



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE EMULADOR DE BAJO COSTO DEL SISTEMA
DE ENCENDIDO ELECTRÓNICO A GASOLINA UTILIZANDO UNA TARJETA DE
DESARROLLO PROGRAMABLE**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniero Automotriz

AUTOR: ENRIQUE EFRAÍN BARBERÁN DOMINGUEZ

ALEX SEBASTIAN FIGUEROA SILVA

TUTOR: ING. MARCOS EFRAÍN MILLÁN TRAVERSO, MGTR

Guayaquil – Ecuador

2025

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Nosotros, Alex Sebastián Figueroa Silva con documento de identificación N° 0952327781 y Enrique Efraín Barberán Dominguez con documento de identificación N° 0954331286; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

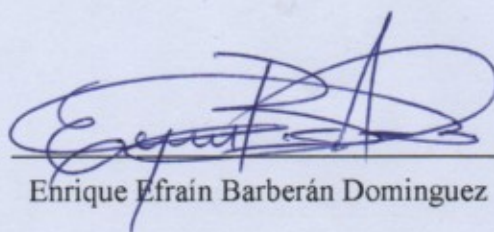
Guayaquil, 27 de febrero del año 2025

Atentamente,



Alex Sebastián Figueroa Silva

0952327781



Enrique Efraín Barberán Dominguez

0954331286

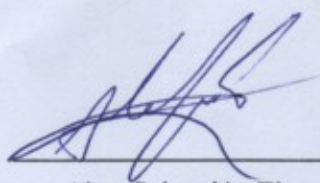
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Alex Sebastián Figueroa Silva con documento de identificación No. 0952327781 y Enrique Efraín Barberán Domínguez con documento de identificación No. 0954331286, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Artículo Académico: "Diseño de un Prototipo de Emulador de Bajo Costo del Sistema de Encendido Electrónico a Gasolina Utilizando una Tarjeta de Desarrollo Programable", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

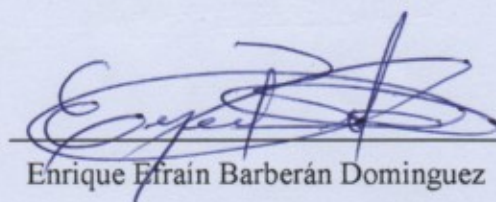
Guayaquil, 27 de febrero del año 2025

Atentamente,



Alex Sebastián Figueroa Silva

0952327781



Enrique Efraín Barberán Domínguez

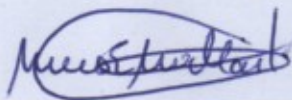
0954331286

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Marcos Efraín Millán Traverso con documento de identificación N° 0913608147, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: Diseño de un Prototipo de Emulador de Bajo Costo del Sistema de Encendido Electrónico a Gasolina Utilizando una Tarjeta de Desarrollo Programable, realizado por Alex Sebastian Figueroa Silva con documento de identificación N° 0952327781 y por Enrique Efraín Barberán Dominguez con documento de identificación N° 0954331286, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 27 de febrero del año 2025

Atentamente,



Marcos Efraín Millán Traverso

0913608147

DEDICATORIA

A mis padres, quienes con su amor incondicional y apoyo constante han sido el pilar fundamental en mi vida. Gracias por cada sacrificio, cada palabra de aliento y cada enseñanza que han moldeado mi carácter y mi compromiso con el aprendizaje. Este trabajo es el reflejo de su esfuerzo y del ejemplo de dedicación que me han brindado. Sin ustedes, este logro no habría sido posible.

Alex Sebastián Figueroa Silva

Deseo dedicar este trabajo a toda mi familia la cual estuvo siempre ahí para mí, de manera incondicional, en especial mi papá que permitió que estudie esta carrera y me apoyó en todo momento, también quiero dedicarle este proyecto a mis dos madres que las amo mucho y sé que una de ellas me está viendo desde el cielo, por último dedicarle a las personas que estuvieron acompañándome en el proceso y me dieron fuerzas para seguir.

Enrique Efraín Barberán Domínguez

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincero agradecimiento a mis padres, quienes con su amor, apoyo y paciencia han sido mi mayor fuente de motivación. Su esfuerzo y confianza en mí han sido fundamentales para alcanzar esta meta. Asimismo, agradezco a mis docentes, quienes con su conocimiento y guía han contribuido significativamente a mi formación académica, brindándome herramientas valiosas para este trabajo.

Alex Sebastián Figueroa Silva

Quiero agradecer a todas las personas que, de una u otra manera, han sido parte de este proceso. A mis familiares, por su incondicional apoyo y palabras de aliento en los momentos difíciles, así mismo una mención especial a mi papá que estuvo siempre conmigo en este proceso del proyecto y de igual manera a mis tios que me enseñaron y ayudaron bastante a comprender diferentes temas. A mis amigos y compañeros, por compartir este camino académico, brindándome su ayuda y compañía.

Enrique Efraín Barberán Domínguez

ÍNDICE DE CONTENIDO

Resumen	1
1. Introducción.....	2
2. Materiales y Métodos	2
2.1 Materiales.....	2
2.1.1 Hardware	2
2.1.2 Software	3
2.2 Métodos.....	4
2.2.1 Modelo de aprendizaje enfocado al módulo didáctico.....	4
2.2.2 Diseño y simulación de circuito electrónico	4
2.2.3 Desarrollo de códigos de fallas a emular en el módulo	5
2.2.4 Implementación de interfaz WEB.....	5
2.2.5 Funcionamiento de emulador y envío de datos.....	5
2.2.6 Funcionamiento servidor WEB.....	7
3. Resultados	8
3.1 Pruebas de funcionamiento	8
3.2 Pruebas de modos de operación	8
3.3 Prueba de toma de señales.....	9
3.4 Prueba de conectividad con servidor WEB.....	9
4. Discusión.....	10
5. Conclusiones	11
6. Referencias.....	11

Tipo de Paper (Artículo)

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE EMULADOR DE BAJO COSTO DEL SISTEMA DE ENCENDIDO ELECTRÓNICO A GASOLINA UTILIZANDO UNA TARJETA DE DESARROLLO PROGRAMABLE

Alex Figueroa Silva¹, Enrique Barberán Domínguez²

¹ Universidad Politécnica Salesiana; afigueroas1@est.ups.edu.ec

² Universidad Politécnica Salesiana; ebarberan@est.ups.edu.ec

Resumen:

Este estudio aborda el diseño y desarrollo de un prototipo de emulador de bajo costo para sistemas de encendido electrónico en motores a gasolina, utilizando una tarjeta de desarrollo programable. Ante la creciente complejidad de los sistemas de encendido más comunes en el país, el proyecto busca proporcionar una herramienta accesible para el análisis y la emulación de estos sistemas en entornos educativos y de investigación automotriz. Para alcanzar este objetivo, se implementó un enfoque metodológico experimental que integró varias fases: diseño conceptual del sistema, selección de componentes electrónicos y programación de una tarjeta de desarrollo compatible con la tecnología de encendido analizada. Se utilizaron herramientas de simulación electrónica para validar las señales generadas como el software Wokwi, y posteriormente, se ensambló el prototipo físico para pruebas en banco. Los métodos incluyeron la creación de algoritmos que replican los pulsos y tiempos de encendido basados en parámetros ajustables, asegurando compatibilidad con diferentes configuraciones de motor. Las pruebas se realizaron bajo condiciones controladas, evaluando la generación de las señales simuladas en comparación con un sistema de encendido comercial como módulos didácticos de grandes empresas. Los resultados validaron la funcionalidad del prototipo, destacando su versatilidad y bajo costo de implementación en comparación con equipos comerciales. Este emulador representa una solución accesible para la formación de estudiantes y técnicos, promoviendo la comprensión de los principios fundamentales de los sistemas de encendido electrónico.

Palabras clave: Sistema de encendido electrónico 1; Tarjeta de desarrollo programable 2; Diseño 3.

Abstract: This study addresses the design and development of a low-cost emulator prototype for electronic ignition systems in gasoline engines, using a programmable development board. Given the growing complexity of the most common ignition systems in the country, the project seeks to provide an accessible tool for the analysis and emulation of these systems in educational and automotive research environments. To achieve this objective, an experimental methodological approach was implemented that integrated several phases: conceptual design of the system, selection of electronic components and programming of a development board compatible with the analyzed ignition technology. Electronic simulation tools were used to validate the generated signals, and subsequently, the physical prototype was assembled for bench testing. The methods included creating algorithms that replicate ignition pulses and timings based on adjustable parameters, ensuring compatibility with different engine configurations. The tests were carried out under controlled conditions, evaluating the generation of the simulated signals in comparison with a commercial ignition system. The results validated the functionality of the prototype, highlighting its versatility and low implementation cost compared to commercial equipment. This emulator represents an accessible solution for the training of students and technicians, promoting the understanding of the fundamental principles of electronic ignition systems.

Citation: To be added by editorial staff during production.

Academic Editor:

Received: date

Revised: date

Accepted: date

Published: date



Copyright: © 2023 por los autores. Presentado para su posible publicación en acceso abierto bajo los términos y condiciones de Creative Commons Attribution license.

Keywords: Electronic ignition system 1; Programmable development board 2; Design 3.

1. Introducción

En el estudio de carreras como la ingeniería automotriz es necesario la utilización de emuladores en los distintos sistemas del vehículo para que el estudiante pueda entender su uso y realizar prácticas [1]. Sin embargo, estos sistemas mantienen un alto costo en el mercado actual, por lo que no todas las instituciones educativas disponen con los recursos [2].

La poca accesibilidad de emuladores en universidades, academias e instituciones educativas puede limitar que los estudiantes comprendan eficazmente los sistemas de encendido de vehículos, otro factor a tomar en cuenta es el valor de la mano de obra y el costo de los materiales que se utilizan para su construcción [3]. Influenciando totalmente en el costo final de la misma, lo cual provoca que instituciones con bajo presupuesto opten por invertir en otros recursos que no suplen por completo la función del emulador [4].

Los módulos didácticos de sistemas de encendido vehicular son esenciales para facilitar la comprensión práctica del funcionamiento y diagnóstico de estos sistemas [5], especialmente para estudiantes de carreras de ingeniería que necesitan experiencia práctica. Sin embargo, muchos de estos módulos resultan costosos o complejos, limitando su accesibilidad en instituciones con recursos limitados [6]. Esta problemática abre la necesidad de desarrollar módulos de encendido, que permitan la simulación, emulación de fallas, operaciones de encendido, y a su vez una alternativa práctica y económica para el aprendizaje en áreas de ingeniería y mecánica automotriz [7].

El proyecto plantea la construcción de un prototipo de emulador del sistema de encendido a bajo costo, mediante la integración de controladores como ESP32 DevKit V1, para así poder ofrecer la emulación de un sistema de encendido considerando aspectos como la señal y la interfaz de usuario [8].

Los motores de gasolina modernos emplean diversos sistemas de encendido que han evolucionado para optimizar la combustión, el rendimiento y la eficiencia del combustible, cumpliendo con estrictos estándares de emisiones [9]. Los sistemas de encendido más comunes son, el sistema de encendido convencional, el encendido DIS por chispa perdida y el encendido DIS COP, por sus características y funcionamiento [10].

Este estudio es importante ya que permite conocer el funcionamiento de los sistemas de encendido electrónico tipo DIS por chispa perdida y DIS COP [11], estudiando tanto las características de las señales generadas, como las fallas más comunes asociadas al sistema. Para ello, se plantea el diseño y desarrollo de un módulo didáctico de bajo costo que permita emular estos sistemas de encendido, incorporando además una interfaz web interactiva que facilite el aprendizaje virtual. Esta propuesta ofrece una alternativa accesible para instituciones educativas [12], mejorando las destrezas y habilidades prácticas de los estudiantes, lo cual contribuye a su formación técnica del sector automotriz [13].

2. Materiales y Métodos

2.1 Materiales

2.1.1 Hardware

Esp32 DevKit V1

El Esp32 DevKit V1 actúa como objeto principal dentro del proceso de las acciones que realiza la maqueta, ya que cuenta con un modo dual que incluye WI - FI y bluetooth permitiendo el enlace con dispositivos móviles.

Potenciómetro

El sistema incluye un potenciómetro de 10 k Ω , que actúa como divisor de voltaje y permite variar manualmente el voltaje de salida del potenciómetro.

LED's

Los LED's desempeñan un rol fundamental como indicadores visuales del estado del sistema. En este prototipo se utilizan LED's de colores verde y amarillo con una intensidad luminosa aproximada de 1000 mcd (milicandela), los cuales están protegidos por resistencias de 220 Ω para evitar daños por exceso de corriente. Estos indicadores reflejan salto de la chispa en bujía y los estados de falla del sistema, facilitando la interpretación visual del comportamiento del sistema por parte del usuario.

Pantalla TFT (LCD SPI 3.2")

La pantalla se incorpora como interfaz de usuario para la visualización de información crítica, incluyendo las RPM y códigos de error. Con una resolución de 240 x 320 píxeles, táctil y una interfaz SPI (Interfaz Periférica Serie), esta pantalla garantiza una comunicación eficiente con el microcontrolador.

Motores paso a paso (Stepper Motor)

Un motor paso a paso es un motor eléctrico el cual convierte pasos eléctricos en movimientos angulares precisos. Este tipo de motores son mayormente utilizados en aplicaciones de robótica, control e impresiones 3D ya que posee una alta precisión y control sin la necesidad de poseer sensores de posición. El motor utilizado cuenta con 200 pasos lo que significa que cada paso equivale a 1.8° de giro.

Conectores BANANA (hembra)

Los conectores banana (hembra) son terminales estándar diseñados para proporcionar una conexión rápida y segura con equipos de medición, como osciloscopios y multímetros. Estos conectores, fabricados en latón niquelado, ofrecen resistencia a la corrosión y aseguran una transmisión estable de señales eléctricas, un aspecto crucial durante las pruebas y la validación del prototipo.

Plancha de acrílico

El sistema está montado sobre una plancha acrílica de 5 mm de grosor y una caja de madera de 40 cm x 21 cm. Este material es ligero, resistente y permite una visualización clara de los componentes, facilitando la interacción del usuario con el sistema y el análisis de su funcionamiento.

2.1.2 Software

Simulador en línea Wokwi

Es una herramienta digital que permite la simulación de microcontroladores como el ESP32 y circuitos electrónicos en un entorno virtual accesible desde cualquier navegador web. Esta plataforma es ampliamente utilizada en la educación y en el desarrollo de proyectos de hardware debido a su facilidad de uso, compatibilidad con diversos dispositivos, y la capacidad de probar código en tiempo real sin la necesidad de hardware físico.

Lenguaje de Programación C++

C++, una evolución del lenguaje C, ofrece un potente conjunto de herramientas para crear software de alto rendimiento. Su capacidad para manejar la memoria directamente y su flexibilidad lo convierten en una elección popular para desarrollar aplicaciones que requieren un alto nivel de control y optimización.

HTML (HyperText Markup Language)

Es el lenguaje estándar utilizado para crear y estructurar contenido en la web. HTML define la estructura y el formato de las páginas web mediante el uso de etiquetas y elementos que permiten la organización y presentación del contenido.

Arduino IDE (Entorno de Desarrollo Integrado)

Es un software de código abierto que se utiliza placas de desarrollo como la ESP32, esencial para escribir, cargar y compilar códigos de la familia de Arduino u otros compatibles.

Fritzing

Este programa permite diseñar circuitos electrónicos, diagramas de prototipos y diseños PCB (placas de circuito impreso), se utiliza para proyectos educativos en combinación con el entorno de Arduino.

2.2. Métodos

2.2.1 Modelo de aprendizaje enfocado al módulo didáctico

El aprendizaje experiencial es un enfoque pedagógico que enfatiza la importancia de la experiencia directa en el proceso de aprendizaje. En este modelo, los individuos adquieren conocimientos y habilidades a través de la actividad activa, donde participan de manera práctica en situaciones del mundo real, como proyectos, experimentos o simulaciones. Esta participación les permite no solo aplicar conceptos teóricos, sino también reflexionar sobre sus experiencias y aprender de los resultados obtenidos.

2.2.2 Diseño y simulación de circuito electrónico

En el diseño del circuito eléctrico en el programa FRITZING que se muestra en la Figura 1 y 2, se definieron los componentes esenciales para emular un sistema de encendido electrónico, integrando sensores como CKP, CMP y TPS, junto con actuadores como bobinas de encendido y un microcontrolador programable. En el emulador, se configuró las conexiones eléctricas necesarias, especificando pines de entrada y salida para cada dispositivo, así como elementos pasivos como resistencias y diodos para garantizar la estabilidad de las señales. Este diseño inicial permite identificar la disposición óptima de los componentes para un correcto funcionamiento del sistema.

Posteriormente, se programó el microcontrolador en el simulador Wokwi para generar las señales características de un sistema de encendido, considerando como referencia la onda característica de cada una de las señales. Esta etapa asegura que el diseño esté completamente funcional y listo para ser implementado físicamente, minimizando posibles errores y optimizando recursos.

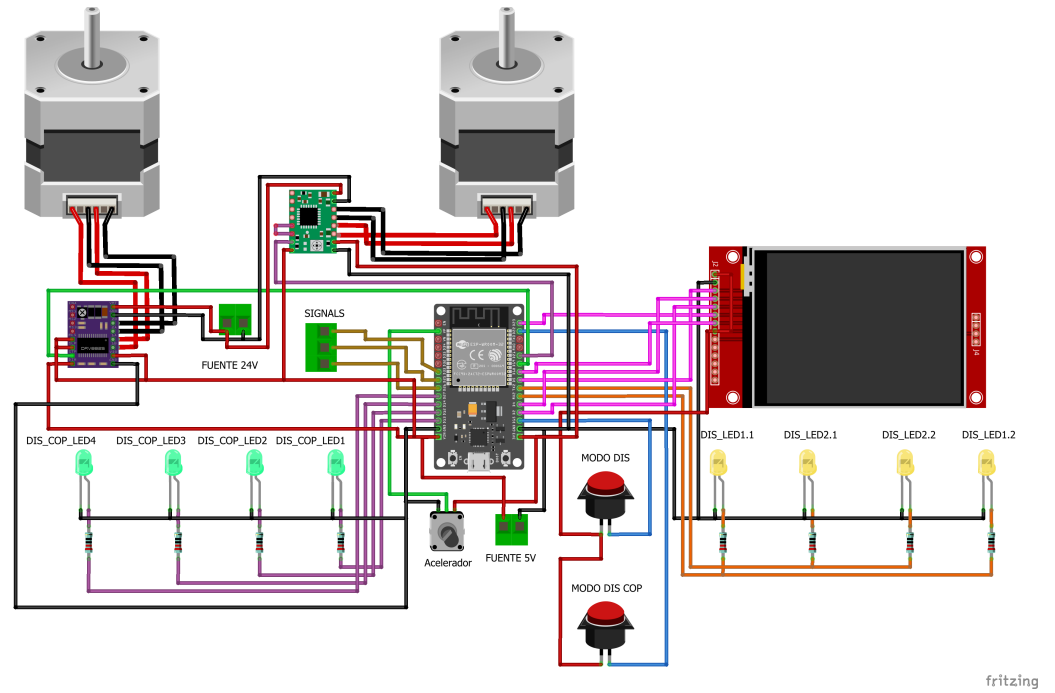


Figura 1. Diseño de circuito en FRITZING.

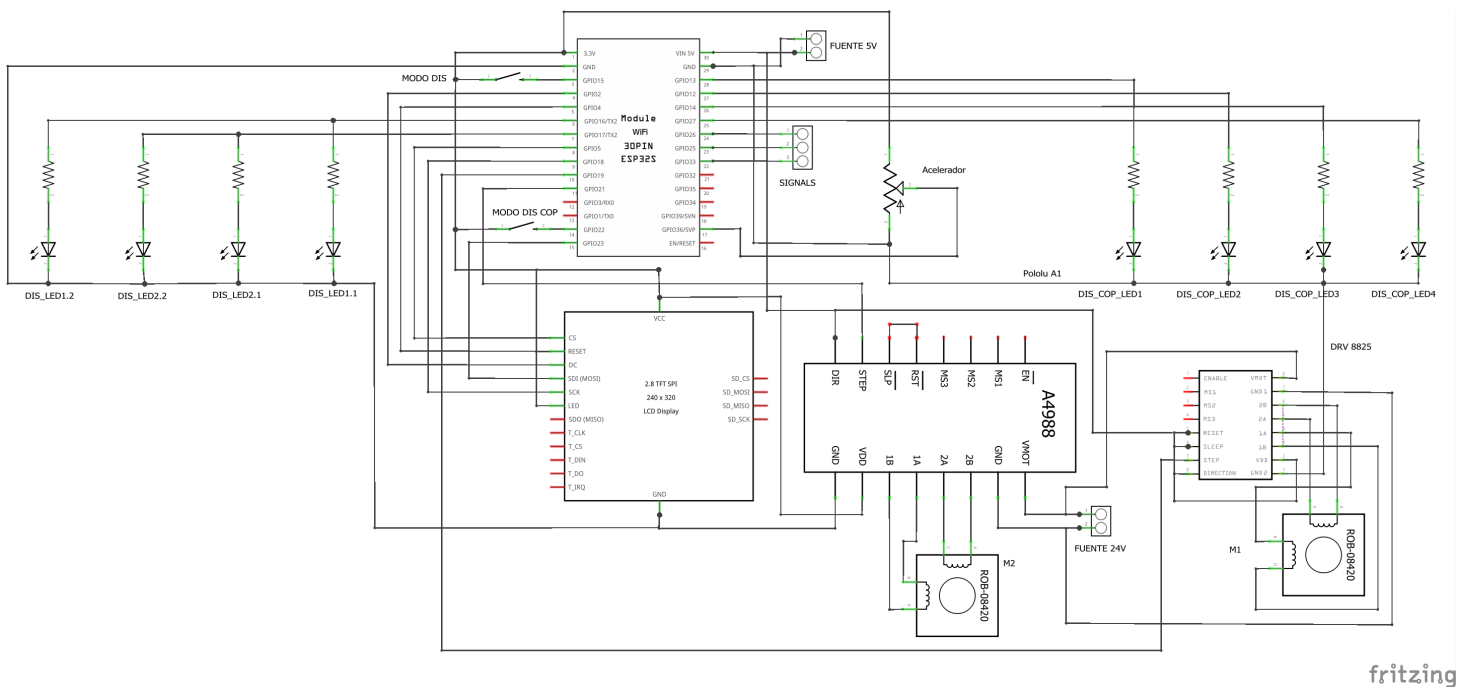


Figura 2. Diseño esquemático de conexión del circuito.

En la Figura 3 se muestra el diseño final del módulo didáctico junto con una serigrafía que representan cada uno de los sistemas de encendido que tienen funcionamiento en el módulo.

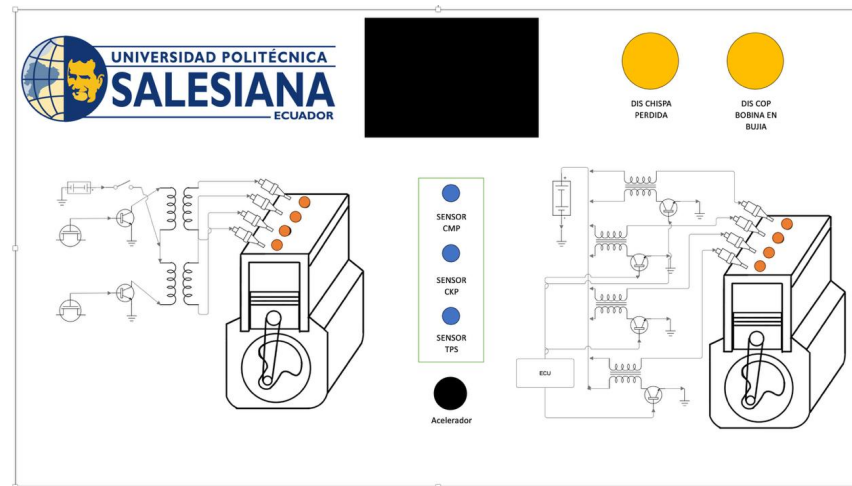


Figura 3. Diseño del módulo didáctico.

2.2.3 Desarrollo de códigos de fallas a emular en el módulo

En los modos de operación presentes en el emulador se manifiestan los siguientes errores.

- Falla en sensor CKP Inductivo: Apagones repentinos del motor paso a paso en funcionamiento. Esto se representará de forma que todos los LED's se apaguen y presente el código P0337 (indica que la señal del sensor está por debajo del rango de voltaje esperado).
- Falla en sensor CMP: Potencia reducida y mal desempeño del motor paso a paso. En el módulo se representará con oscilaciones de gran amplitud de alta frecuencia en el pistón adicionalmente se podrá observar en el tacómetro. P0342 (indica que la señal del sensor está por debajo del rango de voltaje esperado)
- Falla en sensor TP: Repuesta del acelerador nula. Se representará de tal modo que la variación de resistencia en el potenciómetro no influirá en la velocidad del motor paso a paso y LED's, P0120 (falla en el circuito del sensor de posición del acelerador).
- Falla en bobinas de encendido: El motor paso a paso tiende a apagarse al solo funcionar la chispa en dos cilindros de cuatro, en el módulo se representará como código de error P0300, indica fallo en múltiples bobinas (indica que la computadora del auto detectó un fallo en el encendido de uno o más cilindros).

2.2.4 Implementación de Interfaz WEB

La interfaz web en HTML que se encuentra embebida dentro del microcontrolador ESP 32, tiene como objetivo proporcionar una herramienta interactiva y educativa para estudiantes, facilitando el acceso a recursos relacionados con el sistema de encendido electrónico. Esta interfaz se divide en dos secciones principales: una de emulación y otra de teoría. La sección de emulación permite a los usuarios interactuar con un módulo didáctico de manera remota, emulando las características principales del sistema de encendido, como la selección de modos de operación en modo 1 (DIS por chispa perdida), modo 2 (DIS COP). Este enfoque práctico busca fortalecer el entendimiento mediante la experimentación directa en un entorno controlado y seguro.

Por otro lado, la sección teórica ofrece un repositorio de información sobre el funcionamiento, los componentes y la evolución de los sistemas de encendido. Complementando esta sección, se incluye un banco de preguntas diseñado para evaluar y reforzar los conocimientos adquiridos. Las preguntas abordan conceptos clave y fomentan el aprendizaje activo a través de una metodología de autoevaluación. Esta integración de emulación, teoría y evaluación en un solo entorno busca optimizar el proceso de enseñanza, adaptándose a las necesidades de los estudiantes en el ámbito automotriz.

2.2.5 Funcionamiento del Emulador y Envío de Datos

Cada modo activa un conjunto específico de LED's y un motor paso a paso para representar las características de un tipo de encendido en particular. Los datos de operación son enviados a un servidor web, permitiendo un seguimiento en tiempo real o un análisis posterior. Este sistema resulta una herramienta valiosa para la enseñanza sobre sistemas de encendido, en la figura 4 se presenta el diagrama de flujo de inicialización de emulador y envío de datos.

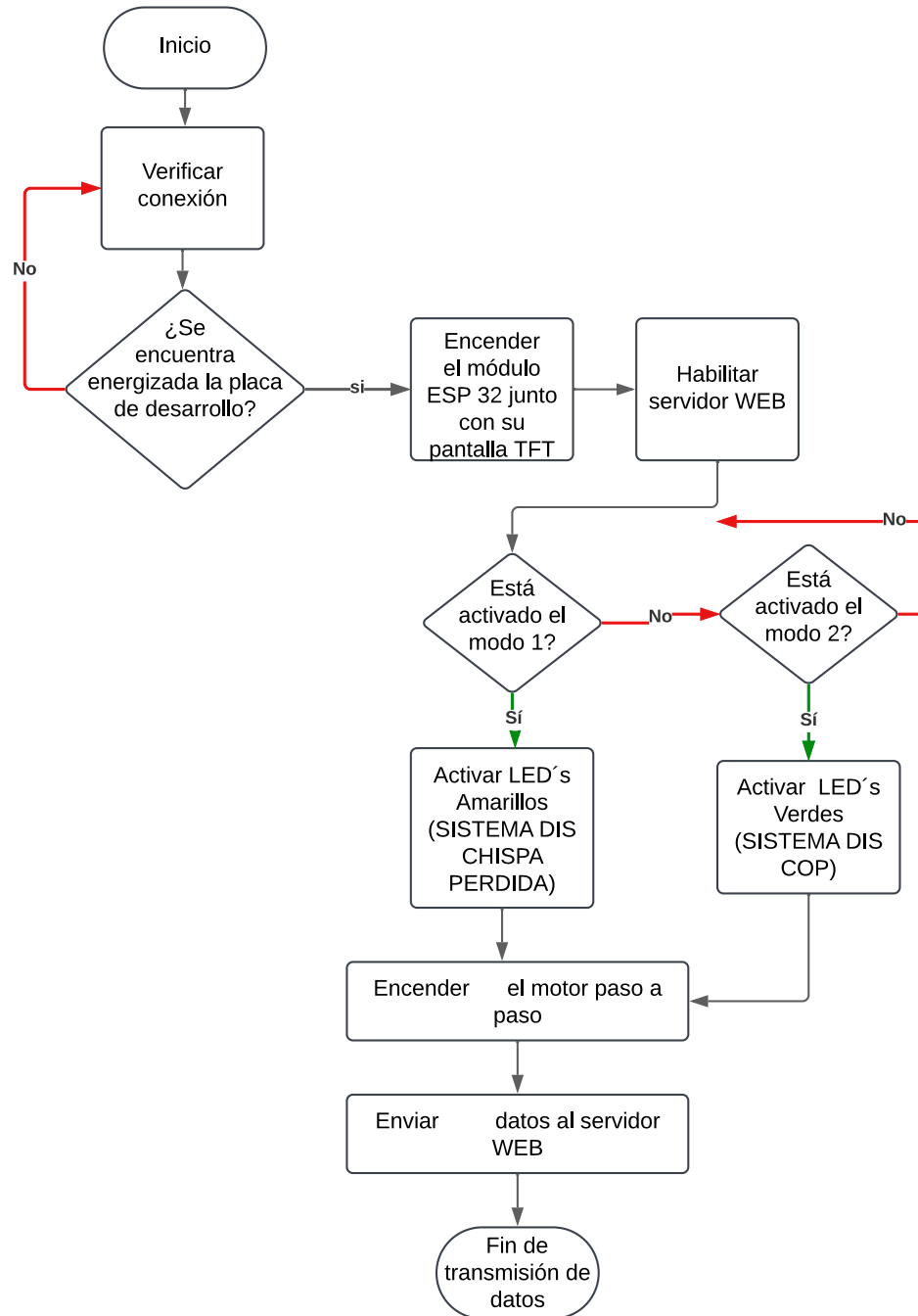


Figura 4. Diagrama de flujo de inicialización del emulador y envío de datos.

2.2.6 Funcionamiento de Servidor WEB

La figura 5 muestra el flujo de funcionamiento del sistema, el cual iniciará verificando la correcta inicialización del servidor web. Posteriormente, el usuario podrá elegir entre dos modos de aprendizaje: el modo teórico, que presentará contenido conceptual y

evaluaciones interactivas, o el modo práctico, que mostrará los parámetros operativos en tiempo real, como las RPM. En el modo práctico, se podrá seleccionar la inducción de fallos, lo que permitirá emular errores en el sistema para practicar el diagnóstico y la toma de decisiones. Finalmente, los datos generados se enviarán al microcontrolador ESP32, asegurando la integración fluida entre la interfaz web y el hardware.

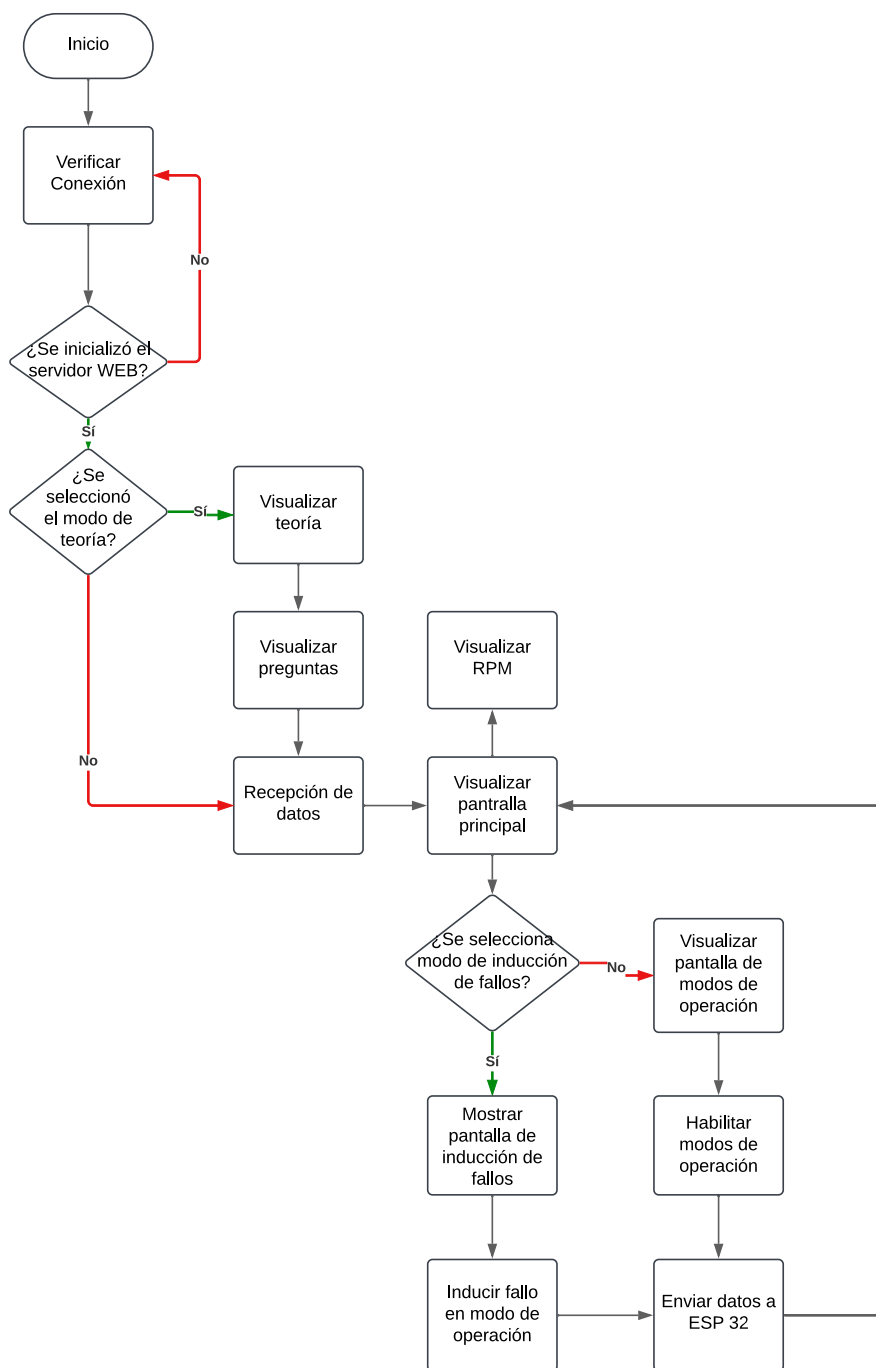


Figura 5. Diagrama de flujo de uso de servidor.

3. Resultados

Como resultado se obtiene el módulo didáctico de manera física como se muestra en la Figura 6, teniendo en cuenta que se utilizaron todos los componentes sugeridos como microcontrolador, motores paso a paso, acoples para la toma de señales, LED's, pantalla TFT, etc.

Además de la conectividad establecida con la página WEB donde se visualiza la teoría de cada uno de sus modos, y un banco de preguntas para cumplir con el objetivo didáctico.

Para lograr un manejo adecuado del módulo se necesitan tomar acciones como la selección de modos mediante los botones de la parte derecha superior que indican el modo de operación en MODO DIS por chispa perdida y MODO DIS COP, estos modos actúan de manera independiente. Como segunda acción se debe establecer conexión entre un dispositivo móvil y el módulo didáctico para así visualizar la teoría y cuestionario sobre los sistemas de encendido expuestos.

También cuenta con un pistón didáctico para que el estudiante pueda ver el movimiento de este a medida que aumentan las revoluciones con el potenciómetro (acelerador).

La pantalla TFT muestra las RPM y códigos de falla en el momento de ser accionados.

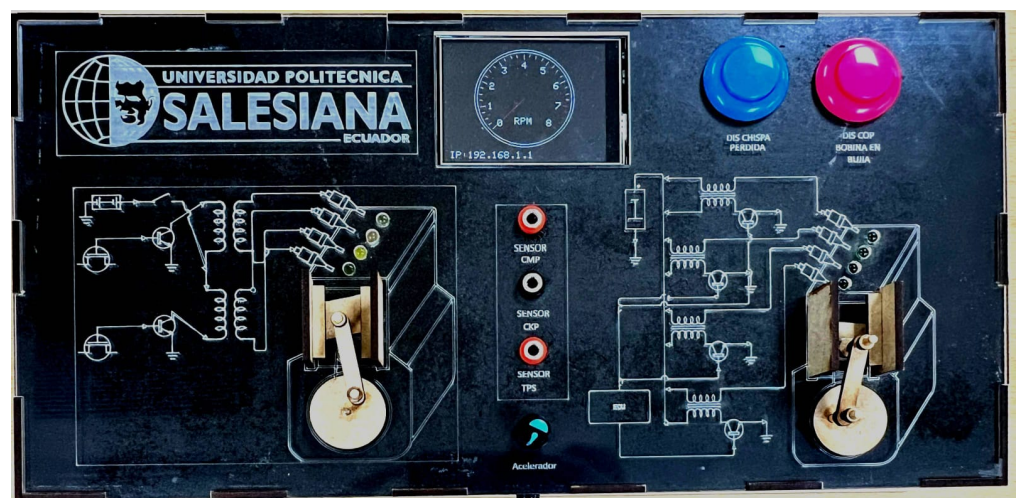


Figura 6. Módulo didáctico del sistema de encendido electrónico.

3.1. Pruebas de Funcionamiento

Para corroborar el correcto funcionamiento del módulo didáctico, se llevan a cabo diversas pruebas enfocadas en los aspectos clave de su diseño y operación. Estas pruebas permiten validar el desempeño del sistema, asegurando que cumple con los objetivos educativos para los cuales fue desarrollado.

3.2 Prueba de modos de operación

Para comprobar el funcionamiento de cada modo como se muestra en la figura 7, se activan de manera independiente verificando el encendido de los LED's y el pistón que deben responder al movimiento del potenciómetro de actúa como acelerador, ya sea aumentando o disminuyendo la velocidad de intermitencia y en caso del pistón las RPM.

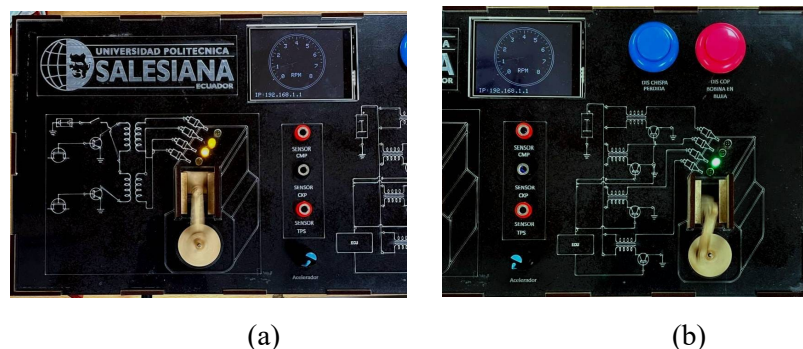


Figura 7. (a) Respuesta de encendido modo DIS por chispa perdida, (b) respuesta de encendido modo DIS COP.

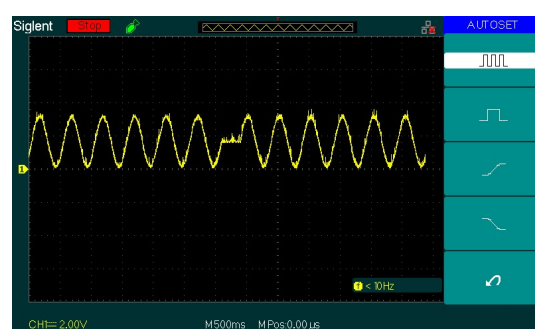
3.3 Prueba de toma de señales

Para comprobar las señales es necesario el uso de un osciloscopio, se adquiere mediante puertos banana hembra, dependiendo de cada tipo de sensor se muestra en la pantalla del osciloscopio la onda característica del sensor basado en la señal real de un sensor automotriz como se muestra en la figura 8 donde se representa la señal del TPS, sensor CKP INDUCTIVO, sensor CMP.

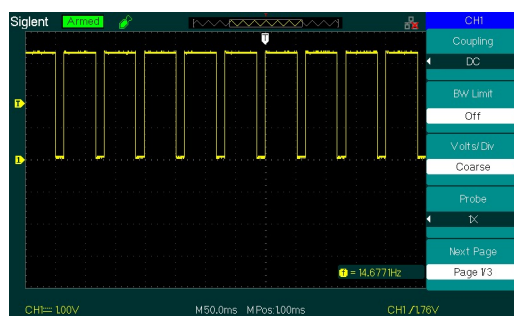
Para realizar este proceso se necesita de un cable banana macho para la señal y otro para tierra, conectado al osciloscopio.



(a)



(b)



(c)

Figura 8. (a) Señal sensor TP, (b) señal sensor CKP inductivo, (c) señal sensor CMP.

3.4 Prueba de conectividad con servidor WEB

La página WEB donde se encuentra el marco teórico de cada modo, así como también su funcionamiento y un banco de preguntas como se muestra en la figura 9 para estimular el aprendizaje del estudiante se comprueban mediante la correcta conexión entre el módulo didáctico y un dispositivo móvil, ingresando a los diferentes apartados como lo son el emulador, teoría y cuestionario donde el estudiante obtendrá una calificación final.

Para entrar al servidor WEB es necesario conectarnos a la señal Wi-Fi que emite el ESP32, dentro de esta red va a estar habilitado un servidor con la IP: 192.168.1.1, que se va a ver reflejado en la pantalla TFT, al acceder a este nos encontraremos con 3 diferentes botones, teoría, cuestionario, y emulador.

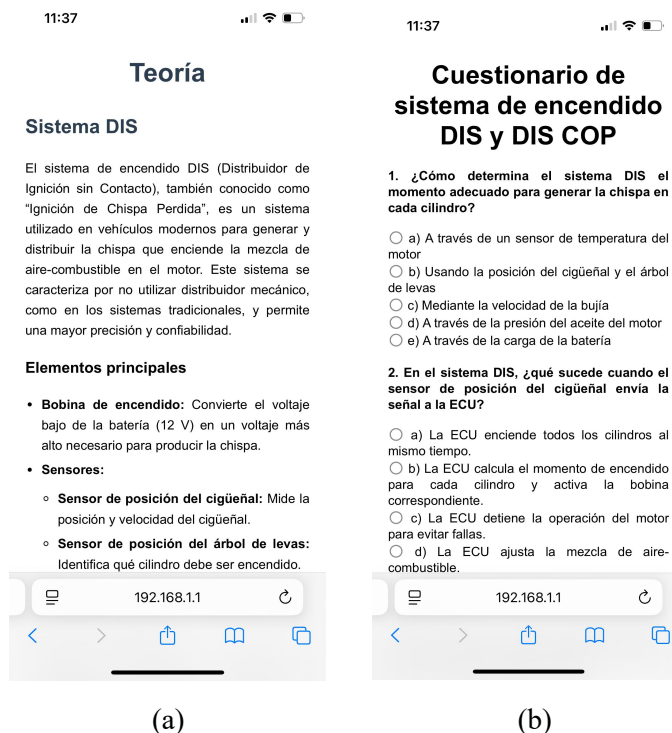


Figura 9. (a) Pantalla de teoría, (b) pantalla cuestionario.

4. Discusión

El diseño y construcción del prototipo de emulador del sistema de encendido electrónico demuestra que es posible ofrecer una herramienta educativa funcional, accesible y de bajo costo, similar a lo descrito en el artículo referente a módulos didácticos de control electromecánico. La implementación del ESP32 DevKit V1 permitió la generación de señales como CKP, CMP y TPS, cruciales para replicar el comportamiento de un sistema de encendido real, asegurando compatibilidad con distintas configuraciones automotrices.

Comparado con sistemas comerciales, el emulador desarrollado presenta ventajas significativas, como una estructura liviana gracias al uso de planchas de acrílico, además de la incorporación de una interfaz web educativa que complementa la experiencia práctica del usuario. Esto responde a la problemática descrita en la literatura sobre la falta de recursos accesibles para instituciones educativas con limitados presupuestos.

Durante las pruebas, la captura de señales a través de un osciloscopio validó la forma de onda generadas, confirmando la correcto funcionamiento y activación de los modos DIS por chispa perdida y DIS COP. La conectividad inalámbrica ofrecida por el ESP32 demostró ser efectiva para la visualización de datos en tiempo real, proporcionando una plataforma versátil para la enseñanza del diagnóstico de sistemas de encendido.

Este trabajo contribuye al avance en la enseñanza automotriz al proporcionar un modelo replicable y escalable, alineado con tendencias tecnológicas actuales, tal como se promueve en estudios sobre la elaboración de módulos didácticos para la educación técnica.

A pesar de sus logros, el prototipo presenta ciertas limitaciones, como la necesidad de mejorar la estabilidad de la señal junto con su sincronización y la capacidad para emular fallas complejas en sensores. Sin embargo, estas limitaciones abren la posibilidad de futuras investigaciones que puedan incluir la integración de módulos adicionales o la adaptación a otros sistemas automotrices.

5. Conclusiones

La construcción del prototipo de módulo didáctico del sistema de encendido automotriz comprueba que se ha cumplido con la funcionalidad de este, ya que mediante las pruebas realizadas se determina el correcto funcionamiento.

dando así el aspecto didáctico que se necesitan en las aulas para mejorar el aprendizaje y comprensión del sistema de encendido automotriz de los estudiantes.

El desarrollo del prototipo de emulador de bajo costo del sistema de encendido electrónico utilizando una tarjeta de desarrollo programable ha demostrado ser una solución efectiva para aplicaciones educativas dando así el aspecto didáctico que se necesitan en las aulas para mejorar el aprendizaje y comprensión del sistema de encendido automotriz de los estudiantes.

A lo largo del proceso de diseño, implementación y pruebas, se verificó que el emulador es capaz de emular el funcionamiento de un sistema de encendido electrónico, permitiendo a los estudiantes visualizar y comprender el comportamiento de sus componentes en un entorno controlado y accesible.

El prototipo del módulo cumple con el objetivo de reducir el costo a comparación de las maquetas y módulos que realizan las grandes compañías, teniendo un costo muy por debajo del precio de las anteriores, ofreciendo la accesibilidad económica para que se pueda replicar y seguir orientando estudiantes dentro de la carrera de ingeniería automotriz.

Referencias

- [1] J. Parra, E. Caro, and J. Jiménez, “Revisión de estrategias de enseñanza y aprendizaje de la electrónica básica orientada a neouniversitarios de ingeniería,” *DYNA (Colombia)*, vol. 90, no. 227, pp. 176–184, Aug. 2023, doi: 10.15446/dyna.v90n227.109295.
- [2] Lucero Calleconde, “Diseño e implementación de un sistema automatizado y antirrobo en el automóvil Toyota Vitz mediante comandos de voz de un celular inteligente,” Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, 2023.
- [3] C. Narvajo and C. Kenny, “Probador secuencial automotriz para el aprendizaje de diagnóstico de inyectores electrónicos en estudiantes del Instituto Tecnológico IDAT, Lima,” Universidad Nacional del Centro del Perú, Tarma, 2020.
- [4] B. Paguay and C. Manobanda, “Implementación del simulador de fallas del sistema CRDI para el análisis de los sensores del vehículo Chevrolet Dmax 2019,” Tecnológico Universitario Vida Nueva, Quito, 2024.
- [5] B. S. H. Jesús Claudio Sánchez Nájera, “Elaboración de módulos didácticos de Control Electromecánico para Unidades de Aprendizaje de las carreras de Máquinas con Sistemas Automatizados y Aeronáutica,” May 2020.
- [6] D. G. Salcedo, “Banco de comprobación de la ECM KEFICO M.7.9.8 como recurso de aprendizaje para los estudiantes de la carrera de Mecánica Automotriz,” Instituto Superior Tecnológico Vida Nueva, Quito, 2022.
- [7] A. Pérez and A. Sellan, “Diseño e implementación de un módulo didáctico de pruebas para un sistema de inyección automotriz utilizando un autómata programable S7-1200,” Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, 2021.

- [8] F. Cortez and E. Amaya, “Simulador didáctico automotriz de red multiplexada can-bus y sistema de dirección asistida eléctricamente EPS,” *La Libertad*, Jan. 2024.
- [9] J. Andia, M. Salinas, R. Orellana, and D. Sempértegui, “Estado del arte sobre la influencia de mezclas etanol-gasolina en el desempeño de motores de combustión interna,” vol. 23, no. 1, Jul. 2023, doi: 10.23881/idupbo.023.1-7i.
- [10] J. Guasumba, D. Oramas, H. Galeano, and E. Vergara, “El control y la gestión de la inyección electrónica de combustible para los motores de encendido provocado,” vol. 7, Aug. 2021, doi: 10.23857/dc.v7i4.2206.
- [11] D. R. B. Syaka, A. T. Purwoko, and Sopiyan, “Design and Experiment of a Prototype Electronic Control Unit Direct Injection Fuel System Arduino-Based for 2-stroke Spark Ignition Engine,” *Automotive Experiences*, vol. 5, no. 1, pp. 49–56, Jan. 2022, doi: 10.31603/ae.5472.
- [12] S. Karaman and L. Guvenc, “Low Cost, Educational Internal Combustion Engine Electronic Control Unit Hardware-in-the-Loop Test Systems.” Massachusetts, 2020.
- [13] R. A. Ramírez-Mendoza, R. Morales-Menéndez, A. Aguilar, and M. Giacomán-Zarzar, “Educación en autotrónica: un enfoque de aprendizaje activo,” 2009. [Online]. Available: <http://www.sae.orgwww.onlinedoc-translator.com>