (2017). Determinación del Torque y Potencia de un Motor de Combustión Interna a Gasolina Mediante el Uso de Bujía con Sensor de Presión Adaptado y Aplicación de un Modelo Matemático. *Revista Politécnica*, 39(1), 40-58. https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/719
- [3] De Antonio, A. R., & Muñoz, M. (2015). Motores de Combustión interna. www.uned.es/Publicaciones. <https://elibro.net/es/lc/espe/titulos/48846>
- [4] De Correa, C., & Hernández, G. (1998). *Combustibles Alternativos*. Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, 67-77.
- [5] Díaz, Á., González, J., & González, A. (2018). Análisis de un generador de HHO de celda seca para su aplicación en motores de combustión interna. *UIS Ingenierías*, 17(1), 143-154. <https://doi.org/https://doi.org/10.18273/revuin.v17n1-2018013>.
- [6] Universidad de las Fuerzas Armadas [@Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga]. (03 de septiembre del 2021). II Congreso de ciencia y tecnología ESPE 2021 con enfoque en ingeniería automotriz y mecatrónica.
- [7] Aimacaña., & Masapanta Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE Departamento de Energía y Mecánica tema: "Implementación de un sistema de generación de hidrógeno de celda seca en el motor de combustión interna 1800 cc opel.

Optimización del sistema de dirección, suspensión y frenos para aplicación en un supercrosscar

Optimization of Steering, Suspension, and Braking System for Application in a Supercrosscar

Edwin P. Palma¹, Cándido M. Blacio¹.

¹ Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE /Energía y Mecánica

Correspondencia Autores: edpalma@espe.edu.ec, cmbblacio@espe.edu.ec

Recibido: 18 de julio 2022, Publicado: 8 de diciembre de 2022

Resumen— Este proyecto se enfoca en mejorar el rendimiento y las características de un vehículo Suzuki G10 SOCH para competir en circuitos, de acuerdo con las regulaciones de la normativa FEDAK. Se realizaron adaptaciones en tres sistemas clave: dirección, frenos y suspensión.

Para el sistema de dirección, se llevó a cabo una inspección completa, reemplazando piezas desgastadas y mejorando componentes para lograr un radio de giro más reducido. En cuanto a la suspensión, se realizó un reacondicionamiento completo y una optimización del sistema, incluyendo una nueva base de regulación de CAMBER y CASTER para mejorar la estabilidad y maniobrabilidad del vehículo. Se añadieron bases para facilitar la regulación de la rigidez y la altura de la suspensión.

En el sistema de frenos, se implementaron mejoras en los frenos delanteros y se reacondicionaron los frenos posteriores. Se sustituyeron los discos tradicionales por discos perforados y ranurados en la parte delantera para aumentar la eficiencia de frenado sin comprometer la maniobrabilidad del vehículo, se utilizó líquido de frenos resistente a presiones y temperaturas elevadas.

Palabras clave— Sistema de dirección, Sistema de suspensión, Sistema de frenos, Supercrosscar, transferencia de calor y masa.

Abstract— This project focuses on improving the performance and characteristics of a Suzuki G10 SOCH vehicle for competition on circuits, in accordance with FEDAK regulations. Adaptations were made to three key systems: steering, brakes, and suspension.

For the steering system, a complete inspection was conducted, replacing worn parts and improving components to achieve a reduced turning radius. Regarding the suspension, a comprehensive refurbishment and optimization of the system were carried out, including a new CAMBER and CASTER regulation base to enhance the stability and maneuverability of

the vehicle. Bases were added to facilitate the regulation of suspension stiffness and height.

In the brake system, enhancements were implemented on the front brakes, and the rear brakes were refurbished. Traditional discs were replaced with perforated and grooved discs at the front to increase braking efficiency without compromising vehicle maneuverability. Additionally, brake fluid resistant to high pressures and temperatures.

Keywords— Steering system, Suspension system, Brake system, Supercrosscar, heat and mass transfer.

I INTRODUCCIÓN

La problemática radica en la ausencia de un modelo definido para las mejoras que pueden implementarse en un vehículo, con el fin de garantizar un rendimiento óptimo. En este sentido, se han identificado áreas como la mejora de la suspensión, la optimización del sistema de frenado y el mantenimiento del sistema de dirección. Este enfoque se sustenta en el fundamento teórico que describe las distintas partes que componen cada sistema, además de estar alineado con la normativa actual de la FEDAK.

El proyecto surge como respuesta a las limitaciones de los sistemas de dirección, suspensión y frenos estándar del vehículo Suzuki Forza 1, los cuales no aseguran un desempeño adecuado. Por consiguiente, se busca implementar mejoras personalizadas en vehículos de competencia, con el objetivo de potenciar su rendimiento. Gracias a los avances tecnológicos actuales, es posible optimizar estos sistemas de manera conjunta para obtener resultados óptimos. En este contexto, se considera la realización de un prototipo que exhiba las mejoras aplicables al vehículo Suzuki Forza 1 mediante las nuevas tecnologías, cumpliendo con las normativas vigentes en Ecuador.

Para llevar a cabo este proyecto, se utilizan los fundamentos de ingeniería en cada sistema, incluyendo

capacidades, dimensiones, tolerancias, especificaciones y el posicionamiento adecuado antes de la construcción e instalación de los elementos a reemplazar. Una vez completado el análisis preliminar, se realizarán ensayos no destructivos utilizando líquidos penetrantes para identificar posibles imperfecciones en las superficies. Esto garantizará un nivel de calidad óptimo para el rendimiento de las piezas.

Los resultados obtenidos permiten desarrollar un vehículo que cumpla y supere los estándares establecidos por la Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo, para participar en circuitos de competición dentro de Ecuador.

Los laminados de fibra de carbono son ampliamente utilizados en la fabricación de elementos estructurales primarios especialmente críticas para los materiales compuestos laminados debido a que estos daños no suelen ser visibles a simple vista y podrían modificar en gran medida el comportamiento de la estructura. [1] [2], y desde hace unos años se está evaluando su uso en la fabricación de vehículos comerciales, obteniéndose reducciones de peso de los vehículos. [3]

No obstante, el empleo de estos laminados conlleva ciertos desafíos debido a su propensión a la fractura frágil, siendo este aspecto particularmente crítico en el diseño de elementos destinados a la absorción de energía. Con la reducción en el costo de los materiales de carbono/epoxi y la introducción de nuevos métodos de fabricación orientados a la producción en serie, el análisis del comportamiento de los tubos fabricados con estos materiales frente a impactos ha adquirido una relevancia significativa en la actualidad. [4]

El método más apropiado para analizar la respuesta de estos elementos es el ensayo de flexión en tres o cuatro puntos, ya que proporciona una representación fiel de su estado de carga. Durante una colisión, la estructura experimenta cargas dinámicas, lo que demanda la realización de ensayos de impacto para comprender adecuadamente este fenómeno. La evaluación del impacto implica el uso de dispositivos experimentales específicos, como pistolas de gas y torres de caída, así como de equipos de medición sofisticados, como cámaras de alta velocidad.

Si bien algunos autores han investigado la capacidad de absorción de energía de elementos tubulares sometidos a cargas de flexión, estos estudios suelen considerar únicamente las cargas estáticas. Palmer et al. [5] Lim y Lee llevaron a cabo un análisis de los elementos tubulares de sección cuadrada ubicados en la puerta de un vehículo, los cuales fueron fabricados con diferentes laminados de

vidrio/epoxi. Su estudio implicó tanto ensayos estáticos como simulaciones numéricas, centrándose en el fallo progresivo que se manifiesta en un tubo de sección cuadrada sometido a cargas estáticas durante un ensayo de flexión en tres puntos. Los resultados revelaron que el fallo comienza en las esquinas de la sección. En este trabajo, se evaluó la capacidad de absorción de energía de estos elementos tubulares de sección cuadrada cuando se someten a impactos de baja intensidad. [6]

II MÉTODOS Y MATERIALES

Método de selección del disco de freno delantero: Se plantearon las condiciones bajo las cuales el disco de freno operará, utilizando propiedades del material hierro fundido para su análisis.

El aire ambiente a 20 grados centígrados fluye sobre la superficie exterior de un disco de freno de 215 mm de diámetro, alcanzando una temperatura de 73 grados centígrados y una velocidad de 16.66 m/s. Se busca determinar la fuerza total de resistencia al movimiento y la tasa de transferencia de calor por unidad de ancho de la placa para el disco completo.

El flujo de aire sobre la placa plana exige calcular tanto la fuerza total de resistencia al movimiento como la tasa de transferencia de calor por unidad de ancho de la placa. Se asume que el flujo es estacionario.

Se considera que el número de Reynolds crítico es $RE=5 \times 10^5$, y que el flujo es estacionario e incompresible [7]

Las propiedades del aire a la temperatura de película son:

$$T_f = \frac{t_s + t_\infty}{2}$$

$$T_f = \frac{73 + 20}{2}$$

$$T_f = 46.5^\circ\text{C}$$

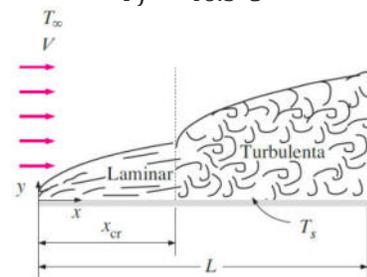


Figura 1. Regiones de análisis para flujo en una placa plana

Cálculo de propiedades del disco y fluido circundante

Se utiliza los valores del apéndice A-15 del libro de transferencia de calor y masa de Yunes y Cengel para conocer las propiedades del aire a la temperatura necesaria para nuestro análisis. [8]

TABLA A-15

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., T, °C	Densidad, ρ, kg/m ³	Calor específico, c _p , J/kg · K	Conductividad térmica, k, W/m · K	Difusividad térmica, α, m ² /s ²	Viscosidad dinámica, μ, kg/m · s	Viscosidad cinemática, ν, m ² /s	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158 × 10 ⁻⁶	8.636 × 10 ⁻⁶	3.013 × 10 ⁻⁶	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036 × 10 ⁻⁶	1.189 × 10 ⁻⁵	5.837 × 10 ⁻⁶	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252 × 10 ⁻⁵	1.474 × 10 ⁻⁵	9.319 × 10 ⁻⁶	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	1.356 × 10 ⁻⁵	1.527 × 10 ⁻⁵	1.008 × 10 ⁻⁵	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	1.465 × 10 ⁻⁵	1.579 × 10 ⁻⁵	1.087 × 10 ⁻⁵	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	1.578 × 10 ⁻⁵	1.630 × 10 ⁻⁵	1.169 × 10 ⁻⁵	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	1.696 × 10 ⁻⁵	1.680 × 10 ⁻⁵	1.252 × 10 ⁻⁵	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	1.818 × 10 ⁻⁵	1.729 × 10 ⁻⁵	1.338 × 10 ⁻⁵	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	1.880 × 10 ⁻⁵	1.754 × 10 ⁻⁵	1.382 × 10 ⁻⁵	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	1.944 × 10 ⁻⁵	1.778 × 10 ⁻⁵	1.426 × 10 ⁻⁵	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	2.009 × 10 ⁻⁵	1.802 × 10 ⁻⁵	1.470 × 10 ⁻⁵	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	2.074 × 10 ⁻⁵	1.825 × 10 ⁻⁵	1.516 × 10 ⁻⁵	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	2.141 × 10 ⁻⁵	1.849 × 10 ⁻⁵	1.562 × 10 ⁻⁵	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	2.208 × 10 ⁻⁵	1.872 × 10 ⁻⁵	1.608 × 10 ⁻⁵	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	2.277 × 10 ⁻⁵	1.895 × 10 ⁻⁵	1.655 × 10 ⁻⁵	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	2.346 × 10 ⁻⁵	1.918 × 10 ⁻⁵	1.702 × 10 ⁻⁵	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	2.416 × 10 ⁻⁵	1.941 × 10 ⁻⁵	1.750 × 10 ⁻⁵	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	2.487 × 10 ⁻⁵	1.963 × 10 ⁻⁵	1.798 × 10 ⁻⁵	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	2.632 × 10 ⁻⁵	2.008 × 10 ⁻⁵	1.896 × 10 ⁻⁵	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	2.780 × 10 ⁻⁵	2.052 × 10 ⁻⁵	1.995 × 10 ⁻⁵	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	2.931 × 10 ⁻⁵	2.096 × 10 ⁻⁵	2.097 × 10 ⁻⁵	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	3.086 × 10 ⁻⁵	2.139 × 10 ⁻⁵	2.201 × 10 ⁻⁵	0.7132

Figura 2. Apéndice de propiedades del aire

De la tabla se utiliza el valor calculado de temperatura de película para obtener los valores necesarios para el cálculo del índice de transferencia de calor y la potencia

$$\rho = \frac{1.204kg}{m^3}$$

$$k = \frac{0.02476w}{m} \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Pr = 0.7309$$

$$v = \frac{1.825 * 10^{-5}m^2}{s^2}$$

Para el cálculo de numero de Reynolds para el final de la placa se tiene:

$$Re = \frac{V * l}{V} \rightarrow Re = \frac{\frac{16.66m}{s} * 0.215m}{1.825 * \frac{10^5 m^2}{s^2}}$$

El número es mayor al número de Reynolds crítico, por consiguiente, se tiene que el flujo sobre el disco de freno es turbulento y el coeficiente de fricción promedio es de

$$Cf = 1.33Re^{-0.5}$$

$$Cf = 1.33 * (172704.9180)^{-0.5}$$

$$cf = 3.20x10^{-3}$$

Para el cálculo de la fuerza de arrastre que actúa por unidad de ancho tenemos

$$FD = Cf * A * \frac{\rho * V^2}{2}$$

$$FD = 3.20 * 10^{-3} * (\pi * 0.215m^2)$$

$$* \frac{1.204Kg}{m^3} * \left(\frac{16.66m}{s}\right)^2 * \left(\frac{1N}{1kg * \frac{m}{s^2}}\right)$$

$$FD = 0.077N$$

Calculado el número de Nusselt para el flujo turbulento, calculó del coeficiente de transferencia de calor por convección

$$h = \frac{k}{L}$$

$$\frac{0.02476w^\circ\text{C}}{m}$$

$$h = \frac{m}{0.215} * 516.017$$

$$h = \frac{59.4260w}{m^2} * ^\circ\text{C}$$

Para realizar el cálculo de la potencia disipada partimos del valor obtenido del coeficiente de transferencia de calor por convección del disco

$$Q = h * As(T_\infty - Ts)$$

$$Q = 59.4260 * (0.215 * \pi^2) * (73 - 20)$$

$$Q = 6683.294W$$

Partiendo de estos datos obtenidos en relación al tiempo real promedio en el cual se acciona el pedal de freno de 3s se realiza una simulación la cual indica cual es el comportamiento del disco de freno en estas condiciones.

La simulación se realizará en ambos discos de frenos para demostrar su comportamiento al análisis

Valores típicos del coeficiente de transferencia de calor por convección	
Tipo de convección	h, W/m ² · °C*
Convección libre de gases	2-5
Convección libre de líquidos	10-1 000
Convección forzada de gases	25-250
Convección forzada de líquidos	50-20 000
Ebullición y condensación	2 500-100 000

Figura 3. Valores típicos del coeficiente de transferencia de calor por convección

Para justificar los valores obtenidos podemos verificar en los valores típicos del coeficiente de transferencia de calor por convección y nuestro resultado está dentro de los parámetros de la convección forzada de gases siendo correcto

Estos valores sirven para realizar la simulación de tipo térmica para ver las zonas de temperatura que ha adquirido el disco en su funcionamiento y que tan bueno es el

Artículo Científico / Scientific Paper

uno con respecto al otro disipando el calor

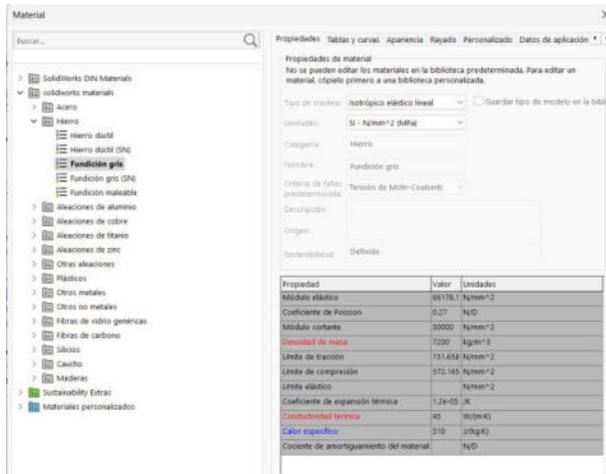


Figura 4. Introducción de parámetros para simulación

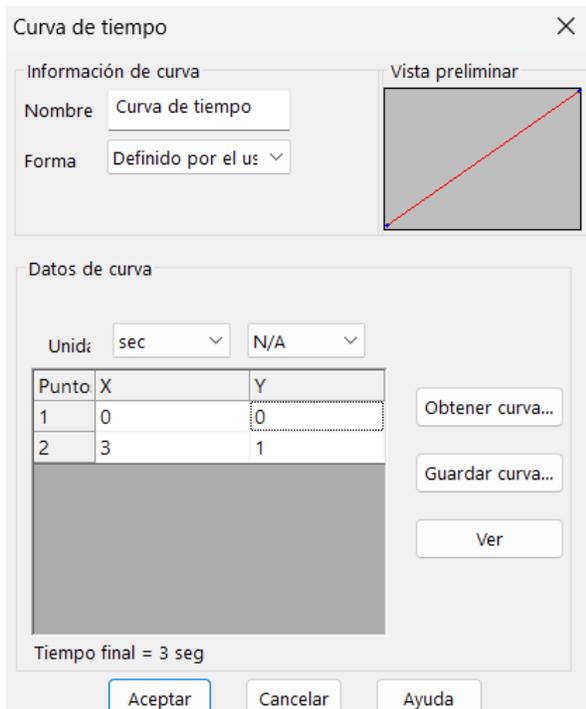


Figura 5. Curva de tiempo asignada 3s

Aplicación de las cargas térmicas en las superficies del disco de freno

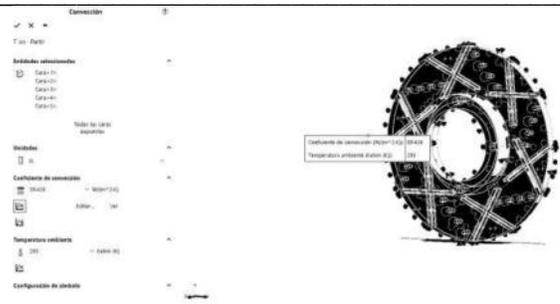


Figura 6. Aplicación de la temperatura ambiente y el coeficiente de transferencia de calor para el disco perforado y ranurado

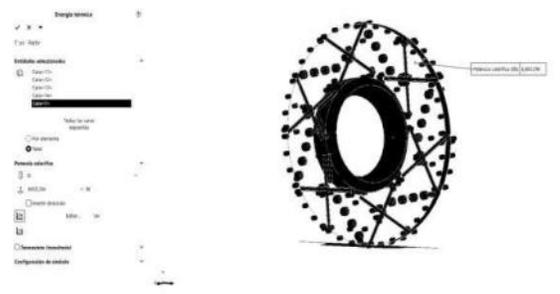


Figura 7. Aplicación de la potencia calorífica aplicada en las zonas de contacto con las pastillas de freno

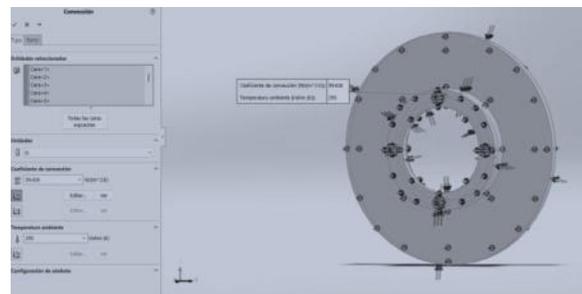


Figura 8. Aplicación de la temperatura ambiente y el coeficiente de transferencia de calor para el disco sólido

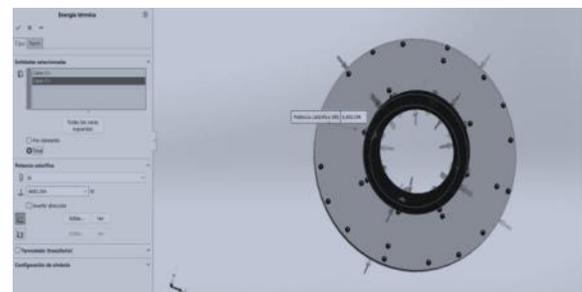


Figura 9. Aplicación de la potencia calorífica aplicada en las zonas de contacto con las pastillas de freno

Diseño del sistema para determinar las cargas ejercidas en la suspensión

Etapa que detalla la implementación del sistema web

desarrollado para trabajo de titulación.

Desarrollo del sistema web para la digitalización de procedimientos de planificación y mantenimiento aeronáutico:

- 1) Configuración de herramientas
- 2) Codificación del sistema web

Para determinar la carga que soportara el sistema de suspensión en cada rueda o en la parte posterior o delantera. Se usará los pesos obtenidos a través del uso de las balanzas las cuales arrojaron un valor de peso en cada rueda como se muestra en la Tabla 1.



Figura 10. Cálculo de peso

Tabla 1. Pesos correspondientes a cada rueda

Rueda	Peso
Delantera Izquierda	209.5 kg
Delantera Derecha	185.5 kg
Trasera Izquierda	128 kg
Trasera Derecha	115.5kg
Peso total	638.5 kg

Cargas en la suspensión frontal

Para obtener la carga en la parte frontal del vehículo se sumarán los valores las llantas delanteras antes de elevarlo o se los valores de W_1 y W_2

$$W_F = W_1 + W_2$$

$$W_F = m_1 * g + m_2 * g$$

$$W_1 = 209.5 \text{ kg} * 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$W_1 = 2055.195 \text{ N}$$

$$W_2 = 185.5 \text{ kg} * 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$W_2 = 1819.755 \text{ N}$$

$$W_F = 2055.195 \text{ N} + 1819.755 \text{ N}$$

$$W_F = 3874.95 \text{ N}$$

Cargas en la suspensión posterior

De igual manera que en la parte frontal se usara el peso del vehículo en las ruedas posteriores del mismo con el

fin de obtener la fuerza en la suspensión posterior del vehículo.

$$W_P = W_3 + W_4$$

$$W_P = m_3 * g + m_4 * g$$

$$W_3 = 128 \text{ kg} * 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$W_3 = 1255.68 \text{ N}$$

$$W_4 = 115.5 \text{ kg} * 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$W_4 = 1133.055 \text{ N}$$

$$W_P = 1255.68 \text{ N} + 1133.055 \text{ N}$$

$$W_P = 2388.735 \text{ N}$$

Carga Total

$$W_T = W_F + W_P$$

$$W_T = 3874.95 \text{ N} + 2388.735 \text{ N}$$

$$W_T = 6263.685 \text{ N}$$

Diseño de base delantera de suspensión variable

Se usará de material base la plancha de acero 1220x2440, la cual tiene la calidad de ASTM A36 y un espeso de 8 mm

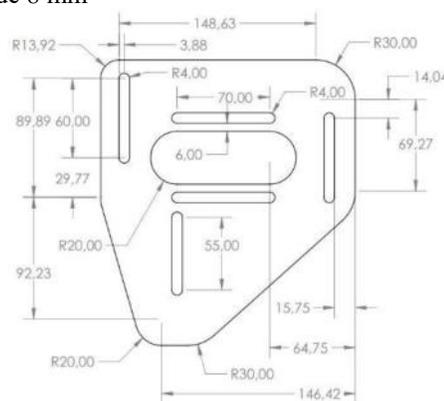


Figura 11. Plano en 2D

Diseño 3D de la base está en la figura 12, con el fin de posteriormente realizar el análisis de cargas que soporta la base.



Figura 12. Diseño 3D

Artículo Científico / Scientific Paper

Se verifica el comportamiento de la base regulable de la suspensión en la rueda izquierda del vehículo, ya que en cada rueda se tiene diferentes cargas. Antes de ejecutar estudio se debe aplicar el material de la base regulable de la suspensión para poder tener valores reales.

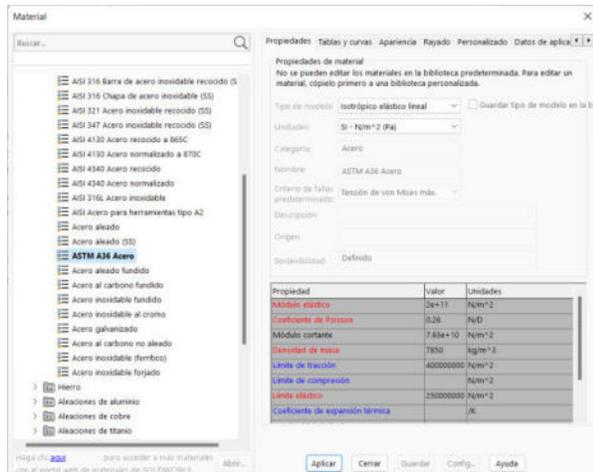


Figura 13. Estudio de Pieza

La base tendrá sujeciones fijas las cuales estarán unidas mediante pernos en la carrocería del vehículo

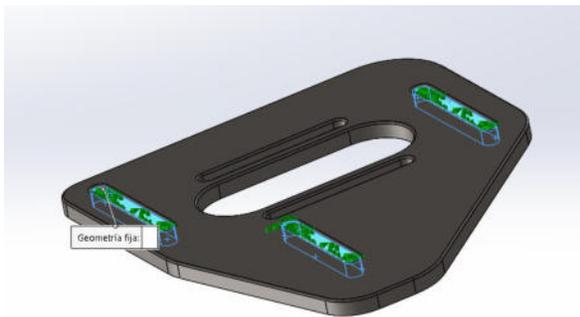


Figura 14. Sujeciones modeladas

Cargas en la base rueda izquierda

Se aplica las cargas las cuales ya se calculó anteriormente mediante fórmulas y el peso del vehículo en cada rueda.

$$W_1 = 2055.195 \text{ N}$$

Se coloca en el programa la carga de 2055.195 N que soporta la suspensión en la parte delantera izquierda.

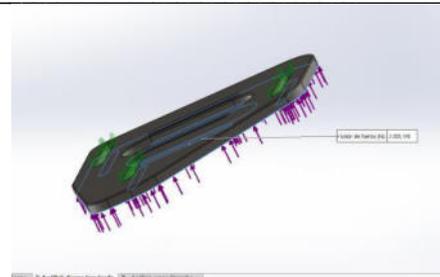


Figura 15. Soporte suspensión

III. PRUEBAS Y RESULTADOS

Los discos de frenos rayados y perforados instalados presentan una mejor ventilación y disipación de calor teniendo en los discos solidos una temperatura de la superficie externa de contacto un temperatura de 103 °C y en el disco perforado y rayado una temperatura de 90.6°C siendo este un claro ejemplo de la mejora en la disipación de calor y el coeficiente de fricción pero también tienen la tendencia a calentarse más rápido ya que tienen menos superficie y volumen siendo la temperatura mínima de 35.9 °C en el disco perforado y 35.4°C en el disco sólido.

Tenemos una mejora de un 12 % en la disipación de calor eliminando puntos calientes en el disco

	Discos Solidos	Discos perforados y rayados
Coeficiente de transferencia de calor por convección	59.426W/m ² °C	59.426W/m ² °C
Temperatura máxima	103°C	90.6°C
Temperatura mínima	35.4°C	35.9°C

Figura 16. Resultado de la simulación en el disco solido

Simulación de esfuerzos de la base delantera de suspensión variable.

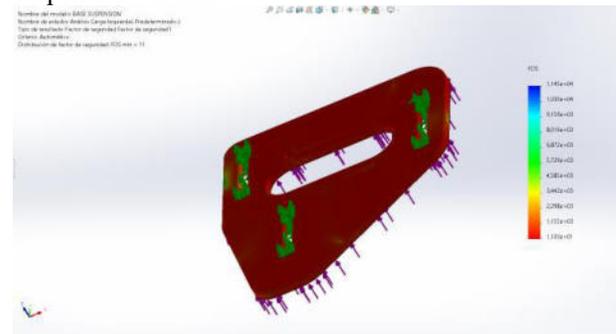


Figura 17. Factor de seguridad

El factor de seguridad es de gran importancia para el diseño de elementos que trabajaran bajo cargas, en este caso la base regulable de la suspensión de la rueda izquierda tiene un factor de seguridad de 11.

Cargas en la base rueda derecha

Se realiza el análisis en la base regulable de la suspensión de la rueda derecha del vehículo, en el cual se tomará el dato calculado de la carga que tiene esta rueda.

Modificaciones de los elementos del sistema de suspensión

Se realiza el reemplazo de elementos de la suspensión original del vehículo por elementos de alto rendimiento, los cuales ayudaran a mejorar la estabilidad y el rendimiento del vehículo cuando este participe en una competencia de circuitos, además se realizaron varias modificaciones las cuales disminuyeron la altura del vehículo y mejoraron el radio de giro del vehículo, además de tener una suspensión con mayor rigidez y regulable. [9]. Las modificaciones en el sistema de suspensión son las siguientes:

- Muelles helicoidales en las cuatro ruedas
- Recorte del vástago del amortiguador
- Colocación de una base regulable de la espiral
- Colocación de una base regulable de Camber y Caster en la suspensión frontal

Cambio de Muelles y colocación de base regulable

Se cambió los muelles helicoidales o espirales de la suspensión de las cuatro ruedas por unos espirales de alto rendimiento. Estos espirales ayudaran a soportar las fuerzas que se producen cuando el vehículo se desplace a altas velocidades [10].

Cambio de espiral y colocación base regulable

Primero se modificó el sistema de suspensión posterior del vehículo los cuales se realizó el reemplazo de algunos elementos



Figura 18. Modificación de la suspensión

Al reemplazar los muelles helicoidales por unos muelles de alta resistencia y mayor rigidez y colocar las bases regulables en el amortiguador, se pudo tener mayor rigidez en la suspensión y también un menor recorrido del vástago del amortiguador y esto favorece al vehículo, ya

que su fin es para competencias de circuito donde las estas son de pavimento. Al tener un menor recorrido y una mayor compresión del muelle se puede tener un mayor control del vehículo y también menores fuerzas de empuje, cabeceo y bamboleo. Esto es de gran beneficio para el vehículo al momento de competir.

Modificación de la altura del vehículo

Mediante la modificación de la suspensión también se realizó la disminución de la altura del vehículo y con esto también su centro de gravedad como se puede ver



Figura 19. Altura inicial

La altura del vehículo con suspensión modificada disminuyó [10] en comparación a la altura inicial, esta disminución ayuda a que el vehículo sea más estable en curvas y una velocidad óptima en rectas.



Figura 20. Altura final

IV. CONCLUSIONES

Al reemplazar los muelles helicoidales y colocar bases regulables de estos mismos, la altura del vehículo disminuyó en la parte posterior de 33 cm a 31 cm y en la parte delantera de 34.5 cm a 29.5 cm y por lo cual se tiene un centro de gravedad menor y así

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

mejorar la estabilidad del vehículo cuando participe en competencia de circuito.

Se reguló el Camber y Caster del vehículo en donde se dejó un ángulo Camber negativo de 2.9° con el fin de favorecer la adherencia de los neumáticos en las curvas a la superficie de la pista y un ángulo de Caster positivo de 3.07° con el fin de estabilizar al vehículo cuando este se desplace a altas velocidades.

Se construyó y reemplazó las bases superiores de la suspensión del vehículo por unas bases regulables que ayudan a regular el Camber y Caster de las ruedas delanteras del vehículo.

Los discos de frenos rayados y perforados instalados presentan una mejor ventilación y disipación de calor teniendo en los discos sólidos una temperatura de la superficie externa de contacto a temperatura media de 60 °C y en el disco perforado y rayado una temperatura de 42°C siendo este un claro ejemplo de la mejora en a disipación de calor y el coeficiente de fricción pero también tienen la tendencia a calentarse más rápido ya que tienen menos superficie y volumen siendo la temperatura mínima de 35.9 °C en el disco perforado y 35.4°C en el disco sólido.

Se ha implementado el disco de freno perforado en el sistema de frenos en el vehículo ya que presenta una mejor disipación del calor para mantener un frenado óptimo durante la conducción y una mejor disipación de los gases por la combustión de las resinas de las pastillas y el disco de freno gracias a la presencia de orificios y ranuras los cuales nos permiten expulsar rápidamente estos gases restableciendo todo el tiempo las condiciones de frenado óptimo con su uso.

REFERENCIAS

- [1] M. D. Stefano, «Fibra de carbono,» Motor Racing, 04 Septiembre 2018. [En línea]. Available: <https://www.motoryracing.com/pruebas/noticias/lo-nuevo-en-piezas-de-fibra-de-carbono-en-la-industria-automotriz/>. [Último acceso: 18 Marzo 2024].
- [2] KNAUF INDUSTRIES, «Fibra de carbono en la industria,» KNAUFINDUSTRIES, 25 Noviembre 2022. [En línea]. Available: <https://knaufautomotive.com/es/fibra-de-carbono-kevlar-grafeno/>. [Último acceso: 18 Marzo 2022].
- [3] B. Basco, «Así se utiliza la fibra de carbono en el automóvil,» Automotive, 03 Enero 2019. [En línea]. Available: <https://noticias-renting.aldautomotive.es/utiliza-fibra-carbono-automovil/>. [Último acceso: 18 Marzo 2022].

[4] A. J. Suárez, «Materiales compuestos de fibra de carbono con matrices base EPOXI modificadas con nanoestructuras de carbono,» Universidad Rey Juan Carlos, 2012. [En línea]. Available: <http://hdl.handle.net/10115/11350>. [Último acceso: 03 Marzo 2022].

[5] D. Gutierrez, «Estudio sobre la capacidad de absorción de energía,» Universidad de los Andes, 2019. [En línea]. Available: <https://repositorio.uniandes.edu.co/flip/?pdf=https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstream/s/65b2ff0b-52fc-44f6-a889-b133e7d989fd/content>. [Último acceso: 18 Marzo 2022].

[6] JAB, «Laminados en Tejido de Vidrio-Epoxi,» JAB AISLANTES, 2022. [En línea]. Available: <https://aislantesjab.com/producto/laminados-en-tejido-de-vidrio-epoxi/>. [Último acceso: 03 Marzo 2024].

[7] A. Martín, «Apuntes de Mecánica de Fluidos,» Mayo 2011. [En línea]. Available: <http://oa.upm.es/6934/1/amd-apuntes-fluidos.pdf>. [Último acceso: 18 Marzo 2022].

[8] Y. A. Cengel, Mecanica de Fluidos, McGraw-Hill Interamericana, 2007.

[9] Globaltech Ecuador, «Camber y Caster,» LinkedIn, 01 Noviembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/la-importancia-de-corregir-el-camber-y-caster-globaltechecuador-e3wze/?originalSubdomain=es>.

[10] Matamoros, B., Stalin, C., & Palma Corrales, E. D. Análisis y optimización de los sistemas de dirección, suspensión y frenos de un Suzuki G10 SOCH para aplicación en un Supercrosscar.



1922
ECUADOR

ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



ENERGÍA MECÁNICA INNOVACIÓN Y FUTURO

Revista de Difusión N°11
ISSN: 1390 - 7395
Publicación Anual / Diciembre 2022

RESPONSABLE LEGAL
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE
Av. General Rumiñahui s/n
Sangolqui - Ecuador
P.O. Box 171 -5 - 31B
einnovacion-el@espe.edu.ec
wgerazo@espe.edu.ec

