



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE INGENIERÍA DE AUTOMOTRIZ**

TEMA

Diseño de un prototipo de emulador de bajo costo del sistema de inyección electrónica a gasolina LH-Jetronic utilizando una tarjeta de desarrollo programable

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero(a) Automotriz

AUTOR: JONATHAN ROBERTO ESCALANTE BELNABES

RODRIGO ALEXANDER VERSOZA JIMÉNEZ

TUTOR: ING. MARCOS EFRAÍN MILLÁN TRAVERSO

Guayaquil – Ecuador

2025

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Jonathan Roberto Escalante Belnabes con documento de identificación N° 0956858146 y Rodrigo Alexander Versoza Jiménez con documento de identificación N° 1105277808; 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,

Jonathan Roberto Escalante Belnabes

0956858146

Rodrigo Alexander Versoza Jiménez

1105277808

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

Nosotros, Jonathan Roberto Escalante Belnabes con documento de identificación No. 0956858146 y Rodrigo Alexander Versoza Jiménez con documento de identificación No. 1105277808, 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 Proyecto Técnico: “Diseño de un prototipo de emulador de bajo costo del sistema de inyección electrónica a gasolina LH-Jetronic 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,



Jonathan Roberto Escalante Belnabes

0956858146



Rodrigo Alexander Versoza Jiménez

1105277808

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 INYECCIÓN ELECTRÓNICA A GASOLINA LH-JETRONIC UTILIZANDO UNA TARJETA DE DESARROLLO PROGRAMABLE, realizado por Jonathan Roberto Escalante Belnabes con documento de identificación N° 0956858146 y por Rodrigo Alexander Versoza Jiménez con documento de identificación N° 1105277808, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico 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

Dedico este trabajo a Dios porque él ha sido mi guía espiritual y me ha dado la fuerza que necesitaba para superar cada dificultad que encontré en el camino. Gracias a mi familia por su amor incondicional y apoyo constante que me ha ayudado a llegar donde estoy hoy. Gracias a los profesores e instructores que compartieron sus conocimientos y me guiaron a lo largo de mis estudios. A mis amigos que han estado en momentos complicados y me han apoyado cuando más lo necesitaba.

Este logro no es sólo mío; Es también fruto del cariño, la confianza y el esfuerzo conjunto de quienes siempre están presentes. Dedico este trabajo a todos con infinita gratitud.

Jonathan Roberto Escalante Belnabes

De mis consideraciones, dedico este logro a mi familia que estuvieron apoyándome desde el inicio, transcurso y fin de un largo pero provechoso proceso, sin dejar de lado a las personas que estuvieron formándonos con el inflexible compromiso de obtener los mejores resultados.

Amigos, imposible no tomarlos en consideración, pues sin ellos no podríamos tener un punto de vista diferente y una risa asegurada.

Padre, tus palabras y apoyo incondicional lograron asentar los cimientos de mi futuro, Mami Bertha, quien me demostró que llegar a la meta no es el final, que no obtienes buenos frutos si no perseveras y trabajas arduamente por lo que te propones. Mami Blanca y Abuelita, que la distancia no sea impedimento para dejarlos atrás en triunfo, pues sin sus estrictas enseñanzas y valores no fuese capaz de discernir entre mis prioridades.

Rodrigo Alexander Versoza Jiménez

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios porque sé que sin su amor y guía no sería capaz de lograr lo que he logrado. Es el quien me da la fuerza para levantarme cada vez que caigo y la fe para seguir adelante, incluso cuando las cosas parecen imposibles.

Gracias a mis abuelos, el Dr. Abdón Escalante y la Dra. Shirley Chuqui, por apoyarme en cada decisión que tomé en el transcurso de mi carrera. Siempre creyeron en mí, incluso cuando ni yo sabía qué decisión tomar. Gracias por ser mi refugio en momentos difíciles y por enseñarme que el conocimiento y el amor van de la mano. Su apoyo incondicional ha sido la base durante todo este camino.

A mis padres, María Belnabes y Roberto Escalante, no encuentro palabras para agradecerles todo lo que han hecho por mí. Mamá, por tus abrazos, tus consejos y tu infinita paciencia. Mi padre quien me enseñó que con trabajo duro puedo superar cualquier obstáculo. Este éxito es tanto suyo como mío, porque siempre han estado ahí, dándome alas para volar.

A mi pareja, Shaina Bourgeois, gracias por ser mi mayor apoyo y mi refugio durante los tiempos difíciles. Porque creíste en mí cuando yo dudaba de mí mismo, porque celebraste mis pequeñas victorias y porque me recordaste que nunca estoy solo. Tu amor es mi mayor fortaleza.

Gracias a los maestros y mentores que compartieron su sabiduría y creyeron en mí. Cada corrección, cada consejo y cada palabra de aliento me ayuda a crecer como persona y profesional. Gracias por enseñarme que el aprendizaje nunca se detiene.

Gracias a mis amigos y compañeros, Rodrigo Versoza, Elvis Suárez, John Quinde y Esteban González, gracias por hacerme reír en los momentos difíciles y por acompañarme en este viaje. Con ustedes descubrí que el camino se disfruta mucho más cuando se recorre junto a personas que te apoyan. y te inspiran a seguir adelante.

Por último, quiero agradecer a todas aquellas personas que, aunque no estén mencionadas aquí, han impactado mi vida a lo largo de este proceso. Gracias a todos los que creyeron en mí, caminaron conmigo y me enseñaron que no importa lo difícil que sea el camino, luchar por superarte uno mismo siempre vale la pena.

Jonathan Roberto Escalante Belnabes

AGRADECIMIENTO

En el principio, cuando todo era incertidumbre y mi camino parecía un lienzo en blanco, estuvieron ustedes, mi familia, quienes con su amor tejieron los primeros hilos de este gran sueño. Fueron las manos que me sostuvieron cuando mis fuerzas flaqueaban, las voces que susurraron al oído que el esfuerzo siempre vale la pena. Agradezco cada instante compartido, cada consejo dado con paciencia y cada abrazo que me recordó que no estaba solo.

Con el transcurso de este largo proceso, encontré guías invaluable, personas cuyo compromiso inflexible dejó en mí una huella imborrable. Maestros y mentores que no solo iluminaron mi mente con conocimientos técnicos, sino que también sembraron en mi corazón la convicción de que la verdadera grandeza reside en servir a los demás.

Y cómo olvidar a mis amigos, esos compañeros de travesía que pintaron de colores vivos los días grises. Con ellos aprende que el humor es un bálsamo en medio del caos, que una mirada diferente puede abrir puertas insospechadas y que, incluso en los momentos más difíciles, siempre hay espacio para una sonrisa genuina. Gracias por ser mi brújula cuando me perdía y mi eco cuando necesitaba escuchar otra vez lo que ya sabía en el fondo.

Padre, tus palabras fueron faros en la tormenta, guiándome hacia aguas más tranquilas. Tu apoyo incondicional construyó los cimientos sobre los que hoy me sostengo. Mami Bertha, tu ejemplo me mostró que la perseverancia es el puente entre el sueño y la realidad. Me enseñaste que llegar a la meta no es suficiente si no se ha trabajado arduamente para merecerla. Mami Blanca y Abuelita, aunque la distancia física nos separa, su legado de disciplina y valores sigue siendo mi norte. Sin sus estrictas pero amorosas enseñanzas, no habría podido discernir entre lo urgente y lo importante, entre lo efímero y lo eterno.

Este logro no es mío solo; es de todos ustedes, porque cada uno puso un ladrillo en esta construcción. Como una cadena de sucesos entrelazados, cada gesto, cada palabra y cada sacrificio me llevaron hasta aquí. Este proyecto es el reflejo de sus esfuerzos combinados, un homenaje a quienes nunca dudaron de mí, incluso cuando yo mismo lo hice.

Que estas líneas sean un recordatorio de que, aunque el tiempo pase y los caminos se bifurquen, siempre llevará conmigo el calor de su presencia y el eco de sus enseñanzas. Gracias, desde lo más profundo de mi ser, por ser parte de esta historia.

Rodrigo Alexander Versoza Jiménez

RESUMEN

El presente estudio aborda el diseño y desarrollo de un prototipo emulador de bajo costo para el sistema de inyección LH-Jetronic, cuyo propósito es proporcionar una alternativa accesible para instituciones educativas con recursos limitados, debido a su bajo costo de fabricación en comparación a los sistemas de simulación tradicionales. Implementando un módulo controlador ESP32 para la simulación de señales de sensores y actuadores además de una pantalla TFT, que facilita la visualización de características teóricas de los elementos que componen el sistema. Se implementa también una interfaz web en la que los estudiantes adquieran el conocimiento teórico validándolo con un breve cuestionario sobre cada uno de los elementos. Tras realizar la codificación de las señales, la validación de la similitud de las señales simuladas por medio de un osciloscopio es aceptable a comparación con las teóricas.

Palabras claves: Emulador, inyección electrónica, LH-Jetronic, ESP32, aprendizaje práctico, simulación de sensores.

ABSTRACT

This study focuses on the design and development of a low-cost emulator prototype for the LH-Jetronic injection system, aiming to provide an affordable alternative for educational institutions with limited resources, given its lower manufacturing cost compared to traditional simulation systems. An ESP32 controller module was implemented to simulate sensor and actuator signals, along with a TFT display that facilitates the visualization of theoretical characteristics of the system components. Additionally, a web interface was developed, allowing students to acquire theoretical knowledge and validate their understanding through a brief questionnaire on each element. After coding the signal simulations, the validation of their similarity using an oscilloscope showed an acceptable correlation compared to theoretical reference signals.

Key words: Emulator, electronic injection, LH-Jetronic, ESP32, practical learning, sensor simulation.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
AGRADECIMIENTO	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
ÍNDICE DE CONTENIDO	ix
GLOSARIO	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Problema	1
1.2. Antecedentes	2
1.3. Importancia y alcances	2
1.4. Delimitación	3
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo General	3
2.2. Objetivos Específicos	3
3. MARCO TEÓRICO	4
3.1. Modelos de aprendizaje	4
3.1.1. Pirámide de aprendizaje de Edgar Dale	4
3.1.2. Teoría de aprendizaje experiencial	5
3.1.3. Teoría de la carga cognitiva de John Sweller	6
3.1.4. Modelo de diseño de Michael French	6
3.2. Sistemas de inyección Multipunto	7
3.2.1. Sistema de inyección LH-Jetronic	7
3.3. Criterios de selección de materiales	8
3.4. Análisis de modelos existente	8
3.4.1. Simulador de ECU (NI sbRIO-9636)	9
3.4.2. Emulador de inyectores a gasolina	9
3.4.3. Módulo YESA – 7000 / 7203	9
3.5. Hardware	10
3.5.1. Módulo ESP32	10
3.5.2. Potenciómetro	10
3.5.3. LED's	11

3.5.4.	<i>Pantalla Táctil TFT 2.4'</i>	11
3.5.5.	<i>Motor paso a paso.</i>	12
3.6.	Software	12
3.6.1.	<i>Programa VSCode con extensión PlatformIO</i>	12
3.6.2.	<i>Lenguaje C++</i>	13
4.	MARCO METODOLÓGICO	14
4.1.	Análisis del problema	14
4.2.	Diseño conceptual	14
4.2.1.	<i>Dar forma al esquema.</i>	15
4.2.2.	<i>Diseño de Interfaz Web</i>	16
4.2.3.	<i>Diseño de la Pantalla TFT</i>	17
4.2.4.	<i>Componentes del esquema</i>	18
4.2.5.	<i>Proceso de Funcionamiento del Sistema</i>	18
4.2.6.	<i>Selección de Materiales</i>	19
4.3.	Desarrollo de detalles	20
4.3.1.	<i>Funcionamiento</i>	20
4.3.2.	<i>Generación de señales</i>	20
4.4.	Fase de evaluación	29
4.5.	Fase de Ejecución	30
5.	CRONOGRAMA	31
6.	PRESUPUESTO	32
7.	RESULTADOS	33
7.1.	Resultados	33
7.2.	Discusión	34
8.	CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	35
8.1.	Conclusiones	35
8.2.	Recomendaciones	35
	REFERENCIAS	36
	ANEXO 1	40
	ANEXO 2	40
	ANEXO 3	41
	ANEXO 4	41
	ANEXO 5	42
	ANEXO 6	47

GLOSARIO

IoT: *Internet de las Cosas (Internet of Things)*

HMI: *Interfaz Humano-Maquina (Human-Machine Interface)*

TFT: *Transistor de Película Fina (Thin Film Transistor)*

CMP: *Sensor de Posición de Árbol de Levas (Camshaft Position)*

CKP: *Sensor de Posición del Cigüeñal (Crankshaft Position Sensor)*

ECT: *Sensor de Temperatura del Refrigerante (: Engine Coolant Temperature)*

TPS: *Sensor de Posición del Acelerador (Throttle Position Sensor)*

MAF: *Sensor de Flujo de Masa de Aire o Caudalímetro (Mass Air Flow)*

MAP: *Sensor de Presión del Múltiple de Admisión (Manifold Absolute Pressure)*

VSS: *Sensor de Velocidad del Vehículo (Vehicle Speed Sensor)*

IAC: *Válvula Reguladora de Flujo de Aire (Idle Air Control)*

EGR: *Válvula de Recirculación de Gases de Escape (Exhaust Gas Recirculation)*

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Pirámide de Aprendizaje de Edgar Dale. [10].	5
Fig. 2. Ciclo de Aprendizaje de David Kolb. [11]	6
Fig. 3. Diagrama de Procesos basado el Diseño de Michael French. [12]	7
Fig. 4. Sistema de Inyección LH.Jetronic y sus Principales Componentes. [13]	8
Fig. 5. Módulos de Simulador de ECU (NI sbRIO-9636). [14]	9
Fig. 6. Módulo de Inyectores a gasolina. [15]	9
Fig. 7. Módulo YESA – 7000 / 7203. [16]	10
Fig. 8. Módulo ESP32. [17]	10
Fig. 9. Potenciómetro logarítmico. [18]	11
Fig. 10. Diodo LED. [19]	11
Fig. 11. Pantalla TFT.	12
Fig. 12. Motor Paso a Paso. [21]	12
Fig. 13. Codificación en Programa VS Code con Extensión Platformio. [23]	13
Fig. 14. Diagrama de funciones (Pantalla TFT e Interfaz Web)	15
Fig. 15. Diseño del esquema seleccionado.	15
Fig. 16. Diseño del prototipo seleccionado.	16
Fig. 17. Vista general del diseño de página web.	16
Fig. 18. Diseño del menú, descripción y formulario del elemento.	17
Fig. 19. Diseño de pantalla en prototipo (a. Menú principal, b. Menú de actuadores, c. Menú de sensores).	17
Fig. 20. Diseño de pantalla en prototipo (a. Diseño para gráfica de sensores, b. Diseño para gráfica de actuadores).	17
Fig. 21. Diagrama de Procesos en el Sistema para Inicialización del Emulador (Inicio/ Conexión/Lectura de datos).	19
Fig. 22. Modos de funciona del módulo didáctico.	21
Fig. 23. Demostración de la onda en pantalla TFT (Señal del CKP Teórica).	21
Fig. 24. Posicionamiento de los Puntos de pruebas.	22
Fig. 25. Actualización de Interfaz Web (Página principal).	22
Fig. 26. Actualización de la sub-opciones de herramientas.	23
Fig. 27. Actualización de herramientas (Osciloscopio/Multímetro).	23
Fig. 28. Funcionamiento de las herramientas implementadas.	24
Fig. 29. Actualización de la información y cambio de diseño de la página web.	24
Fig. 30. Representación visual de los cuestionarios.	25
Fig. 31. Código C++ para la generación de señales (Declaración de pines).	30
Fig. 32. Señales características teórica a) sensor CKP (Senoidal), b) Inyector, c) CMP (Cuadrada) y d) Inyectores.	30

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Comparativas de los materiales	20
Tabla 2: Cronograma de actividades.	31
Tabla 3: Presupuesto.....	32

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema

La educación técnica y la formación en ingeniería automotriz enfrentan barreras significativas debido a la falta de herramientas educativas accesibles para la simulación y análisis de sistemas de inyección de gasolina. Según [1], la integración de tecnologías como el ESP32 ha demostrado ser efectiva en la educación técnica, permitiendo a los estudiantes experimentar con proyectos de IoT y otros sistemas complejos a bajo costo. Esta tecnología podría ser una solución viable para abordar las barreras económicas en la formación automotriz

Además, [2] investigan y desarrollan un motor de reluctancia de conmutación (SRM) para vehículos eléctricos, implementando controladores inteligentes que permiten gestionar y monitorear la velocidad del motor a través de un análisis experimental con un prototipo. Además, utilizan tecnologías en la nube, como ESP32 y Thing Speak, para facilitar el control y la supervisión remota, integrando así un enfoque innovador que mejora la eficiencia y sostenibilidad de los vehículos eléctricos.

El uso de laboratorios remotos también ha sido propuesto como una alternativa para mejorar el acceso a tecnologías educativas avanzadas. [3] desarrollaron el ArPi Lab, un laboratorio remoto de bajo costo que permite la formación práctica en control de procesos utilizando hardware accesible como Raspberry Pi y Arduino, lo que podría adaptarse a la enseñanza de sistemas de inyección de combustible.

[4] señalan que la pandemia de COVID-19 ha acelerado la adopción de soluciones de aprendizaje remoto en la educación técnica, lo que ha impulsado la creación de laboratorios remotos basados en tecnologías como ESP32 y NOD-red para la simulación de sistemas complejos. Esto es especialmente relevante en la enseñanza de la ingeniería automotriz, donde el acceso a equipos físicos está limitado por su costo elevado.

El uso de tecnologías asequibles y de código abierto, como la integración de Arduino y Raspberry Pi, también se ha destacado como una solución para mejorar el acceso a simulaciones prácticas en el ámbito educativo. [5]. explican cómo la implementación de laboratorios remotos con estas plataformas ha permitido a los estudiantes desarrollar habilidades prácticas sin la necesidad de costosos equipos especializados

Por último, [6] y [7] coinciden en que el desarrollo de sistemas de bajo costo para la simulación y diagnóstico de motores podría ser una solución clave para superar las barreras en la educación técnica automotriz, especialmente en lo que respecta a la gestión de vehículos y la simulación de sistemas de navegación mediante arquitecturas de bus CAN y otros sistemas modulares

La creciente complejidad de los sistemas de inyección electrónica en los vehículos modernos ha generado una demanda cada vez mayor de técnicos altamente capacitados. Sin embargo, la falta de acceso a equipos de diagnóstico y simulación de alto costo limita significativamente la formación práctica de estos profesionales. Además, la posibilidad de adaptar el simulador a diferentes modelos de vehículos aumenta su versatilidad y lo convierte en una herramienta valiosa tanto para instituciones educativas. En este contexto, el presente proyecto busca desarrollar un prototipo de emulador de bajo costo que permita superar las limitaciones actuales y ofrecer una solución accesible y efectiva para la formación de técnicos en sistemas de inyección electrónica.

1.2. Antecedentes:

El proyecto busca desarrollar un prototipo didáctico de bajo costo que simule el funcionamiento de un sistema de inyección electrónico de gasolina, utilizando un controlador ESP32 y una interfaz HMI. Esta iniciativa responde a la necesidad de mejorar la enseñanza técnica en la ingeniería automotriz, donde la falta de equipos especializados impide que los estudiantes adquieran experiencia práctica. Actualmente, muchas instituciones dependen de la enseñanza teórica, lo que limita el desarrollo de habilidades en el análisis de diagnóstico sobre estos tipos de sistemas.

1.3. Importancia y alcances

El prototipo permitirá a los estudiantes interactuar directamente con sistemas de inyección de gasolina simulados, acercando la teoría a la práctica. De acuerdo con el modelo del Triángulo de Edgar Dale, el aprendizaje es más efectivo cuando se basa en experiencias directas, y este prototipo facilita precisamente ese tipo de aprendizaje práctico. Al ofrecer una herramienta accesible, se democratiza el acceso a una formación de calidad, permitiendo que más estudiantes desarrollen competencias que son altamente valoradas en el mercado laboral.

El proyecto es escalable y replicable en diversas instituciones, lo que amplía su impacto. Además, fomenta la sostenibilidad, al utilizar tecnologías de bajo costo y ser adaptable a otros contextos educativos. Con este prototipo, las instituciones educativas podrán ofrecer una enseñanza más completa y alineada con las demandas actuales de la industria automotriz.

Este proyecto beneficia a los estudiantes de instituciones con bajos recursos y jóvenes en situaciones vulnerables que pertenezcan a proyectos de vinculación con la sociedad, quienes podrán desarrollar habilidades prácticas en el sistema de inyección multipunto (LH-Jetronic) gracias a una herramienta accesible como lo es el prototipo a desarrollado. Al incorporar un microcontrolador y materiales económicos, el módulo didáctico permite combinar tecnología moderna a un precio asequible, facilitando su aceptación en centros educativos con recursos limitados. El fin de realizar este

prototipo es fortalece a las instituciones, mejorando la calidad educativa y aumentando la competitividad de los profesionales formados.

1.4. Delimitación:

Se plantea realizar un emulador un del sistema de inyección de combustible electrónico, utilizando como base el módulo ESP 32, el método que se planea utilizar para desarrollar este proyecto es sustituir los elementos reales con alternativas más económicas, entre estos se encuentra los componentes como el CMP (Sensor de posición cigüeñal), CKP (sensor de posición árbol de levas), ECT (Sensor de temperatura), TPS (posición de la mariposa), MAF (Flujo de masa de aire), estos variarán acordes a las revoluciones (RPM) en el prototipo y será representado mediante un potenciómetro, ya que estos nos permitirán variar las condiciones de funcionamiento. Como existe una amplia variedad de modelos en el mercado no se puede representar un solo prototipo, debido a la constante evolución de los sistemas de inyección e implementación de nuevos elementos, limita la creación de un modelo general, lo que ocasiona centrarse en modelos específico.

Dicho prototipo permitirá identificar funcionamiento de los elementos, voltajes y oscilogramas correspondientes, que podrán ser obtenidos mediante instrumentación automotriz. Así mismo dispondrá de un display que permitirá entregar información sobre sensores y actuadores.

Este proyecto se planea desarrollar durante el periodo 65, en la Universidad Politécnica Salesiana, campus Centenario, el cual se encuentra ubicado en la ciudad de Guayaquil. El trabajo cumpliendo con los requisitos requeridos por la institución, proporcionando una justificación detallada de las decisiones de diseño y una evaluación los resultados obtenidos, respaldados por una sólida base teórica.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

- Diseñar un prototipo de emulador de bajo costo del sistema de inyección electrónica de gasolina “LH-Jetronic” utilizando una tarjeta de desarrollo programable con la finalidad de lograr una nueva alternativa de aprendizaje.

2.2. Objetivos Específicos

- Determinar los requerimientos mínimos del diseño del prototipo para un sistema de inyección electrónico “LH-Jetronic”, realizando un análisis técnico de las especificaciones funcionales y operativas necesarias para el prototipo asegurando que el diseño cumpla con las condiciones para el correcto funcionamiento del sistema.

- Desarrollar la programación del software para la emulación del sistema de inyección utilizando C++ para simular su funcionamiento y permita su evaluación en diferentes condiciones.
- Validar la emulación generada de sensores y actuadores mediante comparación de graficas de señal para verificar la fidelidad de la emulación en relación con el comportamiento teórica de los sensores y actuadores.
- Establecer el estudio de viabilidad técnico-económica del emulador, evaluando los costos de desarrollo, implementación y mantenimiento, así como los beneficios técnicos del emulador para determinar si el proyecto es factible desde una perspectiva económica y técnica antes de su implementación.

3. MARCO TEÓRICO.

3.1. Modelos de aprendizaje.

Es sumamente importante utilizar recursos didácticos que permitan la interacción directa con el contenido, más allá de simples instrucciones orales. Estos materiales hacen que el aprendizaje sea más práctico y motivador porque permiten a los estudiantes experimentar, analizar y aplicar el conocimiento de una manera tangible. Además, fomenta la creatividad y el desarrollo de habilidades importantes, especialmente en los niveles iniciales, donde el juego activo y la exploración son esenciales para el aprendizaje profundo [8]

Los materiales didácticos son una interesante herramienta pedagógica que permite facilitar el proceso de aprendizaje de las ciencias naturales de una manera divertida, potenciando con ello el desarrollo académico de los estudiantes. La importancia radica en utilizarlo de forma selectiva, de acuerdo con los requerimientos de la asignatura, ayudando a aumentar la motivación y promover el pensamiento crítico y creativo. [9]

Según Morales (2012), los recursos didácticos son un conjunto de recursos materiales que intervienen y apoyan el proceso de aprendizaje. Estos materiales pueden ser físicos o virtuales, brindan condiciones que despiertan el interés de los estudiantes, se adaptan a las características físicas y mentales del estudiante y crean condiciones favorables para las actividades docentes al servir de guía; Además, tienen una gran ventaja, se adaptan a cualquier tipo de contenido.

3.1.1. Pirámide de aprendizaje de Edgar Dale

El triángulo de Edgar Dale, que organiza las experiencias de aprendizaje de lo abstracto a lo concreto, enfatiza la importancia de incorporar la simulación y la práctica en la enseñanza de temas técnicos. Este enfoque se utilizó en el prototipo, proporcionando una experiencia práctica que optimiza la retención y el potencial del conocimiento. [10]

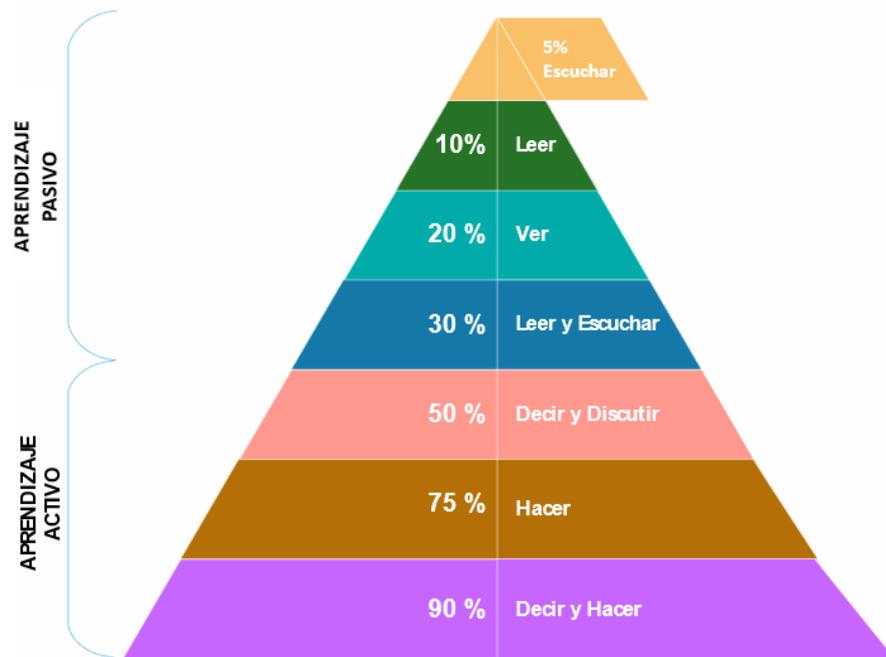


Fig. 1. Pirámide de Aprendizaje de Edgar Dale. [10].

3.1.2. Teoría de aprendizaje experiencial

La teoría del aprendizaje experiencial de Kolb [11], propone que el aprendizaje es un proceso cíclico y activo que se construye a partir de la experiencia. En otras palabras, aprendemos mejor haciendo y reflexionando sobre lo que hacemos. Para esto Kolb describe el proceso en cuatro etapas:

- Experiencia concreta: Interactuamos directamente con una situación o tarea.
- Observación reflexiva: Reflexionamos sobre nuestra experiencia, tratando de entender qué sucedió y por qué.
- Conceptualización abstracta: Creamos conceptos y teorías para explicar nuestra experiencia.
- Experimentación activa: Aplicamos nuestros nuevos conocimientos a nuevas situaciones.

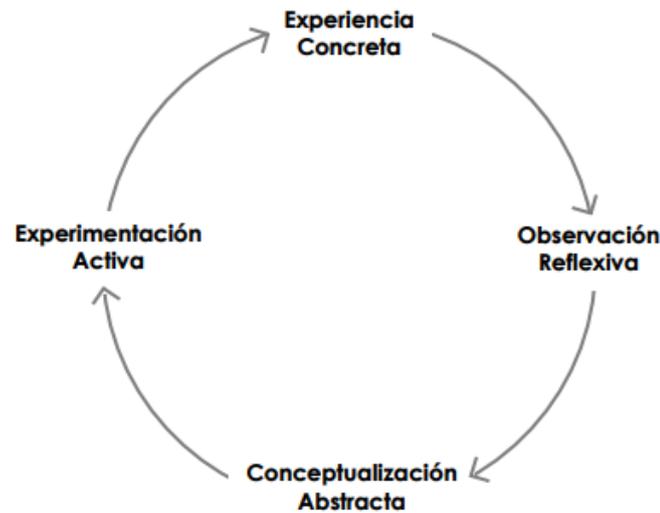


Fig. 2. Ciclo de Aprendizaje de David Kolb. [11]

3.1.3. Teoría de la carga cognitiva de John Sweller

Esta teoría, propuesta por Sweller (1994), plantea que nuestra capacidad para procesar información es limitada. Nuestra memoria de trabajo, donde procesamos la información nueva, tiene una capacidad finita. Por lo tanto, si sobrecargamos a nuestros estudiantes con demasiada información nueva a la vez, dificultamos el aprendizaje. Para esta teoría se definen tres tipos de carga cognitiva:

- **Intrínseca:** Es la carga inherente al material de aprendizaje. Algunos temas son simplemente más complejos que otros y requieren más esfuerzo cognitivo.
- **Extrínseca:** Se refiere a la carga impuesta por el diseño del material. Un diseño confuso o con demasiada información irrelevante puede aumentar la carga cognitiva innecesariamente.
- **Germana:** Es la carga cognitiva útil, que se dedica a construir esquemas mentales y a la automatización de procesos.

3.1.4. Modelo de diseño de Michael French

Este modelo, propuesto por Michael French [12], se centra en el proceso de diseño de productos y sistemas complejos. Si bien su enfoque principal es el diseño industrial, sus principios pueden aplicarse a diversos campos, incluyendo el diseño de experiencias de aprendizaje. Este modelo se define en cuatro etapas:

1. **Clarificación de la tarea:** En esta etapa se define claramente el problema a resolver o la necesidad a satisfacer. Es fundamental comprender a profundidad qué se quiere lograr con el diseño.

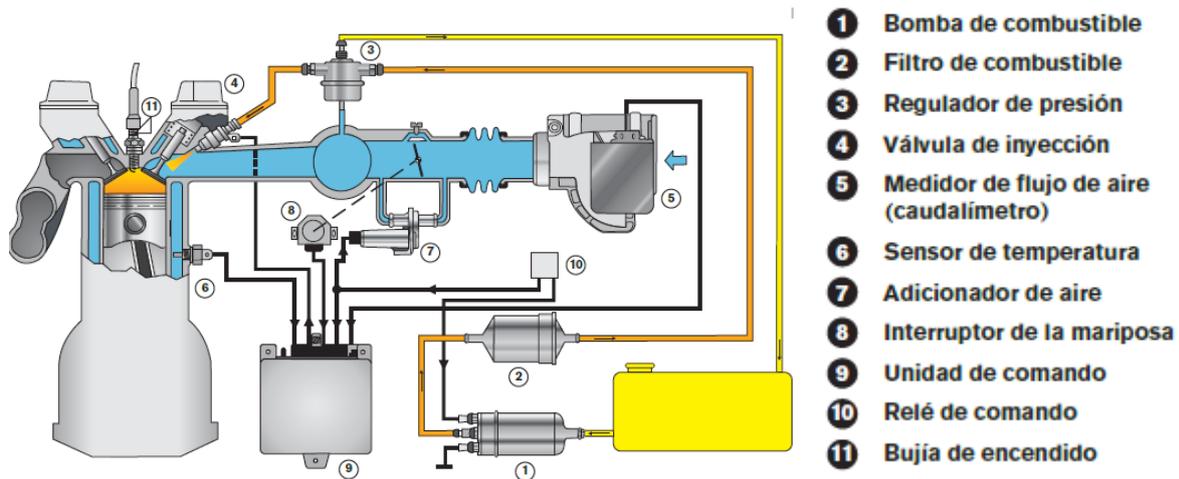


Fig. 4. Sistema de Inyección LH.Jetronic y sus Principales Componentes. [13]

3.3. Criterios de selección de materiales.

Según indica Álvaro González y Mesa G., La selección de materiales es fundamental para garantizar el rendimiento óptimo de los componentes de su diseño. La elección correcta de materiales y procesos no sólo mejora la eficiencia, sino que también permite a los diseñadores comparar diferentes enfoques y elegir el más adecuado para cada aplicación.

Se deben considerar varios factores clave al elegir materiales para emuladores de bajo costo. Primero, el costo de los materiales debe ser asequible para mantener la viabilidad financiera del proyecto. Igualmente, importante es que sea fácil trabajar con el material, lo que será útil en el proceso de diseño y fabricación.

Los menores requisitos de mantenimiento son esenciales para garantizar la funcionalidad a largo plazo del simulador, lo que ayuda a reducir los costos. Además, el material debe tener un peso adecuado, ya que esto incide en la portabilidad y facilidad de uso del simulador. Por último, la resistencia del material es esencial para garantizar que el simulador pueda resistir el desgaste y proporcionar un rendimiento óptimo durante su vida útil.

3.4. Análisis de modelos existente.

Revisar los modelos existentes es un paso esencial en el proceso de desarrollo del modelo porque le permite identificar las mejores prácticas, características funcionales y limitaciones de diseños anteriores.

Al revisar modelos similares, se examinarán los componentes clave, los conceptos de diseño y los materiales utilizados, proporcionando una base de comparación para optimizar el diseño del simulador. Este análisis también le ayudará a comprender cómo se representan los componentes complejos en otros modelos, así como a evaluar su facilidad de uso, precisión y durabilidad.

3.4.1. *Simulador de ECU (NI sbRIO-9636)*

Este emulador puede enviar las señales principales que requiere el ECU de inyección y encendido para operar fuera del vehículo y verificar su precisión en diversas situaciones. [14]



Fig. 5. Módulos de Simulador de ECU (NI sbRIO-9636). [14]

3.4.2. *Emulador de inyectores a gasolina*

Este módulo tiene como funcionalidad, poder observar en el emulador el momento de inyección e ignición, pudiendo interactuar con el mismo permitiendo obtener 3 tipos de interacciones, entre estas poder observar el tiempo de inyección, energización de la bobina y la visualización en el interfaz. [15]



Fig. 6. Módulo de Inyectores a gasolina. [15]

3.4.3. *Módulo YESA – 7000 / 7203.*

A través de este módulo podremos explicar las emisiones de los vehículos, centrándonos en el funcionamiento del sistema, así como los parámetros relacionados con la medición y control de los gases de escape.

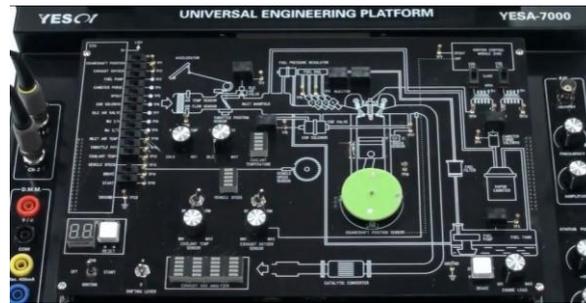


Fig. 7. Módulo YESA – 7000 / 7203. [16]

3.5. Hardware

3.5.1. Módulo ESP32

El ESP32 es un microcontrolador de alta integración que incorpora módulos de WiFi y Bluetooth, creado específicamente para el área de Internet de las Cosas. Este microchip, fabricado con tecnología de bajo consumo, posibilita la conexión sin cables y la interacción con el ambiente mediante 34 pines GPIO regulables. Adicionalmente, tiene la habilidad de producir señales analógicas a través de un ADC de 12 bits. El ESP32 dispone de un generador de reloj que garantiza la sincronización de las operaciones internas, lo que lo convierte en una alternativa adaptable y eficaz para una variedad de usos, desde investigaciones hasta usos industriales. [17]



Fig. 8. Módulo ESP32. [17]

3.5.2. Potenciómetro logarítmico.

Un potenciómetro es un componente eléctrico que sirve para variar la resistencia en un circuito, permitiendo ajustarla y medirla según sea necesario. Se basa en un contacto móvil llamado wiper que se desplaza sobre una resistencia, lo que cambia la tensión de salida según su posición. Existen tres tipos de potenciómetros: lineales, logarítmicos y anti logarítmicos. [18]

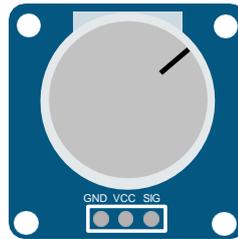


Fig. 9. Potenciómetro logarítmico. [18]

3.5.3. LED's

Cuando el LED's está en polarización directa, los electrones se desplazan de la región tipo n a la región tipo p. En la región tipo p, los huecos se combinan con los electrones de la región tipo n, liberando energía en forma de fotones. En la figura 10 se aprecia un LED's el cual generan luz a través de un fenómeno conocido como electroluminiscencia. [19]



Fig. 10. Diodo LED. [19]

3.5.4. Pantalla táctil TFT 2.8'

En la figura 11 se aprecia la pantalla TFT (Transistor de Película Delgada) opera controlando cada píxel de manera independiente a través de transistores que activan los colores cuando reciben corriente eléctrica. La información de la imagen es transmitida por el dispositivo hacia la pantalla, donde un microprocesador se encarga de ordenar los píxeles. Al recibir una corriente eléctrica, los transistores ponen en funcionamiento las capas de cristales líquidos, los cuales se ajustan gracias a un campo eléctrico, posibilitando el paso de luz a través de los filtros polarizadores y de color. La imagen visible se genera mediante este proceso, que se repite de forma rápida para mostrar los cambios en la pantalla. [20]

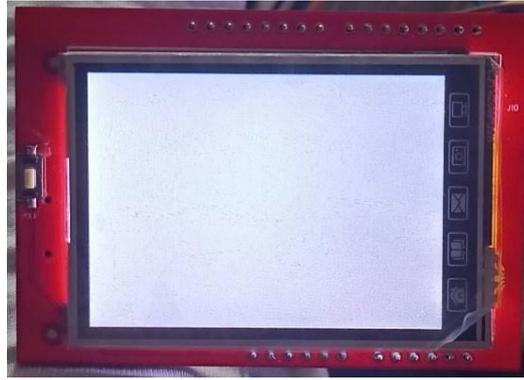


Fig. 11. Pantalla TFT.

3.5.5. Motor paso a paso.

El motor a pasos es un tipo de motor eléctrico que regula su movimiento mediante la excitación de sus bobinados con señales cuadradas que se activan con un cierto desfase. Su compatibilidad con microprocesadores, que emplean bits en sus procesos de comunicación y control del motor, lo convierte en una opción ideal para su integración. [21]



Fig. 12. Motor Paso a Paso. [21]

3.6. Software

3.6.1. Programa VSCode con extensión PlatformIO

VS Code, con la extensión PlatformIO, se transforma en un IDE para sistemas embebidos y microcontroladores como el ESP32, convirtiéndose así en una opción muy utilizada por los desarrolladores de software. Esta herramienta brinda características fundamentales incluyendo compatibilidad multiplataforma para diferentes estructuras de hardware, administración de bibliotecas para facilitar la inclusión de dependencias, y un archivo de configuración (platformio.ini) que simplifica la configuración del proyecto. Además, PlatformIO ofrece la posibilidad de compilar y cargar el firmware directamente en el dispositivo, así como herramientas de depuración y una fácil integración con sistemas de control de versión como Git. Con todas sus características, la implementación de

PlatformIO en VS Code ofrece una experiencia de desarrollo sólida y eficiente, simplificando la programación y administración de proyectos de manera más estructurada. [23]



Fig. 13. Codificación en Programa VS Code con Extensión Platformio. [23]

3.6.2. Lenguaje C++

C++ es un lenguaje de programación de propósito general que extiende las capacidades del lenguaje C al incluir características de programación orientada a objetos. Esto posibilita un mayor modularidad en el diseño de software. Se basa en la creación de código fuente que se convierte en lenguaje de máquina a través de un compilador, lo que posibilita su funcionamiento en distintos sistemas operativos. [24]

4. MARCO METODOLÓGICO

Basándose en el modelo de diseño propuesto por Michael French, este proyecto desarrolla de manera estructurada cada uno de los pasos definidos en su metodología.

4.1. Análisis del problema

La falta de acceso a equipos prácticos dificulta la comprensión de conceptos abstractos y la adquisición de habilidades prácticas. Los equipos didácticos especializados suelen ser costosos, lo que limita su adquisición por parte de las instituciones educativas, especialmente las de recursos limitados.

4.2. Diseño conceptual

En esta fase se desarrolló un prototipo práctico, accesible y replicable, diseñado para fines educativos. El diseño prioriza la accesibilidad y facilidad de manipulación para los estudiantes.

Los usuarios, previo al ejercicio práctico deberán pasar por el sustento teórico.

La parte teórica, se muestra en el interfaz web esta proporciona una introducción del sistema y sus componentes, asegurando que los usuarios comprendan el contexto antes de interactuar con el prototipo. Por otro lado, en el aprendizaje práctico, los usuarios podrán interactuar directamente con la maqueta con el conocimiento adquirido por parte de la conceptualización mostrados.

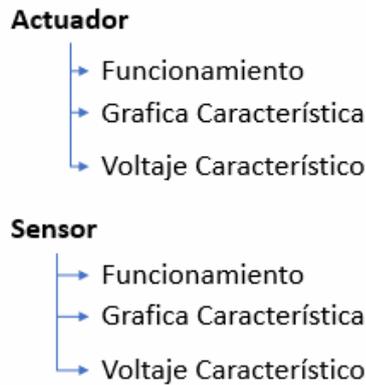
El módulo didáctico permite a los estudiantes interactuar de manera intuitiva. Los elementos estarán claramente ubicados, y los puntos de conexión (diferenciados por colores), facilitara la identificación y conexión correcta de los componentes durante las prácticas.

En la figura 14, podemos apreciar el diagrama de funcionamiento a seguir en la codificación, tanto de la pantalla TFT como en la página web. Para la presentación en la pantalla TFT se plantean dos opciones que serán sensores y actuadores y dentro de cada uno encontraremos el funcionamiento de la gráfica característica, así como su rango de voltaje.

Así mismo, en el desarrollo de la codificación para la página web se plantea la seguir la estructura que parte de un menú en donde se encuentra la descripción del sistema, sensores, actuadores y herramientas. Dentro de las opciones de sensores y actuadores encontraremos un apartado para la descripción de cada elemento y posterior a esto un breve cuestionario.

Para la opción de herramientas se desplegará una ventana que representará al osciloscopio y otra para el multímetro en las cuales podremos observar las ondas y voltajes característicos de cada elemento.

- **Codificación Pantalla TFT.**



- **Diseño de la Pagina web**

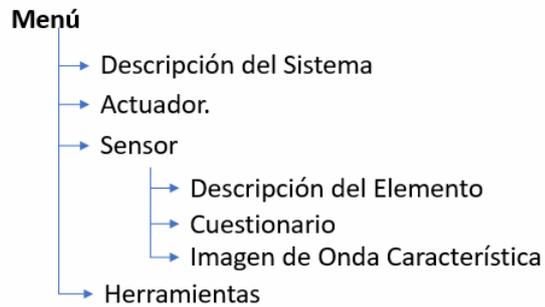


Fig. 14. Diagrama de funciones (Pantalla TFT e Interfaz Web)

4.2.1. Dar forma al esquema.

Se desarrolló un esquema detallado en el que se integró todos los componentes seleccionados, haciendo énfasis en la claridad visual y la accesibilidad de los puntos de prueba. Este diseño tuvo como objetivo principal facilitar la interacción con el sistema y permitir a los usuarios observar cambios en tiempo real al modificar los parámetros simulados.

En la figura 15, se presenta el módulo en donde se muestra el sistema general del sistema LH-JETRONIC así mismo la ubicación de cada uno de los elementos esto para lograr una mejor comprensión del sistema. Por otro lado, se realizarán los circuitos respectivos con la finalidad de mostrar las señales teóricas característica, las cuales serán declaradas por medio de la codificación

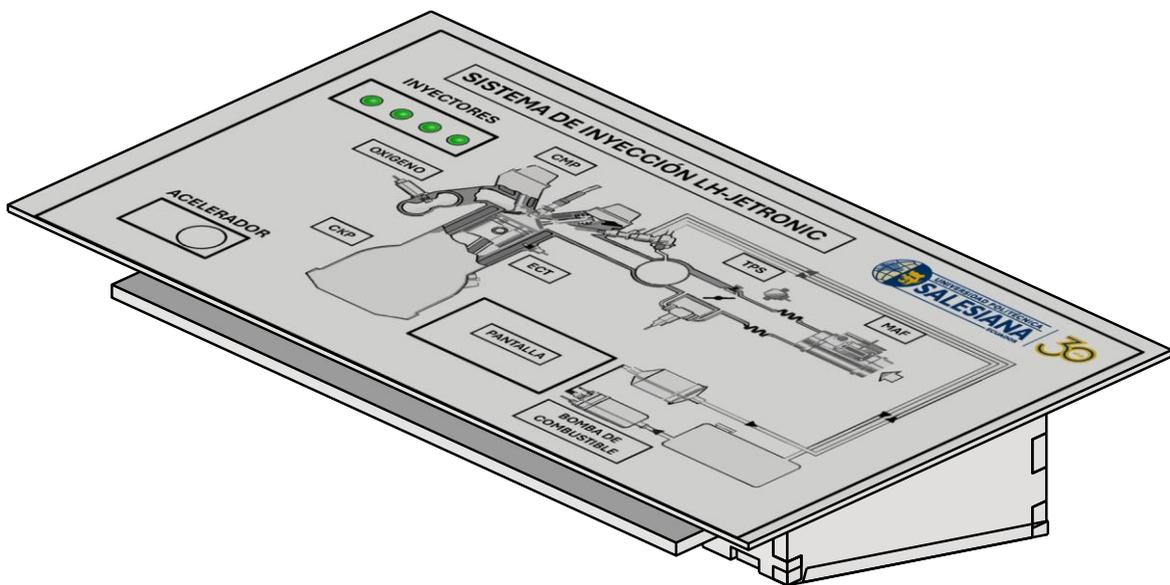


Fig. 15. Diseño del esquema seleccionado.

En la figura 16, se presenta el diseño del sistema de inyección electrónica de combustible basado en el modelo LH-Jetronic. Este esquema ofrece una vista general del posicionamiento de los componentes principales utilizados en el prototipo. Se destacan la ubicación de la pantalla TFT para la visualización de datos, los LED's que simulan el funcionamiento de los inyectores, la disposición de sensores, actuadores y potenciómetros. Estos últimos emulan la función del acelerador, proporcionando un control preciso y realista del sistema.

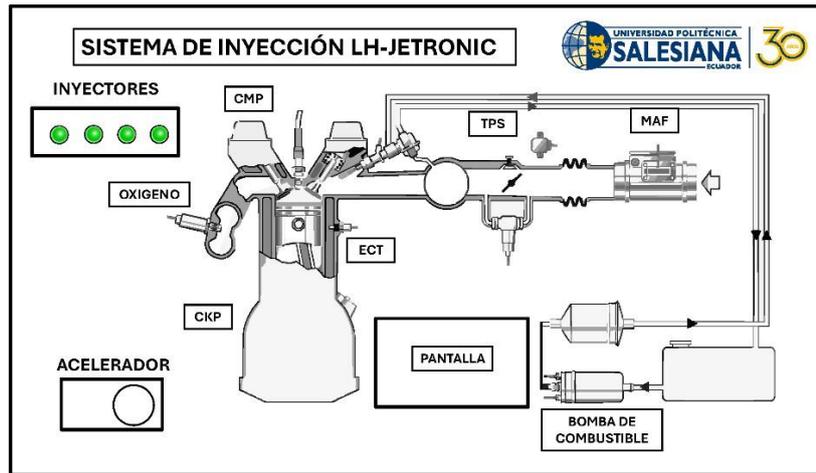


Fig. 16. Diseño del prototipo seleccionado.

4.2.2. Diseño de Interfaz Web.

La representación de la interfaz Web la tenemos en la figura 17, en la que muestra una representación visual del Sistema LH-JETRONIC en la cual se planifico poner punto de prueba para observar el voltaje característico de cada elemento. En la izquierda tendremos el menú en la cual se encuentran las opciones como el de descripciones del sistema, sensores, actuadores y herramientas.

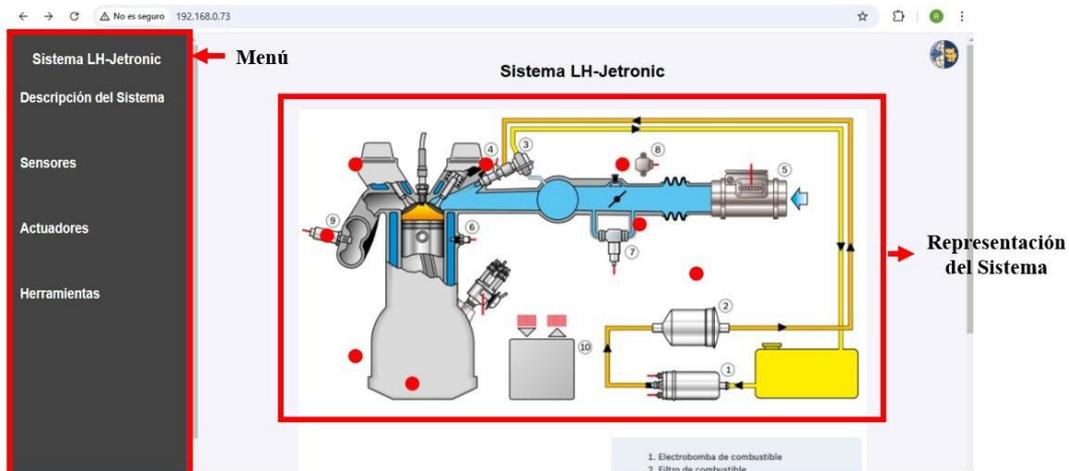


Fig. 17. Vista general del diseño de página web.

En la ilustración de la figura 18, observamos el despliegue de la opción de sensores en la cual tendremos el listado de los elementos y dentro de estas tendremos una breve descripción de los elementos y a continuación de esta se presenta el cuestionario de opción múltiple de la misma.

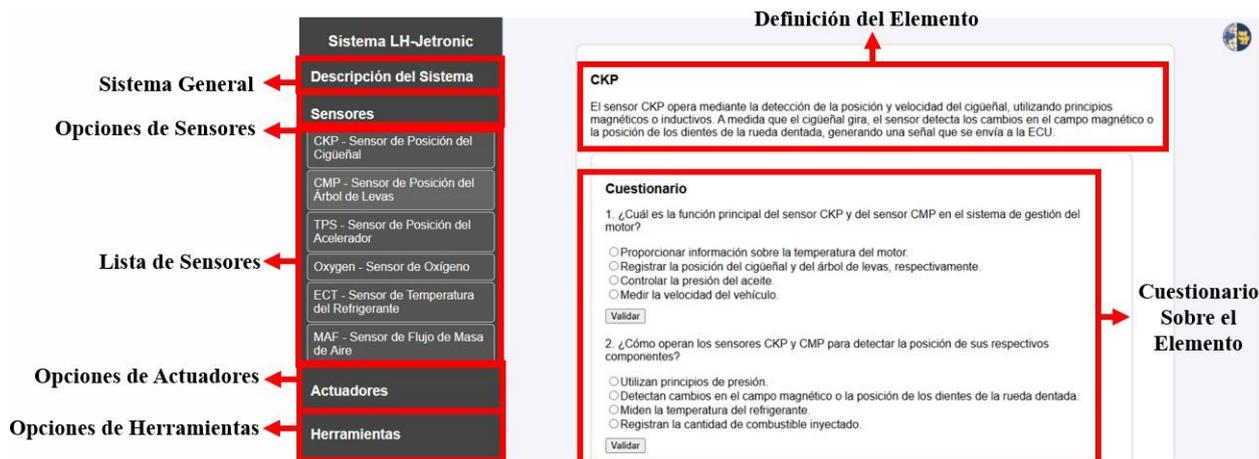


Fig. 18. Diseño del menú, descripción y formulario del elemento.

4.2.3. Diseño de la Pantalla TFT.

Podemos apreciar en la figura 19. Las ilustraciones de cómo se mostrará el menú de la pantalla TFT, el cual consta de tres secciones. La sección principal en donde se mostrará el menú para seleccionar sensores o actuadores según se desee (a). Una vez elegida la opción se despliega el menú de dicha sección que contara de una lista de elementos respectivos (b) (c). Cada una de estas secciones consta de un botón “Atrás” el cual retorna a la lista de menú que le antecede.



Fig. 19. Diseño de pantalla en prototipo (a. Menú principal, b. Menú de actuadores, c. Menú de sensores).

El diseño en donde se mostrará la gráfica teórica de los elementos reflejado en la pantalla TFT se presenta en la figura 20.

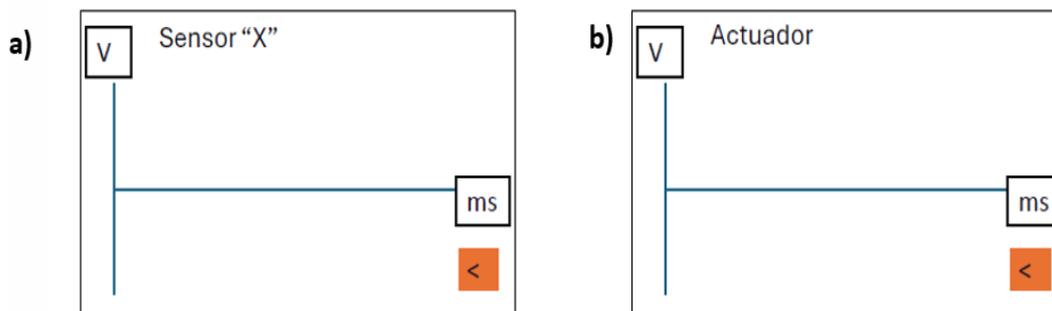


Fig. 20. Diseño de pantalla en prototipo (a. Diseño para gráfica de sensores, b. Diseño para gráfica de actuadores).

4.2.4. Componentes del esquema:

- **Pantalla TFT:** Mostró los valores de las variables en tiempo real, facilitando una experiencia interactiva para los estudiantes.

- **Sensores y actuadores simulados:** Potenciómetros para variables como RPM, temperatura y presión; LEDs y motores DC para emular las respuestas del sistema.
- **Controlador principal:** Configuración del ESP32 como núcleo del sistema, encargado de gestionar entradas y salidas, además de actuar como servidor web para la visualización remota.

4.2.5. Proceso de Funcionamiento del Sistema

El diagrama de la figura 21. Ilustra el proceso de funcionamiento del sistema en diferentes etapas. En primer lugar, el sistema realiza la inicialización y prueba de conexión WiFi. Durante esta etapa, se verifica la disponibilidad de la red. Si no se detecta una conexión, se muestra un mensaje de error para notificar al usuario. Por el contrario, si la conexión es exitosa, el sistema avanza y procede a iniciar el servidor web, lo que permite la comunicación remota con el emulador.

A continuación, el sistema procede con la inicialización de la pantalla LCD. Este paso es crucial, ya que habilita la visualización de datos desde el inicio del programa, ofreciendo al usuario una interfaz clara y accesible para monitorear el estado del sistema y sus parámetros clave.

Finalmente, el sistema entra en un bucle continuo que asegura el funcionamiento en tiempo real. Dentro de este bucle, se lleva a cabo la lectura de datos de los sensores, seguida de la verificación del estado operativo del sistema. Si el sistema está activo, se actualizan las luces LED para reflejar las acciones de los actuadores, se muestran los datos en la pantalla LCD y se envían notificaciones según sea necesario. En caso de que el sistema esté inactivo, se muestra el mensaje "sistema apagado" en la pantalla LCD, ofreciendo al usuario la opción de reintentar la operación. Si el usuario decide no continuar, el programa finaliza de forma ordenada.

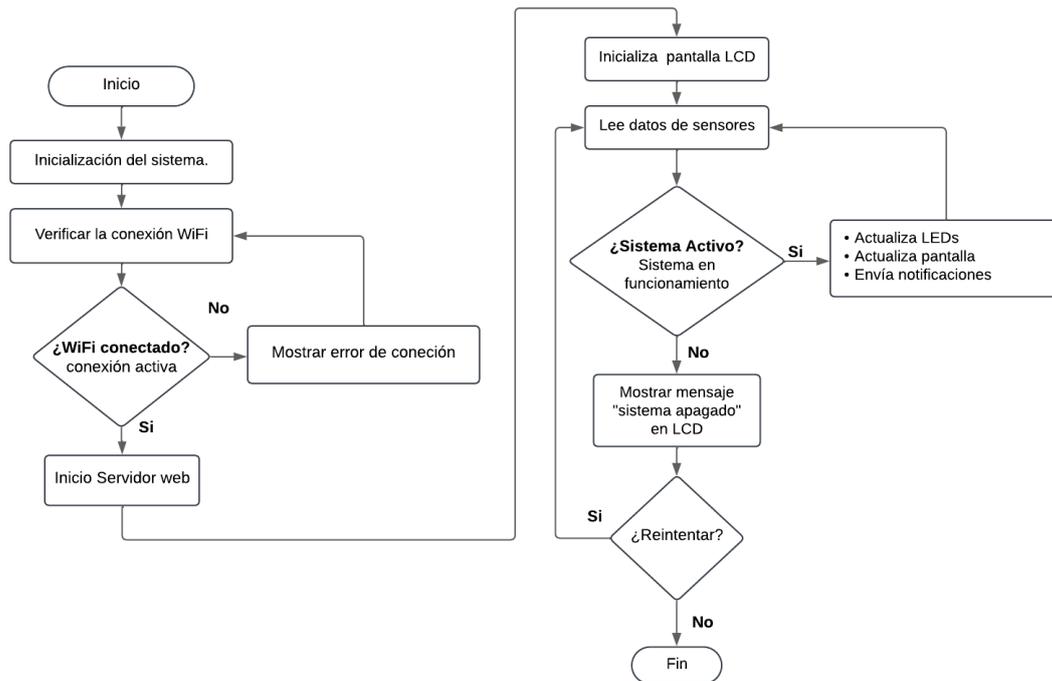


Fig. 21. Diagrama de Procesos en el Sistema para Inicialización del Emulador (Inicio/Conexión/Lectura de datos).

4.2.6. Selección de Materiales

La selección del material estructural fue un paso clave para garantizar la funcionalidad, durabilidad y accesibilidad del prototipo. Se evaluaron tres materiales principales:

1. Acrílico (PMMA):

- Termoplástico duradero, extremadamente transparente y con excelente estética profesional.
- Ventajas: Fácil de mecanizar, ligero, resistente al impacto, fácil de limpiar y altamente modificable.
- Limitaciones: Baja disipación de calor.

2. Madera MDF:

- Tablero de fibra de densidad media utilizado en construcción y mobiliario.
- Ventajas: Económico y fácil de trabajar.
- Limitaciones: Menor durabilidad y resistencia al impacto.

3. Panel Compuesto de Aluminio (PAC):

- Material compuesto de láminas de aluminio con núcleo de polietileno.
- Ventajas: Excelente disipación de calor, alta durabilidad y resistencia al impacto.
- Limitaciones: Mayor costo.

La Tabla 1 muestra la comparación técnica de los tres materiales seleccionados (Acrílico, Madera MDF y Panel Compuesto de Aluminio).

El acrílico y la madera MDF fueron seleccionados como los materiales óptimos debido a su equilibrio entre costo, durabilidad y facilidad de modificación. El acrílico destaca por su estética profesional, resistencia a la humedad y facilidad de mantenimiento, lo que lo hace ideal para entornos educativos. Por otro lado, la madera MDF se eligió por su bajo costo, facilidad de mecanizado y versatilidad para adaptarse a diferentes diseños, lo que permite complementar el prototipo con una estructura accesible y funcional.

NOTA: la tabla de comparativas se divide en rendimiento bajo, medio y alto, donde "bajo" representa el de menor rendimiento y "alto" representa el de mayor rendimiento.

Tabla 1: Comparativas de los materiales.

Criterio	Acrílico	Madera MDF	Panel Compuesto de Aluminio
Resistencia a Impactos	Medio	Bajo	Alto
Peso	Bajo	Bajo	Medio
Instalación/Mecanizado	Medio	Alto	Medio
Durabilidad	Medio	Bajo	Alto
Costo	Medio	Bajo	Alto
Estética	Alto	Bajo	Alto

4.3. Desarrollo de detalles

Para esta fase se realiza el desarrollo de detalles, entre esto se encuentra el funcionamiento, el diseño del módulo didáctico y del Sitio Web.

4.3.1. Funcionamiento.

Dentro del desarrollo de la codificación de este prototipo se declararon dos modos, el primero modo teórico o de reconocimiento consta de dos partes y el segundo será modo interactivo.

El primer modo consta de dos secciones las cuales son de reconocimiento de la ubicación de los elementos en el panel donde está grabado el sistema general. Así mismo cada uno de estos elementos tendrá un punto de conexión para realizar pruebas en donde se podrá apreciar las señales y voltajes característicos como se muestra en la figura 22.

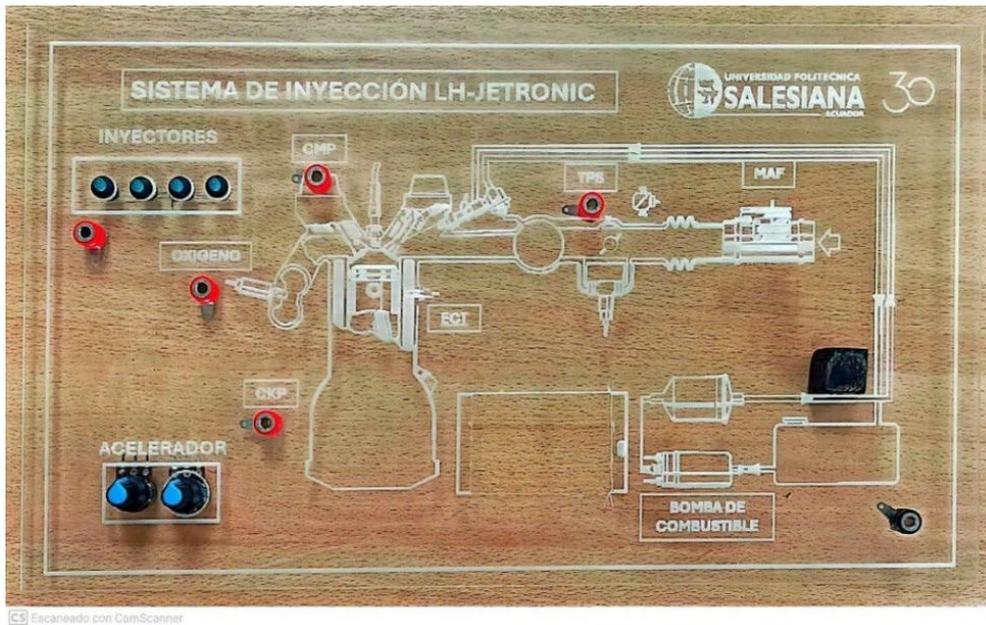


Fig. 22. Modos de funciona del módulo didáctico.

Para completar el primer modo se presenta una gráfica de la onda característica teórica, la cual se muestra en la pantalla TFT implementada en el panel. (Figura 23)



Fig. 23. Demostración de la onda en pantalla TFT (Señal del CKP Teórica).

El segundo modo denominado modo señal, como lo dice su nombre es en donde se podrán validar las señales con un osciloscopio en cada uno de los puntos de pruebas. Para la toma de señal solo se incorpora un pin de señal determinado a cada uno de los elementos y una toma de masa general para todo el sistema.

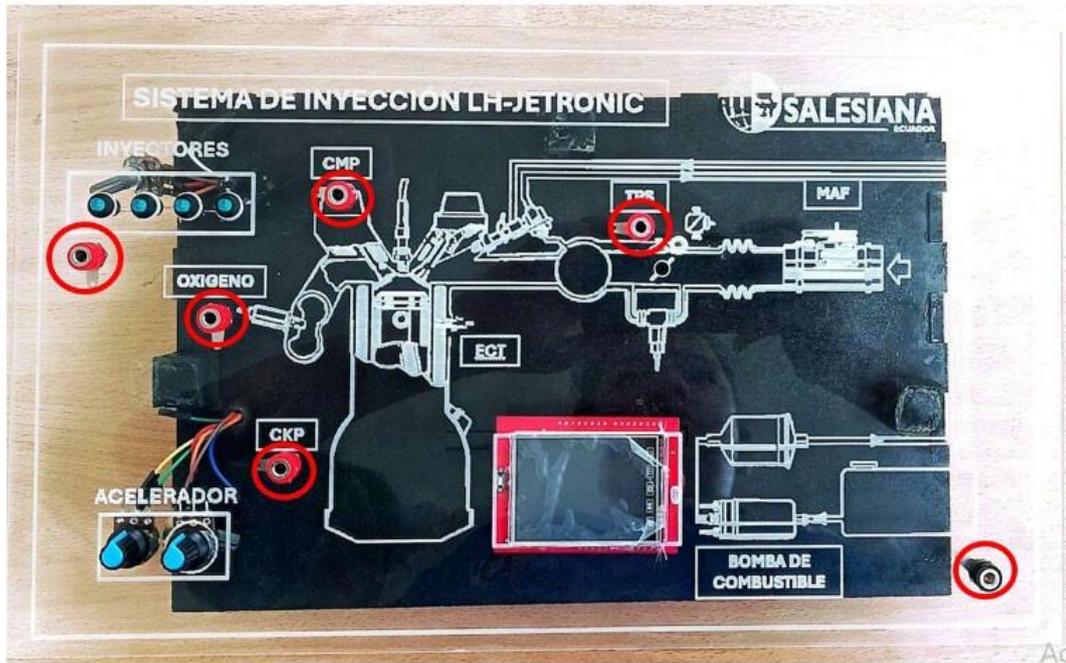


Fig. 24. Posicionamiento de los Puntos de pruebas.

Se realizaron modificaciones en el interfaz web, se utiliza un menú plegable y la imagen del sistema seleccionada para el prototipo del sistema LH-Jetronic (Figura 25).

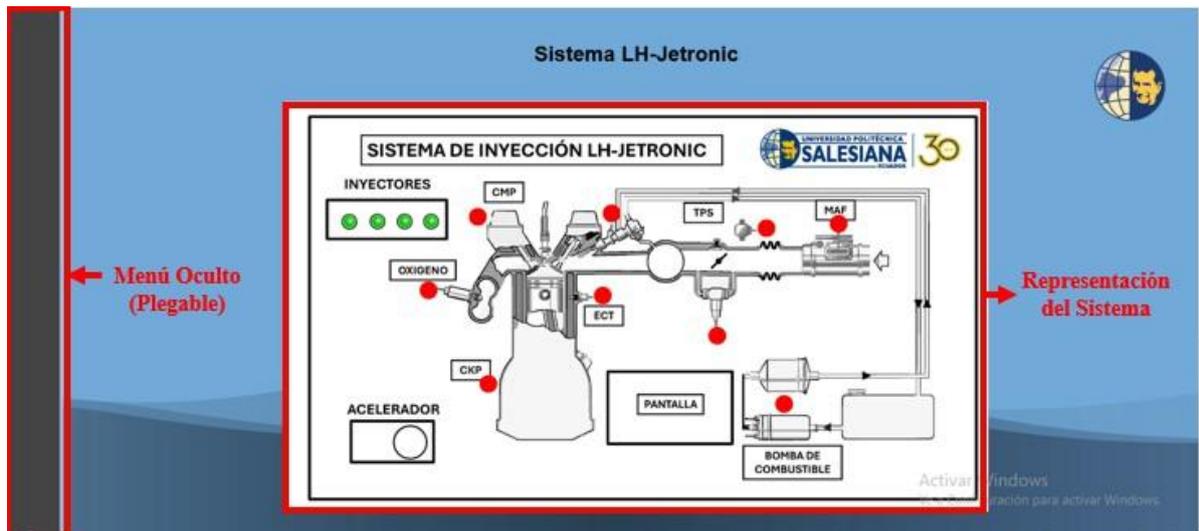


Fig. 25. Actualización de Interfaz Web (Página principal).

En la ilustración de la figura 26 podemos apreciar que la opción de herramienta se encuentra posicionado en la parte inferior del menú, esta plegara dos sub-opciones que en este caso nos ofrece el Osciloscopio y un Multímetro para realizar previsualizaciones de os valores y señales teóricas.

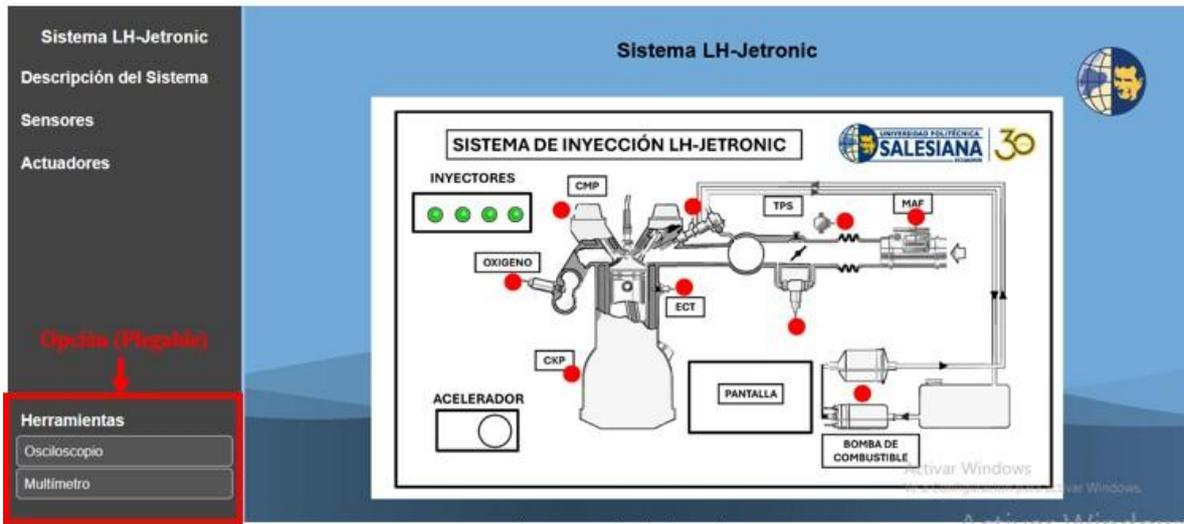


Fig. 26. Actualización de la sub-opciones de herramientas.

En la figura 27. Podemos apreciar el multímetro y osciloscopio que se añaden para poder apreciar las ondas características y voltajes teóricos, de cada elemento (Sensores/Actuadores).

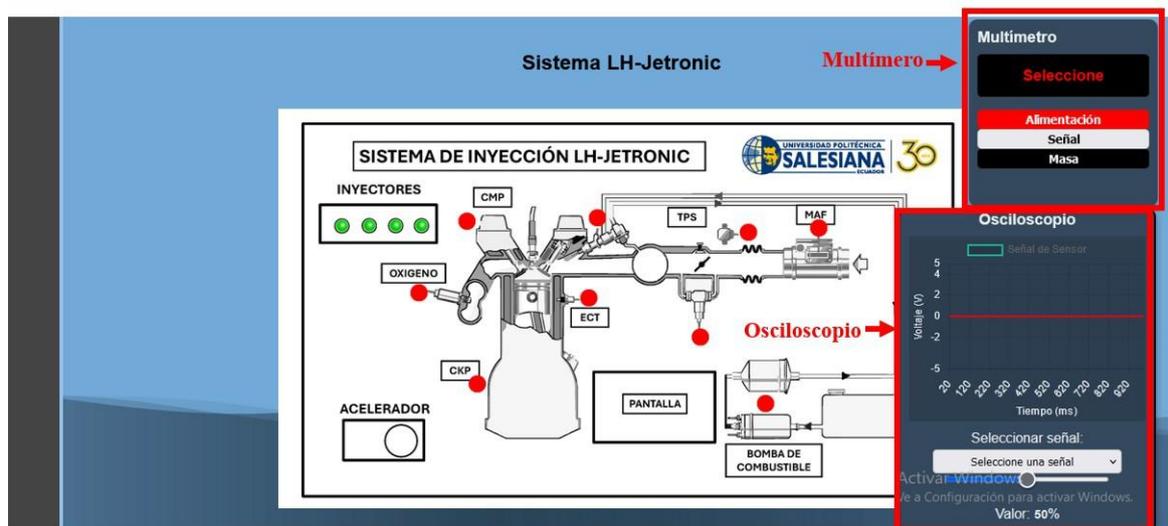


Fig. 27. Actualización de herramientas (Ósciloscopio/Multímetro).

En caso del Osciloscopio, este constara de un menú plegable en la cual podremos observar las ondas características teórica de los distintos elementos del Sistema LH-Jetronic, para el funcionamiento del multímetro podemos presionar los puntos rojos que se encuentra en la visualización general del sistema, luego de elegir el elemento podremos seleccionar la opción que necesitemos (Alimentación, Señal y Masa). En este caso tendremos la onda característica del sensor CPM y su señal de funcionamiento. (Figura 28)

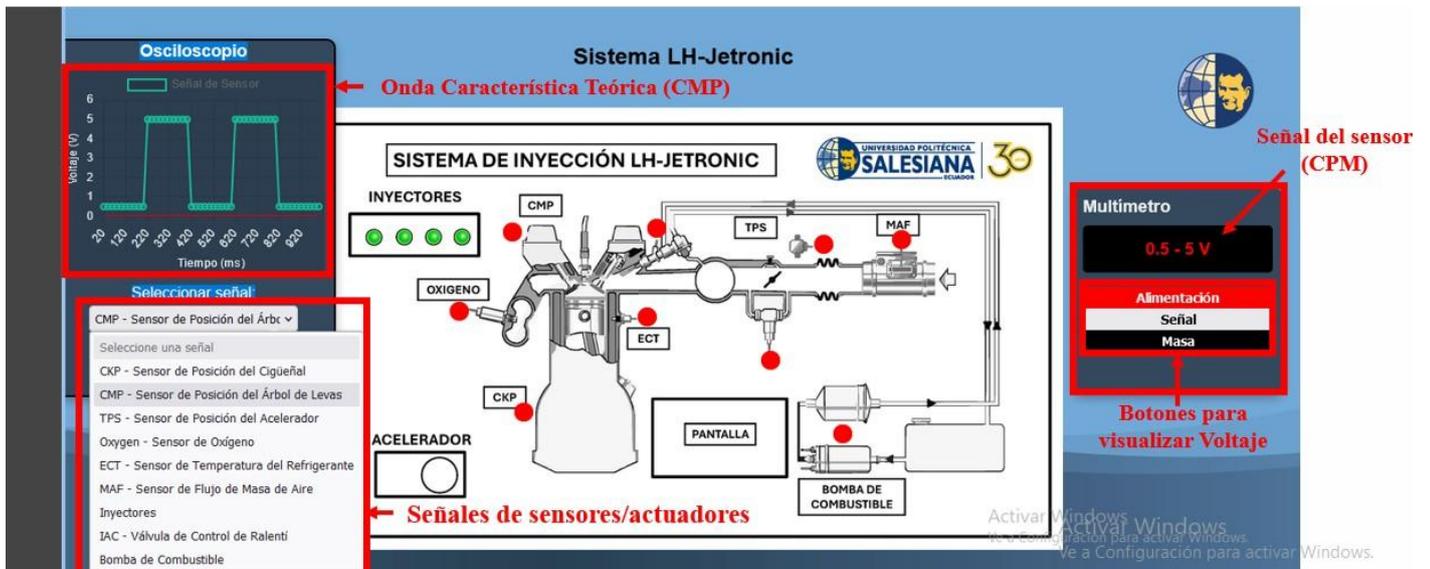


Fig. 28. Funcionamiento de las herramientas implementadas.

En la figura 29, se visualiza la información de los sensores/actuadores y así mismo el de diseño de la interfaz web.

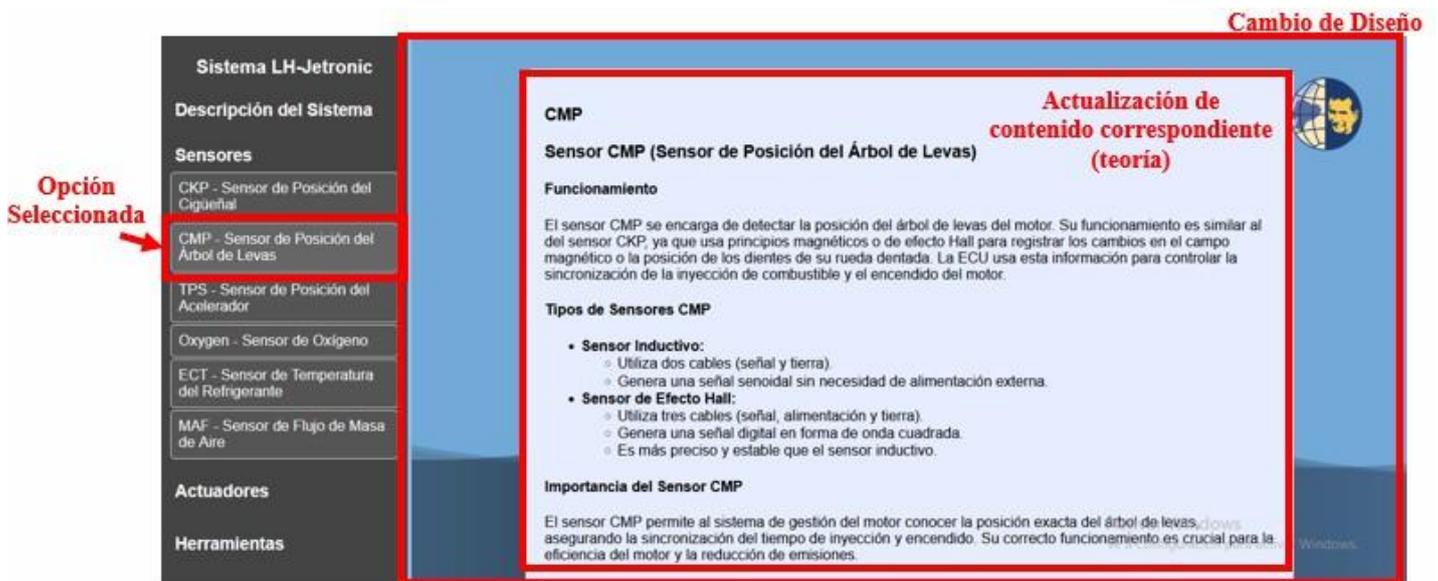


Fig. 29. Actualización de la información y cambio de diseño de la página web.

Se realizaron ajustes de los cuestionarios, los cuales servirá para comprobar que los conceptos técnicos fueron retenidos efectivamente (Figura 30).

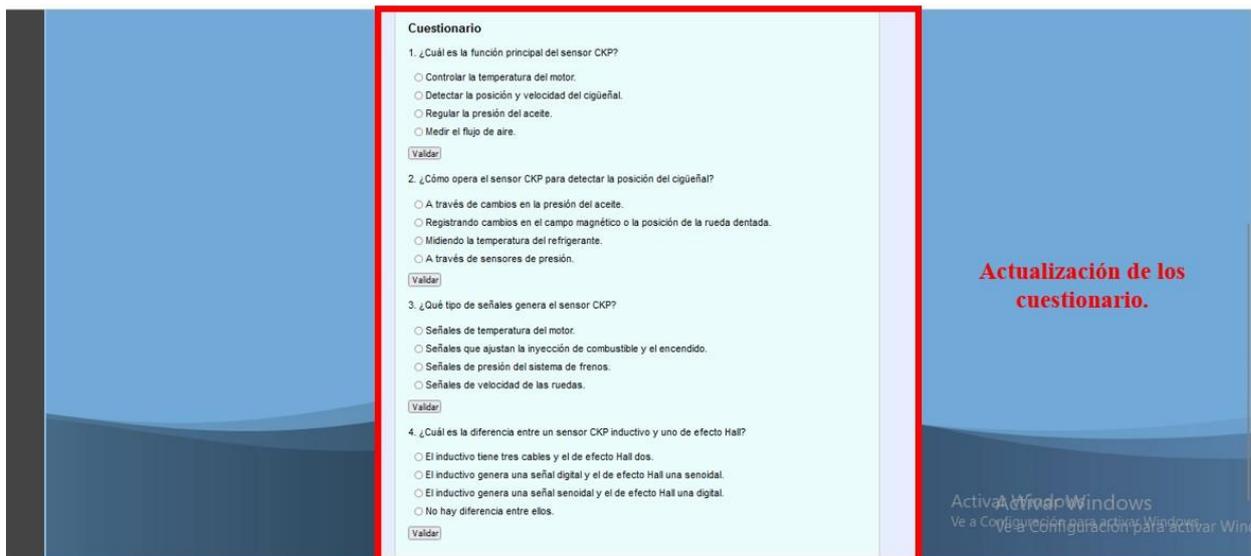


Fig. 30. Representación visual de los cuestionarios.

4.3.2. Generación de señales.

En esta sección se mostrará el código encargado de generar las ondas características para cada elemento entre estos encontraremos los sensores CKP, CMP, Oxígeno, TPS y por parte de los Actuadores tenemos el Inyector.

- **Orden de encendido de los LED's**

Aquí se presenta un orden de encendido para un modelo de 4 cilindros, el cual varía con el accionar del potenciómetro emulando así la variación de la frecuencia de inyección de combustible a distintas RPM.

```
void controlIgnitionLeds() {
  int potValue = analogRead(TPS_PIN);
  ignitionInterval = map(potValue, 0, 1023, 200, 50); // Ajuste para Arduino (0-1023)

  if (millis() - lastUpdate > ignitionInterval) {
    lastUpdate = millis();

    digitalWrite(CYLINDER_1_LED, LOW);
    digitalWrite(CYLINDER_2_LED, LOW);
    digitalWrite(CYLINDER_3_LED, LOW);
    digitalWrite(CYLINDER_4_LED, LOW);

    switch (ignitionOrder[currentCylinder]) {
      case 1: digitalWrite(CYLINDER_1_LED, HIGH); break;
      case 2: digitalWrite(CYLINDER_2_LED, HIGH); break;
```

```

        case 3: digitalWrite(CYLINDER_3_LED, HIGH); break;
        case 4: digitalWrite(CYLINDER_4_LED, HIGH); break;
    }

    Serial.print("Cilindro Encendido: ");
    Serial.println(ignitionOrder[currentCylinder]);

    currentCylinder = (currentCylinder + 1) % 4;
}
}

```

- **Sensor CKP.**

Este código genera una señal para el sensor CKP que hace referencia a un sensor tipo inductivo y cambia su frecuencia en función del valor del potenciómetro, emulando así el comportamiento del cigüeñal a diferentes RPM. Calcula el período de la señal y ajuste los tiempos de estado alto y bajo para poder visualizar la forma de onda en un osciloscopio.

```

const uint8_t sineWave[50] = {
    128, 144, 159, 174, 187, 200, 211, 221, 229, 236,
    241, 244, 246, 247, 246, 244, 241, 236, 229, 221,
    211, 200, 187, 174, 159, 144, 128, 112, 97, 82,
    69, 56, 45, 35, 27, 20, 15, 12, 10, 9,
    10, 12, 15, 20, 27, 35, 45, 56, 69, 82
};

void generateCKPForOscilloscope() {
    int tpsValue = analogRead(TPS_PIN);
    int delayTime = map(tpsValue, 0, 4095, 500, 50); // Control de velocidad

    for (int i = 0; i < 50; i++) {
        digitalWrite(DAC_PIN, sineWave[i]);
        delayMicroseconds(delayTime);
    }
}

unsigned long previousTime = 0;
int interval = 1000; // Tiempo base del pulso en microsegundos
bool state = false;

```

- **Sensor CMP**

Este código genera una onda cuadrada que hace referencia a un sensor tipo hall y varía la frecuencia con el accionar del potenciómetro, emulando los cambios que generan las variaciones de las RPM.

```
void generateCMPForOscilloscope() {
  int tpsValue = analogRead(TPS_PIN);
  interval = map(tpsValue, 0, 4095, 2000, 500); // Modifica el ancho del pulso

  if (micros() - previousTime >= interval) {
    previousTime = micros();
    state = !state;
    digitalWrite(CMP_OUTPUT_PIN, state);
  }
}
```

- **Sensor de Oxígeno**

Con este código se simula la generación de la señal del sensor de oxígeno, similar a la senoidal y dependiente del potenciómetro para variar entre las RPM.

```
void generateOxygenForOscilloscope() {
  int ectValue = analogRead(ECT_TPS_PIN);
  int tpsValue = analogRead(TPS_PIN);

  float amplitude = map(ectValue, 0, 1023, 50, 127);
  int waveLength = map(tpsValue, 0, 1023, 10, 120);

  static int xLocal = 0;
  float angle = (2.0 * M_PI * xLocal) / waveLength;
  float sineValue = amplitude * sin(angle);

  int pwmValue = map(sineValue, -127, 127, 0, 255);
  analogWrite(OXYGEN_PIN, pwmValue);

  Serial.print("Oxygen PWM: "); Serial.println(pwmValue);
}
```

- **TPS**

Este código simula la variación de voltaje que depende del potenciómetro el cual comanda las RPM, haciendo que esta onda cambie con respecto al tiempo

```
void generateTPSForOscilloscope() {
int tpsValue = analogRead(TPS_PIN); // Leer el TPS (potenciómetro)
int dutyCycle = map(tpsValue, 0, 4095, 0, 255); // Convertir a 8 bits (PWM)

ledcWrite(PWM_CHANNEL, dutyCycle); // Aplicar el ciclo de trabajo PWM

delay(10); // Pequeño retardo
}
```

- **Inyector.**

Este código simula la activación de un inyector generando señales con diferentes niveles de voltaje y duraciones controladas por un potenciómetro. La señal reproduce los cambios de apertura y cierre del inyector, incluyendo transiciones suaves y tiempos de inyección ajustables.

```
void generateInjectorForOscilloscope() {
static int state = 0;
static int dacValue = 0;

// Leer el valor del potenciómetro (0 - 4095)
int potValue = analogRead(TPS_PIN);

// Mapear el valor del potenciómetro a un rango de tiempo (10ms a 100ms)
int pulseWidth = map(potValue, 0, 4095, 10, 100);

switch (state) {
case 0: // LOW (0V)
dacWrite(INJECTOR_DAC_PIN, 0);
delay(pulseWidth); // Variar el tiempo con el potenciómetro
break;

case 1: // HIGH (3.3V)
dacWrite(INJECTOR_DAC_PIN, 255);
delay(pulseWidth / 5); // Mantener HIGH, pero con menor duración
break;

case 2: // Caída CÓNCAVA de HIGH a INTERMEDIO (1V)
for (int i = 10; i >= 0; i--) {
// Función exponencial inversa para caída curva hacia adentro
dacValue = 77 + (pow(i, 2) / 1.5); // Inicia rápido y se suaviza
if (dacValue > 255) dacValue = 255; // No subir más de 3.3V
}
```

```

    dacWrite(INJECTOR_DAC_PIN, dacValue);
    delay(pulseWidth / 50); // Ajuste de suavidad
}
break;

case 3: // NIVEL INTERMEDIO (1V)
    dacWrite(INJECTOR_DAC_PIN, 77);
    delay(pulseWidth * 2); // Mantener nivel intermedio más tiempo
    break;

case 4: // Mantener el nivel intermedio después de la caída
    dacWrite(INJECTOR_DAC_PIN, 77);
    delay(pulseWidth); // Ajustar duración
    break;

case 5: // Baja abruptamente a LOW (0V)
    dacWrite(INJECTOR_DAC_PIN, 0);
    delay(pulseWidth);
    break;
}

Serial.print("Injector DAC Level: ");
Serial.print(state);
Serial.print(" | Pot Value: ");
Serial.println(potValue);

// Avanzar al siguiente estado en el ciclo
state = (state + 1) % 6;
}

```

4.4. Fase de evaluación

Para validar el diseño final cumpliendo las condiciones de bajo costo y didactismo se plantea usar encuestas pre-test y post-test que se realizaran antes y después de probar el prototipo.

Aquí se realizarán también las verificaciones del correcto funcionamiento de la codificación y los elementos del prototipo, así como los complementos didácticos. Dentro del desarrollo se busca que este prototipo también funcione acoplado a prototipos de otros sistemas.

En el desarrollo de la generación de señales se establece la salida para estas, así como su función para generarlas por medio de codificación en lenguaje C++ compatible para el módulo ESP32 (Figura 31).

```

Archivo  Editar  Selección  Ver  Ir  ...  Buscar
#include <Arduino.h>  Untitled-1
1  #include <Arduino.h>
2  #include <math.h>
3
4  #define Num_Samples  100  // Número de muestras por ciclo de onda
5  #define CKP_OUTPUT_PIN  25  // Salida DAC para CKP (Onda Senoidal)
6  #define CMP_OUTPUT_PIN  26  // Salida DAC para CMP (Onda Cuadrada)
7  #define OXYGEN_PIN  4  // Salida DAC para sensor de oxígeno (Onda Triangular)
8  #define TPS_PIN  34  // Entrada del potenciómetro TPS
9  #define TPS_OUTPUT_PIN  32  // Salida DAC para la señal TPS
10 #define INJECTOR_PIN  27  // Salida DAC para la señal del inyector

```

Fig. 31. Código C++ para la generación de señales (Declaración de pines).

Para constatar que la generación de señales se asemeje a las teóricas, se utiliza un osciloscopio y los puntos de prueba en cada uno de los elementos, aseverando su veracidad (Figura 32). El propósito del desarrollo de este proyecto es brindar un apoyo teórico para después realizar un reconocimiento práctico.

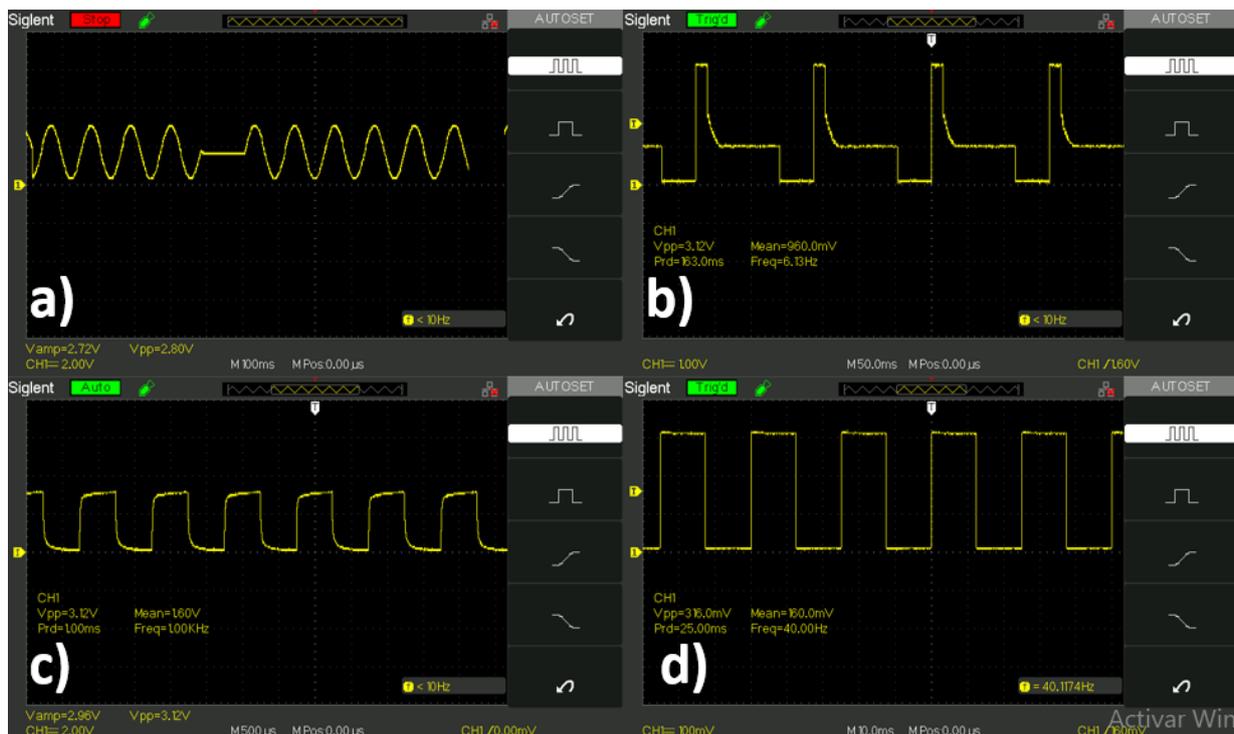


Fig. 32. Señales características teórica a) sensor CKP (Senoidal), b) Inyector, c) CMP (Cuadrada) y d) Inyectores.

4.5. Fase de Ejecución

En este punto se presentarán los resultados que se obtuvieron tras la implementación del prototipo final, para ello debe estar en completa y correcta operación, cumpliendo con los objetivos planteados.

6. PRESUPUESTO

Para desarrollar el prototipo se hizo un gasto total de \$ 333,10. Sin embargo, el prototipo como tal tiene un costo de materiales aproximado de \$ 83,10.

Tabla 3: Presupuesto.

Presupuesto			
Presupuesto	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Modulo ESP32	1	\$15,00	\$15,00
Pantalla TFT	1	\$15,00	\$15,00
Potenciómetro	3	\$0,50	\$1,50
Elevador de voltaje MT3608	1	\$2,50	\$2,50
Conector banana Hembra	10	\$0,30	\$3,00
LED's	4	\$0,15	\$0,60
Resistencias	12	\$0,25	\$3,00
Placa PCB	1	\$3,00	\$3,00
Cableado	30	\$0,10	\$3,00
Modulo ULN2003	1	\$2,50	\$2,50
Motor Paso a Paso	1	\$3,00	\$3,00
Madera MDF	1	\$10,00	\$10,00
Acrílico 1mx1mx3mm	1	\$21,00	\$21,00
Uso de Laboratorios	8	\$25,00	\$200,00
Gastos Indirectos		\$50,00	\$50,00
		TOTAL	\$ 333,10

7. RESULTADOS

7.1. Resultados

Se logró completar la construcción y puesta en marcha del prototipo emulador de bajo costo del sistema de inyección electrónica de gasolina LH- Jetronic. Para cumplir con esto se empleó un microcontrolador ESP32, el cual efectuó la labor de núcleo de procesamiento del sistema, permitiendo la simulación de las señales de los sensores y actuadores lo más acercadas a las señales teóricas.

Este prototipo incluyó los siguientes componentes esenciales para su desarrollo:

- Sensores simulados: CKP, CMP, TPS, MAF, Oxígeno.
- Actuadores simulados: Inyector, Válvula IAC.
- Pantalla TFT para visualización de señales teóricas.
- Interfaz web para el sustento teórico previo a la práctica.
- Potenciómetros que emulan las RPM.

En el desarrollo de la codificación para la simulación de los elementos se utilizó lenguaje C++ en PlatformIO de VScode. Estas señales fueron comparadas con las señales teóricas de cada uno de los elementos. Se programó señales senoidales, de onda cuadrada y de pulso alto acoplándola al elemento que más le represente.

Para validar la simulación de señales del emulador se realizaron pruebas conectando un osciloscopio externo con el fin de verificar la coincidencia de las señales con los parámetros teóricos de sensores y actuadores. La similitud de las ondas que se muestra es aceptable en forma con las señales teóricas, variando las condiciones operativas con las RPM comandadas por un potenciómetro. La visualización de las señales teóricas que se muestran en la pantalla TFT e interfaz web permiten una interpretación didáctica.

El costo total para desarrollar el prototipo fue de \$333,10 con un costo específico de materiales de \$83,10, lo que resulta conveniente en una alternativa altamente asequible en comparación de equipos didácticos convencionales. La elección de materiales como el acrílico y MDF reducen significativamente los costos sin comprometer la durabilidad, ofreciendo características como la estética, el bajo peso y el ser aislante.

Así mismo, la selección del módulo controlador ESP32 como controlador del sistema resultó ser la más óptima en términos costo-beneficio debido a que permite implementar distintas funcionalidades con un bajo consumo energético.

La estructura modular del prototipo facilita su escalabilidad lo que le da la posibilidad de futuras mejoras o la incorporación de nuevos elementos o implementación de nuevas funciones dentro de la codificación sin la necesidad de una reconstrucción total.

A pesar del éxito del prototipo se identifican algunas limitaciones:

- El sistema no simula fallos o averías que permitan una mejor experiencia educativa al incluir escenarios de diagnóstico
- El osciloscopio virtual no permite realizar capturas de señales en vivo ya que están predefinidas.
- El sistema no incorpora un sistema de comunicación inalámbrica con vehículos reales, impidiendo así diagnósticos en tiempo real.

Se propone como mejoras a futuro la implementación de una base de datos con códigos de fallos y estrategias de diagnóstico para que los estudiantes logren resolver problemas reales en el sistema de inyección. Así mismo, se propone ampliar la compatibilidad con los demás sistemas del vehículo.

7.2. Discusión

El presente proyecto se desarrolló enfocado en un prototipo emulador de bajo costo del sistema de inyección electrónica de gasolina LH-Jetronic cuyo objetivo es mejorar la enseñanza técnica en el área Automotriz. La implementación del prototipo permite evaluar a los estudiantes mediante el sustento teórico en la página web y acompañado del componente práctico que facilita la comprensión de señales características de sensores y actuadores.

Los resultados obtenidos en la validación del emulador indicaron que las señales generadas por el sistema muestran una similitud aceptable a comparación de las señales teóricas de los elementos. Con esto se demuestra que el sistema es aceptable para la enseñanza teórica y práctica y junto a la combinación de la pantalla TFT permiten la visualización intuitiva facilitando su comprensión.

Aunque se identifican algunas limitaciones como escala real debido a los bajos manejos de voltaje que posee el controlador, las mejoras propuestas permitirán potenciar aún más la utilidad del prototipo en la enseñanza técnica, promoviendo un aprendizaje más práctico, accesible y alineado con las necesidades actuales de la industria automotriz.

8. CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. Conclusiones

El proyecto logro cumplir el objetivo principal que se centra en el diseño y desarrollo de un prototipo emulador de bajo costo del sistema de inyección LH-Jetronic, cuya finalidad es proporcionar una herramienta accesible y funcional para la enseñanza de la ingeniería automotriz. Con la implementación de un módulo controlador ESP32, señales de sensores y actuadores simulados, además de una pantalla TFT y una interfaz web interactiva, se logra que se visualicen y analicen los datos característicos en tiempo real.

El análisis económico evidencia que el desarrollo del prototipo es altamente viable, pues parte con un costo de materiales de \$83,10 convirtiéndolo en una alternativa accesible en comparación con equipos de simulación convencionales. La implementación de este prototipo en instituciones educativas permitirá el fácil acceso a herramientas prácticas y a bajo costo.

Así mismo, gracias a su arquitectura escalable ofrece un potencial significativo para implementar futuras expansiones y mejoras

8.2. Recomendaciones

Para la generación de la IP para el servidor web es necesario establecer la conexión con la red, para ello se debe implementar el nombre y la contraseña de la red dentro del código.

Al momento de la puesta en marcha de la página web, es importante contar con los archivos ya que aquí se almacenan las imágenes utilizadas o los códigos implementados para sus respectivas modificaciones.

REFERENCIAS

- Abekiri, N., Rachdy, A., Ajaamoum, M., Nassiri, B., Elmahni, L., & Oubail, Y. (2023). Platform for hands-on remote labs based on the ESP32 and NOD-red. *Scientific african*, 19. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2022.e01502>
- Aman, Rahul, Sharma, P., & Jindal, A. (2023). IoT based Vehicle Management System using ESP32. *International Journal of Engineering and Management Research*, 13(3), 86–87. <https://ijemr.vandanapublications.com/index.php/ijemr/article/view/1253>
- Bruget, K., Clement, B., Reynet, O., & Weber, B. (2014). An Arduino Compatible CAN Bus Architecture for Sailing Applications. In *Robotic Sailing 2013*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-02276-5_4
- Chaidoulis, I., Karanikolas, N., & Psycharis, S. (2022). Modular, low-cost, open-source lab platform for Electronic Engineering & Mechatronics. *ACM International Conference Proceeding Series*. <https://doi.org/10.1145/3575879.3575991>
- Cruz, N. C., Sanjuan Estrada, J. F., Lupión, M., Garzón, E. M., & Ortigosa, P. M. (2023). Low-cost chip programming for teaching and learning digital skills. *Edulearn23 Proceedings*, 1. <https://doi.org/10.21125/edulearn.2023.0763>
- Fernández-Pacheco, A., Martin, S., & Castro, M. (2019). Implementation of an arduino remote laboratory with raspberry pi. *IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON, April-2019*. <https://doi.org/10.1109/EDUCON.2019.8725030>
- French, M. (1985). Conceptual design for engineers. En *Conceptual design for engineers*. Bath.
- Hercog, D., Lerher, T., Truntič, M., & Težak, O. (2023). Design and Implementation of ESP32-Based IoT Devices. *Sensors*, 23(15). <https://doi.org/10.3390/s23156739>
- Kalúz, M., Čirka, L., Valo, R., & Fikar, M. (2016). ArPi Lab: A Low-cost Remote Laboratory for Control Education. <http://elinux.org/RaspberryPiBoard>
- Kolb, D. (1984). *Experiential learning: experience as the source of learning and development*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall. Obtenido de: <http://www.learningfromexperience.com/images/uploads/process-of-experiential-learning.pdf>
- Pradeep, A. (2023). Enabling IoTs with ESP32 for Affordable Education. *Proceedings of the 5th International Conference on Inventive Research in Computing Applications, ICIRCA 2023*. <https://doi.org/10.1109/ICIRCA57980.2023.10220594>

- Sri Vidya Devi, P., Akhila, G., Manasa, K., Revathi, G., & Deekshitha, S. (2023). Analysis, Monitoring and Control of Speed Variations for Various Applications of SRM Motor with ESP32 and Thing speak. *E3S Web of Conferences*, 391.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339101105>
- Andrade, M. P. (2023). Materiales didácticos: auxiliares eficaces para aprender de manera divertida las Ciencias Naturales en el sexto grado de Educación General Básica. doi:
<https://doi.org/10.5281/zenodo.8055381>
- Angamarca Panamito, J., & Soto Ocampo, C. (2015). Estudio de los efectos de la egr sobre la combustion, de un motor de encendido por compresion crdi hyundai santa fe 2.0, mediante el analisis de vibraciones". Obtenido de
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7693/1/UPS-CT004555.pdf>
- ATech Training, I. (2010). Atech Automotive Technology. 4, 40. Obtenido de:
<https://www.amtekcompany.com/pdf/Catalogs/ATech%20Training%20Volume%204%20Catalog%20MR.pdf>
- AVOTEK. (2012). *Sistema de capacitación sobre inyección de combustible Continental F52*. Obtenido de <https://www.avotek.com/shop/continental-fuel-injection-training-system-f52/>
- BOSCH. (2006). *Bosch.com/*. Obtenido de: <https://www.mecanicoautomotriz.org/1929-manual-sonda-lambda-bosch-ventajas-clasificacion-tabla-conversion>
- BOSCH. (2020). Sistema common rail. Obtenido de [bosch.com](https://www.bosch.com).
- BOSCH, T. (2020). Bombas Eléctricas de Combustible y Pre Filtros Bosch. Obtenido de <https://www.mecanicoautomotriz.org/1930-manual-bombas-electricas-combustible-pre-filtros-bosch-partes>
- Cando Mora, j., & Coello Gordillo, C. (2023). Interpretación de señales de sensores de sincronización de motores de encendido por compresión para la identificación de fallas. Obtenido de:
<https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/13917/2/04%20MAUT%20225%20TRABAJO%20GRADO.pdf>
- CREATE, L. (2022). *LJ CREATE*. Obtenido de <https://ljcreate.com/wp-content/uploads/2021/08/767-01-Electronic-Fuel-Injection-System-Dry-Trainer.pdf>
- Dale, E. (1969). *Audio-visual methods in teaching*. New York: Deyden Press.
- Electrónica, C. (2024). *ceaelectronica*. Obtenido de <https://ceaelectronica.com/productos-cea/emulador-de-inyectores/>

- Gallego Henao, A., & Manrique Orozco, A. (2013). El material didáctico para la construcción de aprendizajes. *Revista Colombiana de Ciencias Sociales*, 4(1). Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/4978/497856284008.pdf>
- Giler Cumbe, M., & Morocho Tapia, D. (2023). Construcción de un Banco Didáctico para el Control del Cuerpo de Aceleración por Mando Electrónico. Obtenido de <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/13375/1/18900.pdf>
- Limatambo, C. (2019). Ficha técnica panel de aluminio compuesto (pac). Obtenido de: <https://www.corporacionlimatambo.com/wp-content/uploads/2019/10/FT-PAC.pdf>
- Limatambo, C. (Junio de 2020). Ficha técnica hoja de acrílico. Obtenido de <https://www.corporacionlimatambo.com/wp-content/uploads/2020/06/FICHA-TECNICA-DE-ACRILICO.pdf>
- Malo Yagüe, L. (2011). Control de un motor paso a paso. Obtenido de <https://zaguan.unizar.es/record/5655/files/TAZ-PFC-2011-107.pdf>
- Martínez del Río, F. (2023). Fundamentos básicos de programación en C++. Obtenido de <https://www4.ujaen.es/~fmartin/apuntesC++.pdf>
- Manrique Orozco, A., & Gallego Henao, A. (2013). Didactic material for the construction of meaningful learning. *Revista Colombiana de Ciencias Sociales*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/4978/497856284008.pdf>
- MASISA. (2017). Ficha técnica Masisa MDF. Obtenido de <https://www.maderas20.com/wp-content/uploads/2016/09/MDF.pdf>
- MECATRONICALATAM. (23 de Abril de 2021). *mecatronicalatam.com*. Obtenido de <https://www.mecatronicalatam.com/es/tutoriales/electronica/componentes-electronicos/potenciometro/>
- Morales, P (2012). Elaboración de Material Didáctico. Red Tercer Milenio. Tlalnepantla. México.
- platformio. (2014). *platformio.org*. Obtenido de: <https://docs.platformio.org/en/stable/integration/ide/vscode.html>
- Quintanilla, M. (2015). Portafolio de tecnología educativa. Obtenido de: <https://es.slideshare.net/slideshow/portafolio-de-tecnologia-educativa/47924475>
- Rodríguez Barba, F. (2021). Servomotor y Motor a Pasos. Obtenido de: https://www.academia.edu/48802803/Servomotor_y_Motor_a_pasos

Romero Barcojo, A. (2020). Potenciómetros. Obtenido de:

<https://cmapspublic2.ihmc.us/rid=1H2F7KSQB-DTVPLB-J47/potenciometro.pdf>

Salazar Navarrete, F. (2018). Pantalla TFT. Obtenido de:

<https://es.scribd.com/document/386663067/Las-Pantalla-TFT-pdf>

Santos, R., & Santos, s. (2022). Learn ESP32 with arduino ide. Obtenido de:

https://www.academia.edu/87515770/Aprendiendo_ESP32_con_IDE_Arduino_modulo_0

Segura Antúnez , C. (2014). Estudio de la fiabilidad mediante ensayos acelerados de diodos ultravioleta de alta potencia. Obtenido de: https://oa.upm.es/34006/1/PFC_cesar_segura_antunez.pdf

Sweller, J. (1994). Cognitive Load Theory, Learning Difficulty, and Instructional Design. *Learning and Instruction*, 4 (4), 295-312

TKNIKA. (2016). Sistema de emulación fuera del vehículo de las ECU de control de motor para su posterior diagnóstico. Obtenido de:

<https://www.redeweb.com/articulos/instrumentacion/sistema-de-emulacion-fuera-del-vehiculo-de-las-ecus-de-control-de-motor-para-su-posterior-diagnostico/>

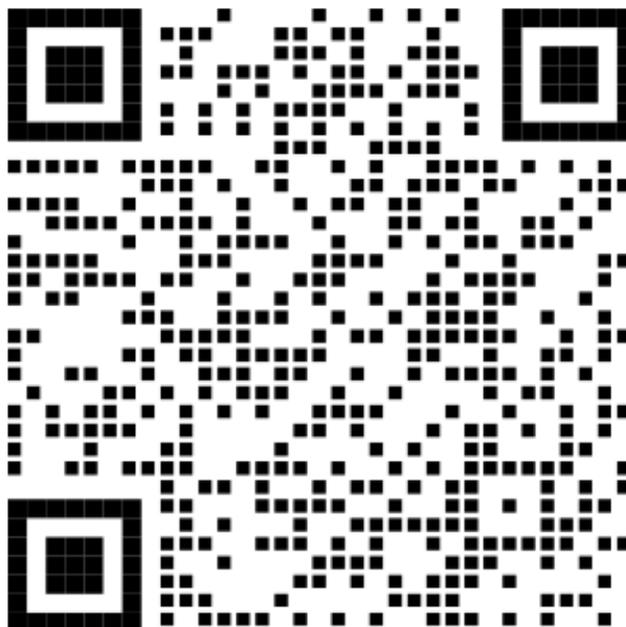
VOLKSWAGEN. (2002). *volkswagen.com.ec*. Obtenido de Inyección directa de gasolina con Bosch Motronic MED 7:

https://www.academia.edu/38368774/bomba_de_alta_presion_bosch_pag

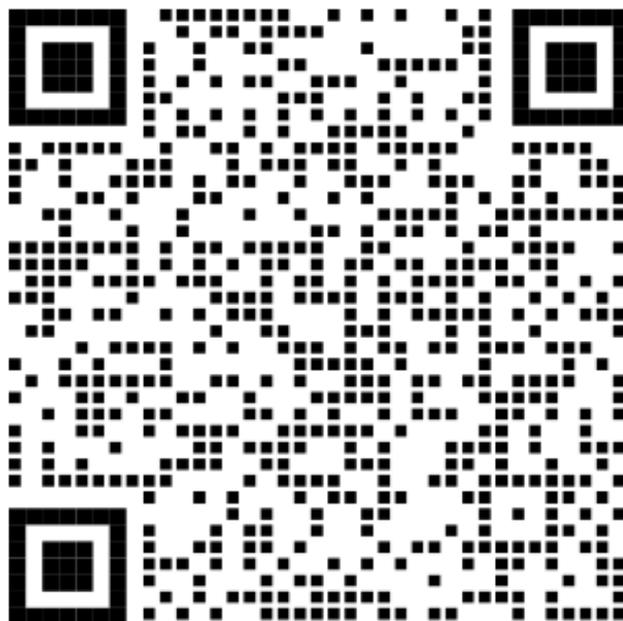
YES01. (2020). *YES01*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=ASh722TIDk0>

ANEXOS 1

- **CODIFICACIÓN DEL INTERFAZ WEB**

**ANEXO 2**

- **CODIFICACIÓN DE MÓDULO DIDÁCTICO.**



ANEXO 5.



GUÍA DE PRÁCTICA DE LABORATORIO / TALLERES / CENTROS DE SIMULACIÓN – PARA DOCENTES

CARRERA: INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ | **ASIGNATURA:** -----

NRO. PRÁCTICA: 1 | **TÍTULO PRÁCTICA:** SISTEMA LH-JETRONIC

1. OBJETIVOS.

1.1 Objetivo General

- Reconocer y analizar el funcionamiento del sistema de inyección electrónica LH-Jetronic mediante una plataforma web interactiva que permita observar las ondas características y el voltaje correspondiente de los sensores y actuadores.

1.2 Objetivos específicos

- Identificar y comprender el sistema LH-Jetronic y sus componentes mediante la exploración de la interfaz web, permitiendo conocer su estructura y función en el sistema de inyección electrónica.
- Analizar el funcionamiento de los sensores CKP, CMP, MAF, TPS, ECT y de oxígeno a través de la interfaz web, observando sus características y señales para su correcta interpretación.
- Examinar los actuadores del sistema, como inyectores, válvula IAC y bomba de combustible, mediante la interfaz web, asegurando la comprensión de su función en el control del sistema de inyección.
- Interpretar los voltajes teóricos y las ondas características de los sensores y actuadores utilizando el osciloscopio virtual, facilitando su análisis y comparación con valores de referencia.
- Identificar y ubicar los sensores y actuadores en el módulo didáctico conectándolo a la computadora y observando su distribución en la pantalla TFT, estableciendo relación entre teoría y práctica.
- Realizar pruebas prácticas con el osciloscopio conectándolo a los puntos de prueba del módulo, verificando las formas de onda de los sensores y actuadores para comparar con los valores teóricos esperados.

2. Sustento teórico

2.1 Sistema de Inyección Electrónica LH-Jetronic

El sistema LH-Jetronic es un sistema de inyección electrónica que regula la cantidad de combustible atomizado en el colector de admisión, garantizando una mezcla aire-combustible óptima. Utiliza una unidad de control electrónica (ECU) que recibe información de varios sensores para calcular la cantidad precisa de combustible a inyectar.

INSTRUCCIONES

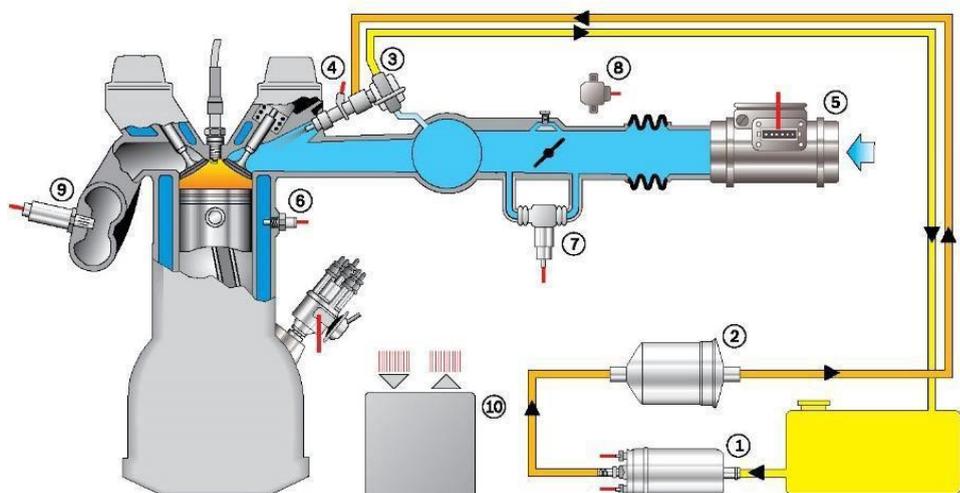


Figura 1. Sistema de inyección LH-Jetronic. (BOSCH, 2022)

2.2 Componentes del Sistema.

Sensores:

- **Sensor MAF (Mass Air Flow):** Mide el flujo de aire que ingresa al motor.
- **Sensor CKP (Crankshaft Position):** Detecta la posición del cigüeñal.
- **Sensor CMP (Camshaft Position):** Detecta la posición del árbol de levas.
- **Sensor TPS (Throttle Position Sensor):** Mide la apertura de la mariposa de admisión.
- **Sensor ECT (Engine Coolant Temperature):** Monitorea la temperatura del refrigerante.
- **Sensor de Oxígeno:** Evalúa la proporción aire-combustible.

Actuadores:

- **Inyectores:** Controlan la cantidad de combustible inyectado.
- **Bomba de Combustible:** Mantiene la presión necesaria en el sistema.
- **Válvula IAC (Idle Air Control):** Regula el flujo de aire en ralentí.

2.3 Plataforma Web Interactiva

La plataforma permite interactuar con un módulo didáctico que emula las señales de sensores y actuadores. Los usuarios pueden seleccionar diferentes componentes para observar las señales generadas, analizando su comportamiento y correlación con las especificaciones técnicas del sistema.

3. Recursos (Accesorios y Material fungible):

3.1 Herramientas y equipos:

- Osciloscopio

3.2 Material didáctico:

- Guía Práctica.
- Interfaz Web

3.3 Equipo de seguridad:

- Mandil (por cada estudiante)
- Botas.

4. Actividades por desarrollar.

4.1. Sustento Teórico (Interfaz Web).

Interactuar con la plataforma web antes de pruebas con prototipo físico para obtener una introducción al sistema LH-Jetronic y sus componentes. Previamente a realizar las pruebas con el prototipo físico, los estudiantes tendrán que interactuar con la plataforma web que les proporcionara una introducción al sistema LH-Jetronic y sus componentes.

4.1.1 Reconocimiento del sistema.

- Acceder con normalidad a la interfaz web y explorar la descripción general del sistema de inyección LH-Jetronic.
- Identificar los componentes principales e identificar la función de cada uno de estos en el sistema de inyección.

4.1.2 Reconocimiento de Sensores

- Indagar en la sección de sensores del interfaz web.
- Lea la información presentada relativa a los siguientes sensores: CKP, CMP, MAF, TPS, ECT, Oxígeno.

NOTA: accediendo al menú plegable el cual se encuentra posicionado del lado izquierdo, seleccionamos la opción de sensores se plegarán las sub-opciones de los tipos de sensores que utiliza el sistema LH-Jetronic.

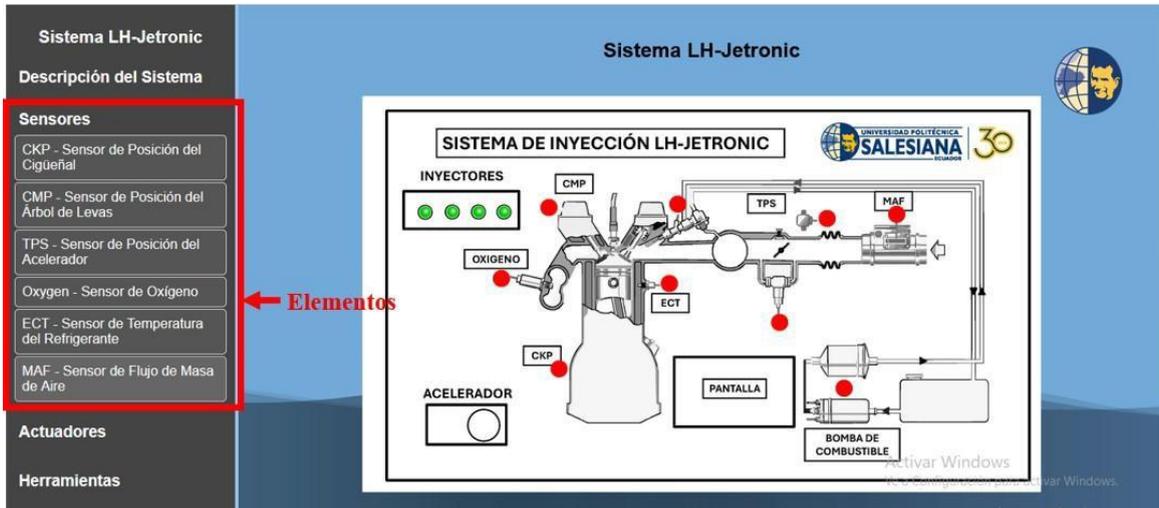


Figura. 2. Posicionamiento de menú y las sub-opciones de los sensores.

- Analizar las representaciones gráficas de las señales por medio de los implementos que les ofrece la interfaz web.

NOTA: accediendo al menú plegable nos dirigiremos a la parte inferior del mismo y seleccionaremos opción de herramientas al darle clic se plegarán las sub-opciones, entre este Osciloscopio y del multímetro.

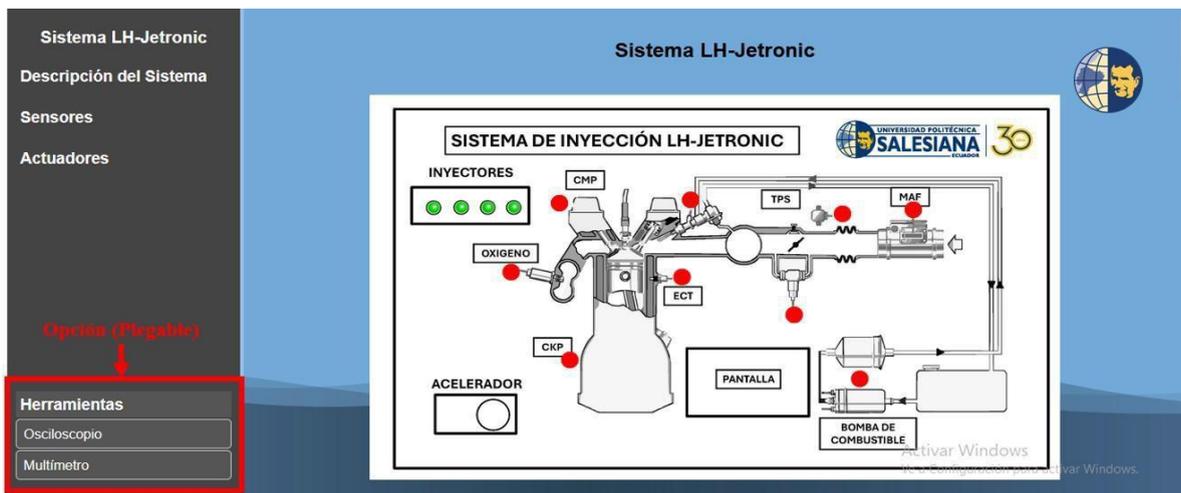


Figura. 3. Posicionamiento de la opción de Herramientas.

4.1.3 Reconocimiento de Actuadores

- Explore la sección de actuadores en la interfaz.
- identificar la función de los inyectores, válvula IAC Y Bomba de Combustible en el control del sistema de inyección.

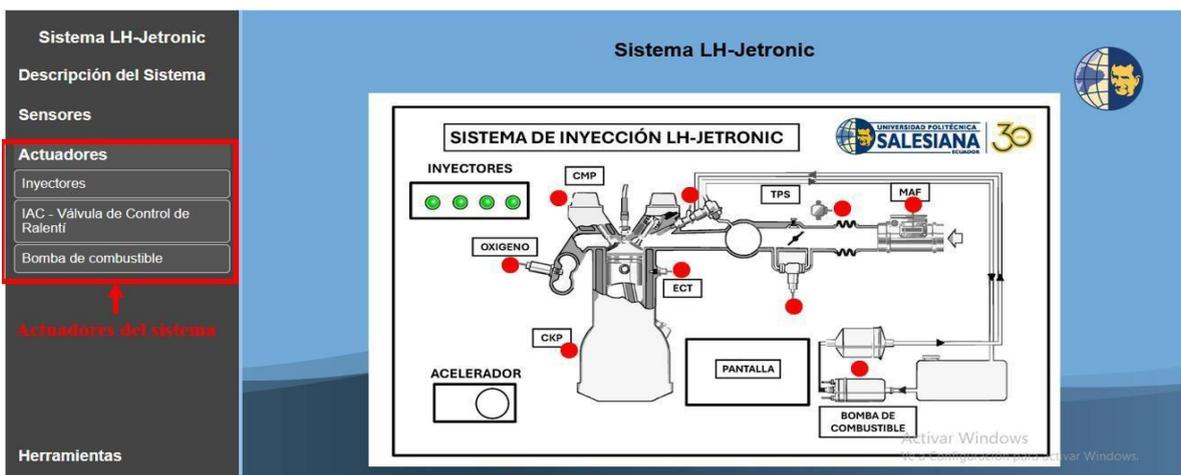


Figura. 4. Actuadores del Sistema de Inyección.

4.1.4 Reconocimiento de valores y señales características teóricas.

- Analizar los voltajes teóricos y las ondas características para cada sensor y actuador.

NOTA: Para Poder realizar las respectivas comprobaciones de las ondas características y el voltaje de funcionamiento de los elementos tendremos por parte del osciloscopio un menú plegable en el cual podremos observar los distintos componentes que compone el sistema y para el funcionamiento del multímetro presionaremos el punto rojo del elemento requerido el cual se encuentra en la página principal y el tipo de voltaje que quisiéramos observar).

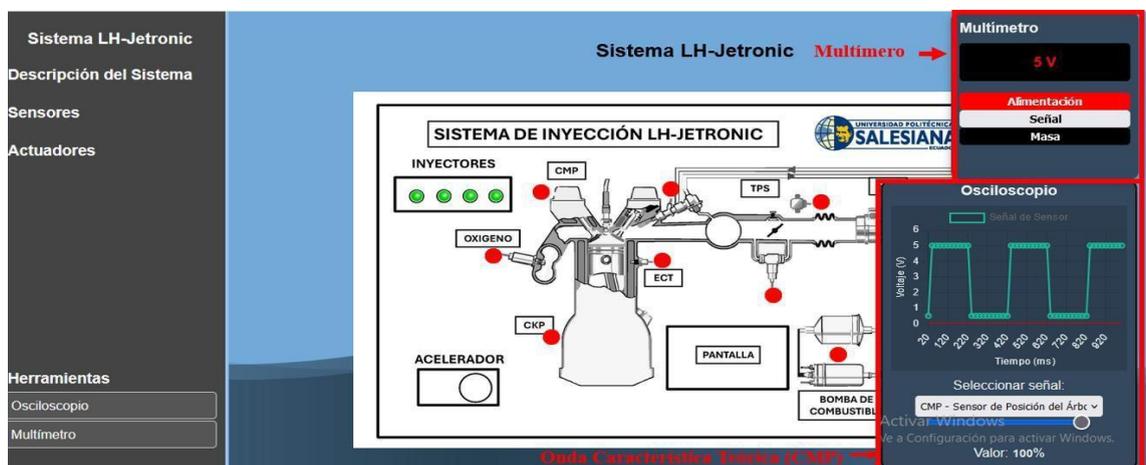


Figura. 5. Herramientas en funcionamiento.

4.2. Reconocimiento del sistema General en el módulo.

4.2.1 Inicialización de módulo.

- Para encender el módulo se debe de conectar el cable tipo USB micro en la computadora para modificar la codificación de la red, hay que colocar el nombre (**ssid**) y la contraseña (**password**) de la red para luego cargar el código modificado al módulo ESP32.

```

192
193 // Configuración inicial del servidor
194 const char* ssid = " "; // Cambia por tu SSID
195 const char* password = " "; // Cambia por tu contraseña
196
197 void setup() {
198     Serial.begin(115200);
199     // Reiniciar variables globales
200     displayGraph = false;
201     selectedOption = -1;
202     selectedSubOption = -1;
203     bufferIndex = 0;
204     resetSignalBuffer();

```

Figura. 6. Codificación de la red.

4.2.2 Ubicación de los elementos.

- Identificar en el módulo didáctico la ubicación de los sensores y actuadores previamente estudiados en la interfaz web.

4.2.3 Verificación de señales teóricas en pantalla TFT.

- En la pantalla TFT del módulo seleccione la opción de sensores o actuadores según se el interés.
- Observar y analizar las ondas características de cada elemento.
- Analizar y comparar las señales propuestas en la pantalla TFT con las obtenidas en el sustento teórico del interfaz web.

4.3. Pruebas.

En esta fase se podrán verificar las señales de las ondas características de los elementos gracias a sus puntos de conexión (banana hembra) en las cuales con ayuda de un osciloscopio podremos verificar las señales de cada elemento entre estos sensores CKP, CMP, Oxígeno, TPS y por parte de los actuadores el Inyector

- Actividad 1: conectar el osciloscopio en los puntos de pruebas, negro (masa) y rojo (toma de señal).
- Actividad 2: verificar la forma de la onda de cada elemento.
- Actividad 3: Comparación de las señales que se obtiene en el osciloscopio con las ofrecidas en la pantalla TFT.

Nota: En la figura 7. Se observa la ubicación correspondiente de los puntos de pruebas en la cual se podrá colocar las puntas del osciloscopio para posteriormente analizar las señales.

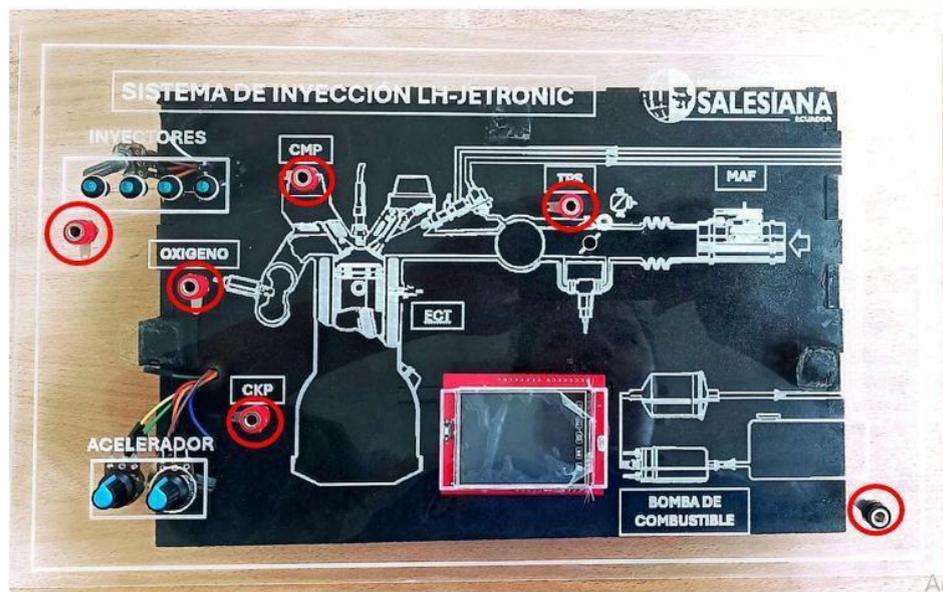


Figura. 7. Módulo del sistema LH-Jetronic (ubicación de los puntos de pruebas).

9. RESULTADO(S) OBTENIDO(S):

.....

9. CONCLUSIONES(Individuales)

.....

10. RECOMENDACIONES

.....

12. BIBLIOGRAFÍAS

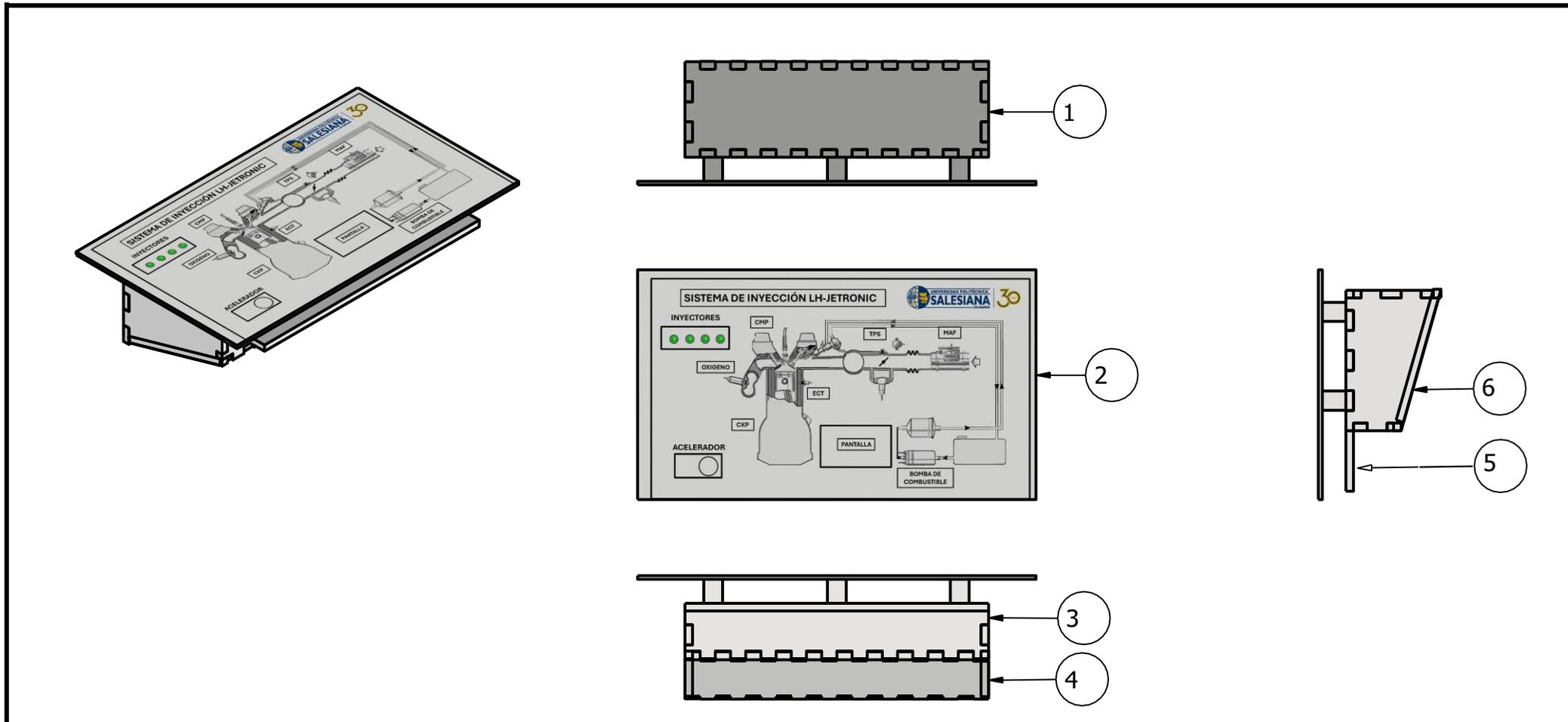
BOSCH. (2022). *SISTEMA DE INYECCIÓN LH-JETRONIC*. Obtenido de bosch.com

Realizado por:

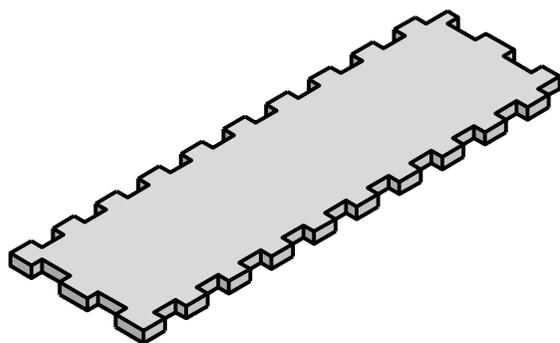
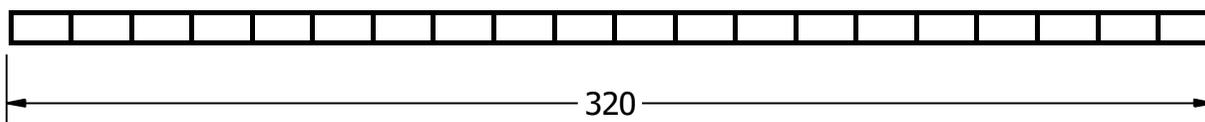
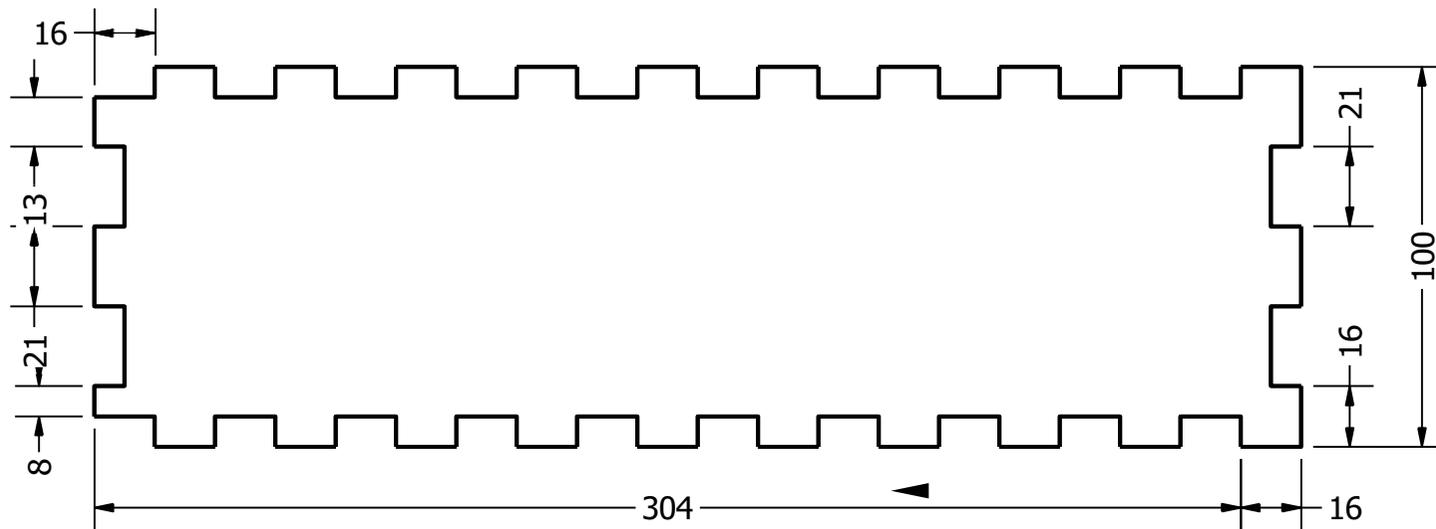
- Jonathan Roberto Escalante Belnabes
- Rodrigo Alexander Versoza Jiménez

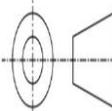
Revisado por:

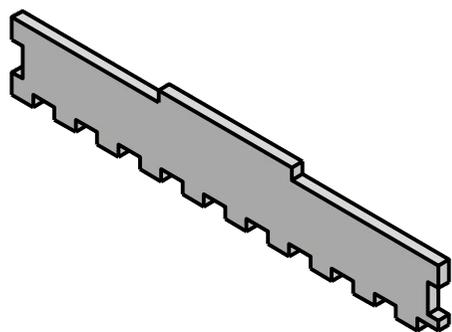
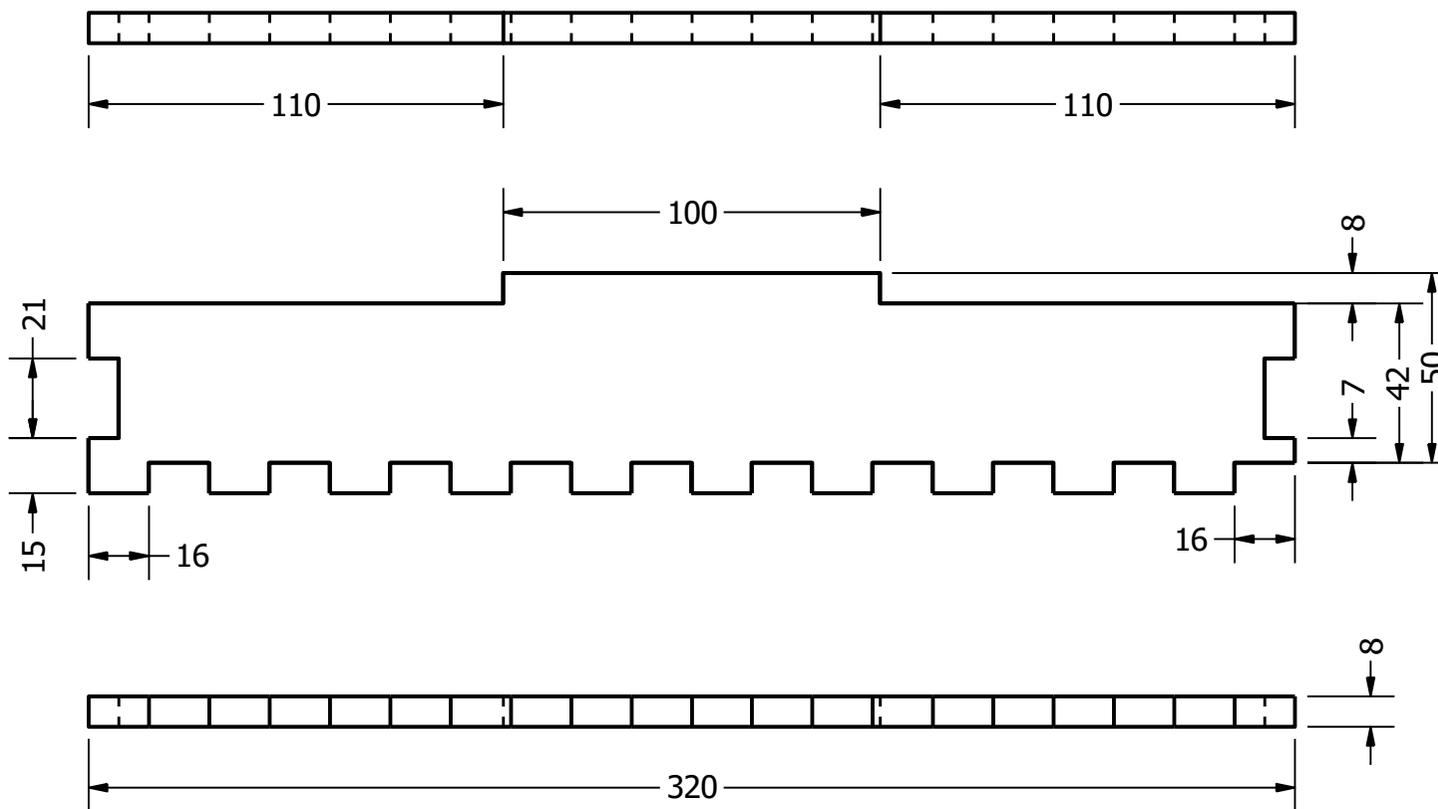
ANEXO 6.

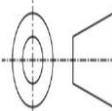


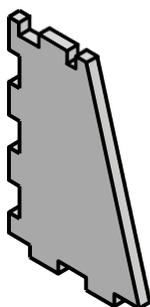
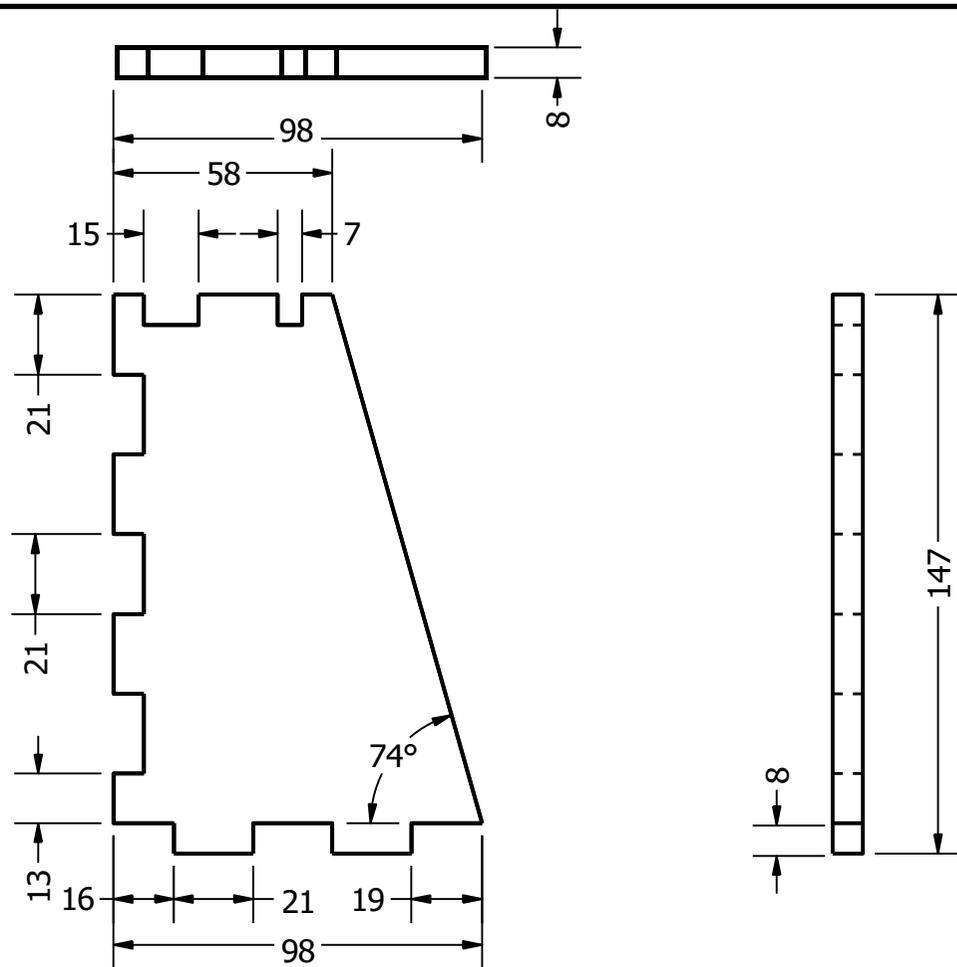
LISTA DE PIEZAS			FECHA	NOMBRES			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	FECHA:	05-02-2025			J. ESCALANTE; R. VERSOZA
1	1	PARE POSTERIOR	APROBADO				ING. MARCOS EFRAIN MILLAN
2	1	PLACA GRABADA	D.S NORMAS	ISO			
3	1	BASE FRONTAL	ESCALA:			LAMINA : 1 - 7	
4	1	BASE INFERIOR	1 / 6	ENSAMBLE DEL MÓDULO.		INGENERIA AUTOMOTRIZ	
5	1	PARE LATERALES				GRUPO : --	
6	2	BASE SUPERIOR					

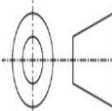


	FECHA	NOMBRES		
FECHA:	05-02-2025	J. ESCALANTE; R. VERSOZA		
APROBADO		ING. MARCOS EFRAIN MILLAN		
D.S NORMAS	ISO			
ESCALA :	BASE INFERIOR.			LAMINA : 2 - 7
1 / 2				INGENIERIA AUTOMOTRIZ
				GRUPO : ---

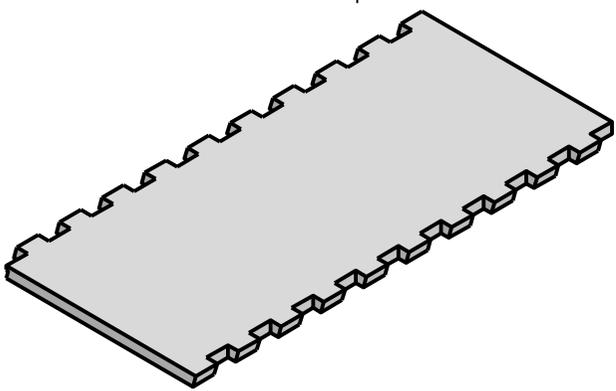
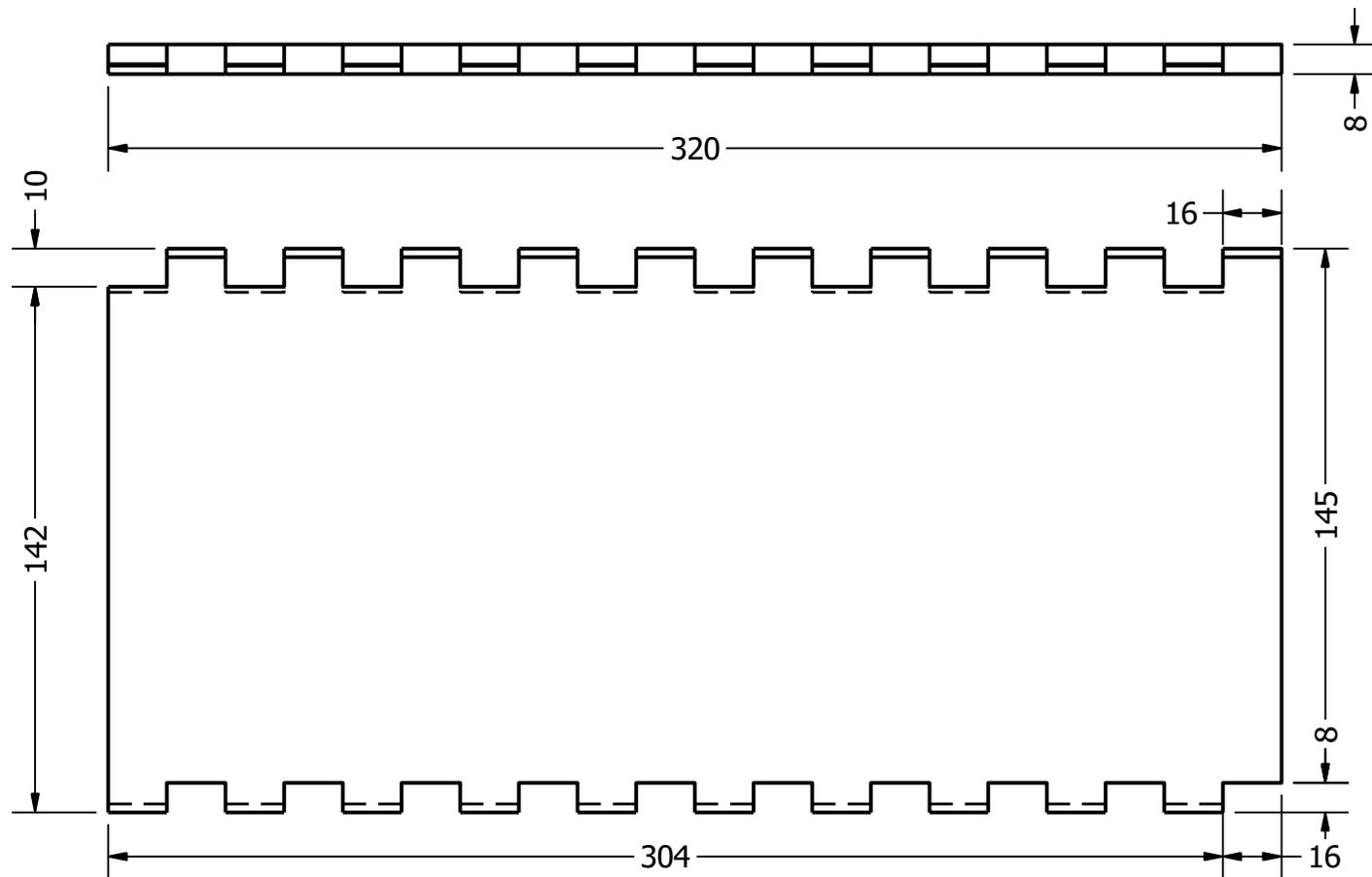


	FECHA	NOMBRES			UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
FECHA:	05-02-2025	J. ESCALANTE; R. VERSOZA			SALESIANA
APROBADO		ING. MARCOS EFRAIN MILLAN			ECUADOR
D.S NORMAS	ISO				
ESCALA :	PARED FRONTAL.			LAMINA : 3 - 7	
1 / 2				INGENIERIA AUTOMOTRIZ	
				GRUPO : ---	

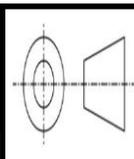


	FECHA	NOMBRES		 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA <small>ECUADOR</small>
FECHA:	05-02-2025	J. ESCALANTE; R. VERSOZA		
APROBADO		ING. MARCOS EFRAIN MILLAN		
D.S NORMAS	ISO			
ESCALA :	PAREDES LATERALES			LAMINA : 4 - 7
1 / 2				INGENERIA AUTOMOTRIZ

GRUPO : ---

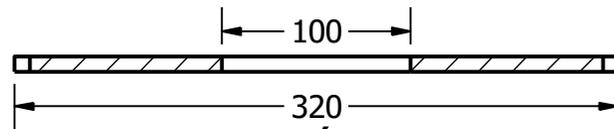


	FECHA	NOMBRES
FECHA:	05-02-2025	J. ESCALANTE; R. VERSOZA
APROBADO		ING. MARCOS EFRAIN MILLAN
D.S NORMAS	ISO	

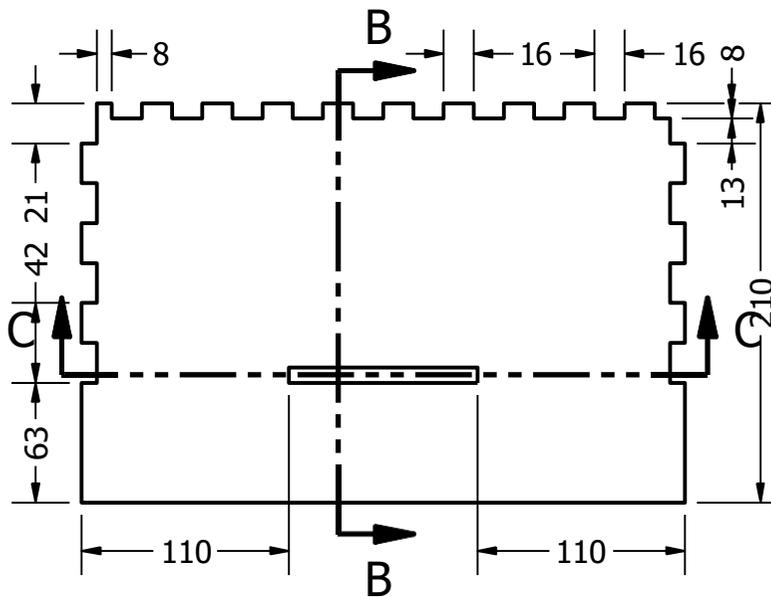


ESCALA :	PARED POSTERIOR
1 / 2	

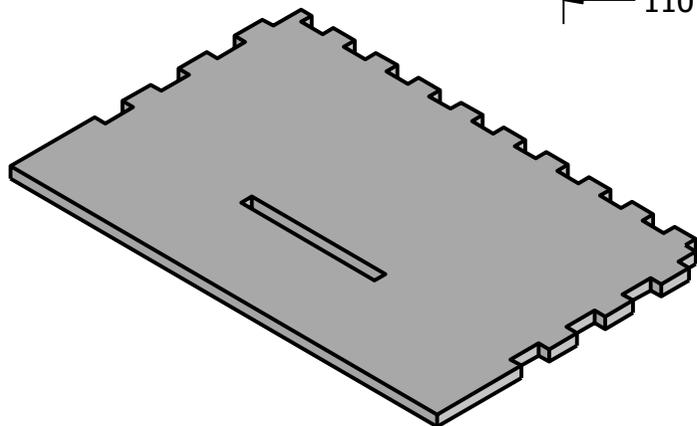
LAMINA : 5 - 7
INGENIERIA AUTOMOTRIZ
GRUPO : ---

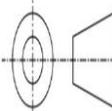


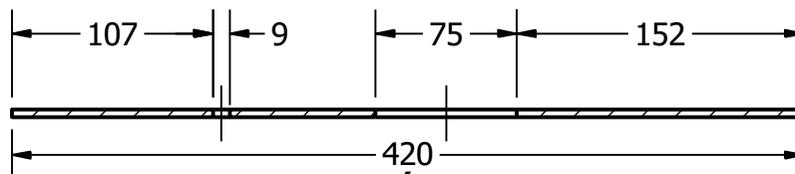
SECCIÓN C-C
ESCALA 1 / 4



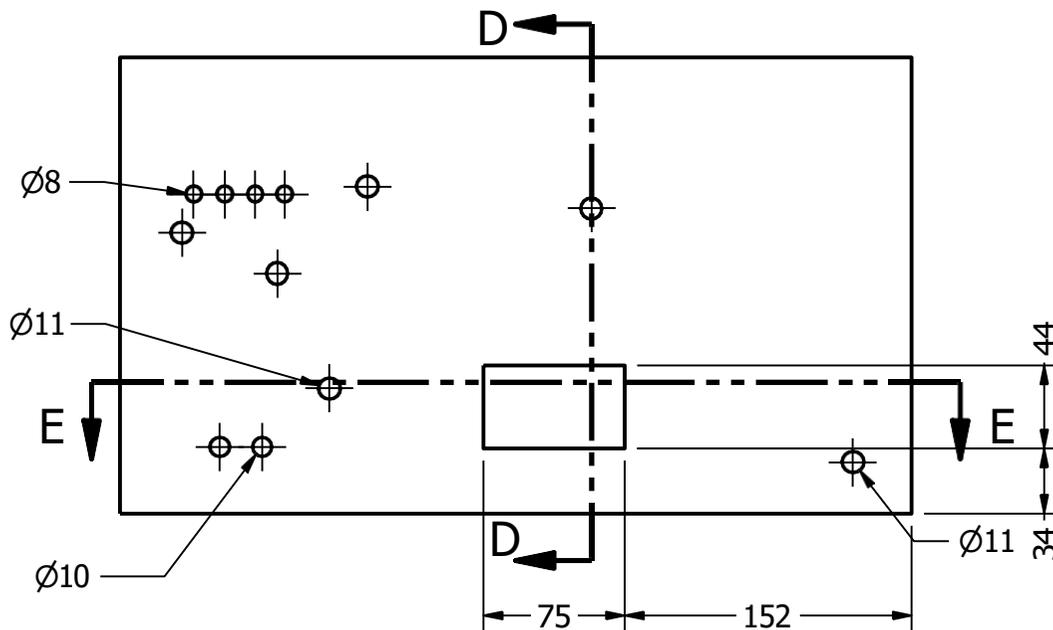
SECCIÓN B-B
ESCALA 1 / 4



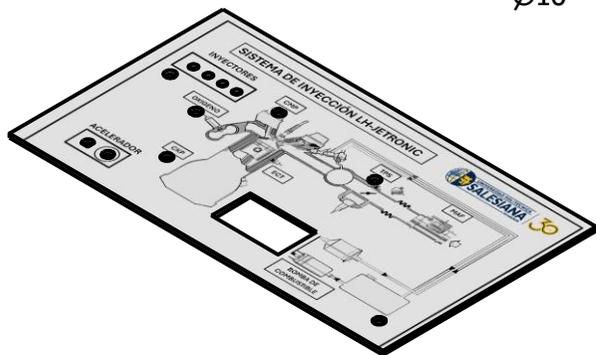
	FECHA	NOMBRES		
FECHA:	05-02-2025	J. ESCALANTE; R. VERSOZA		
APROBADO		ING. MARCOS EFRAIN MILLAN		
D.S NORMAS	ISO			
ESCALA :	BASE SUPERIOR			LAMINA : 6 - 7
1 / 4				INGENERIA AUTOMOTRIZ
				GRUPO : ---

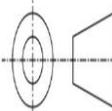


SECCIÓN E-E
ESCALA 1 / 4



SECCIÓN D-D
ESCALA 1 / 4



	FECHA	NOMBRES			UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR
	FECHA: 05-02-2025	J. ESCALANTE; R. VERSOZA			
	APROBADO	ING. MARCOS EFRAIN MILLAN			
	D.S NORMAS	ISO			
	ESCALA : 1 / 4	PANEL DE DETALLES			LAMINA : 7 - 7
					INGENERIA AUTOMOTRIZ

GRUPO : ---