

TECNOLÓGICO UNIVERSITARIO

VIDA NUEVA

SEDE MATRIZ



TECNOLOGÍA SUPERIOR EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ

TEMA

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SIMULADOR DE FALLAS PARA ACTUADORES DEL SISTEMA CRDI DEL VEHÍCULO CHEVROLET DMAX DEL AÑO 2019 INYECCIÓN

DIÉSEL

PRESENTADO POR

GUILLEN YUQUI FRANK ENRIQUE

PEÑAFIEL PATIÑO VICTOR SANTIAGO

TUTOR

ING. CHILQUINGA GUANOPATIN EDWIN OMAR MG.

FECHA

FEBRERO 2024

QUITO – ECUADOR

Certificación del Tutor

En mi calidad de Tutor del Proyecto de Aplicación Práctica con el tema: “Diseño e implementación de un simulador de fallas para actuadores del sistema CRDI del vehículo Chevrolet DMAX del año 2019 inyección Diésel”, presentado por el ciudadano Guillen Yuqui Frank Enrique y Peñafiel Patiño Víctor Santiago , para optar por el título de Tecnólogo Superior en Mecánica Automotriz, certifico que dicho proyecto ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del tribunal examinador que se designe.

En la ciudad de Quito, del mes de febrero de 2024

Tutor: Ing. Chilibingua Guanopatin Edwin Omar Mg.

C.I.: 0503066284

Aprobación del Tribunal

Los miembros del tribunal aprueban el Proyecto de Aplicación Práctica, con el tema: “Diseño e implementación de un simulador de fallas para actuadores del sistema CRDI del vehículo Chevrolet DMAX del año 2019 inyección Diésel”, presentado por el ciudadano Guillen Yuqui Frank Enrique y Peñafiel Patiño Víctor Santiago, facultados en la carrera Tecnología Superior en Mecánica Automotriz.

Para constancia firman:

C.I.:

DOCENTE TUVN

C.I.:

DOCENTE TUVN

C.I.:

DOCENTE TUVN

Cesión de Derechos de Autor

Yo, Guillen Yuqui Frank Enrique portador de la cédula de ciudadanía 0604861567 y Peñafiel Patiño Víctor Santiago portador de la cedula de ciudadanía 2300890635, facultados en la carrera Tecnología Superior en Mecánica Automotriz, autor de esta obra, certifico y proveo al Tecnológico Universitario Vida Nueva usar plenamente el contenido de este Proyecto de Aplicación Práctica con el tema “Diseño e implementación de un simulador de fallas para actuadores del sistema CRDI del vehículo Chevrolet DMAX del año 2019 inyección Diésel”, con el objeto de aportar y promover la cultura investigativa, autorizando la publicación de nuestro proyecto en la colección digital del repositorio institucional, bajo la licencia Creative Commons: Atribución-NoComercial-SinDerivadas.

En la ciudad de Quito, del mes de febrero de 2024

Guillen Yuqui Frank Enrique

C.I.: 0604861567

Peñafiel Patiño Víctor Santiago

C.I.: 2300890635

Dedicatoria

A mi amada esposa y a mi querido hijo, quienes han sido la fuente inagotable de inspiración y apoyo en cada paso de este viaje académico. Vuestra presencia ha iluminado mi camino, llenándolo de amor, paciencia y entendimiento, mi hijo, mi razón de ser y mi mayor motivación para alcanzar mis metas, a ti, mi compañera de vida, mi roca inquebrantable, gracias por tu constante aliento y comprensión, este logro no solo es mío, sino nuestro, con todo mi amor y gratitud, este proyecto de aplicación práctica está dedicada a ustedes, quienes han hecho de cada desafío una oportunidad para crecer juntos, que este trabajo sea un testimonio de nuestro amor y compromiso, y un legado de nuestra unión familiar, con todo mi amor y gratitud, gracias por ser mi mayor fortaleza y mi más grande motivación, con gratitud y aprecio.

Víctor Peñafiel

A mi esposa, mi hijo, mis padres, motor de mi vida. Por su interminable apoyo y acompañamiento, por ser mi fortaleza e inspiración para mejorar cada día, todo su esfuerzo y paciencia en este duro camino. A Dios por darme la fuerza y sabiduría para salir adelante de todas las adversidades. A mis sobrinos y hermanos, por su incansable motivación, consejos, comprensión y amor que reforzaron mi lucha y mi fe, con gratitud y aprecio.

Guillen Enrique

Agradecimiento

Queridos padres, hermanos y estimados ingenieros, me dirijo a ustedes con profunda gratitud y alegría al culminar este importante capítulo de mi vida académica y tecnológica. Su apoyo inquebrantable ha sido la piedra angular que ha sustentado cada paso de mi camino hacia la culminación de mi proyecto de aplicación práctica, a mis queridos padres, hermanos y mi esposa, gracias por su amor, paciencia y constante aliento. Vuestra confianza y apoyo emocional han sido mi mayor fortaleza durante este exigente proceso. Cada sacrificio que han hecho no ha pasado desapercibido, y estoy infinitamente agradecido por tenerlos como mi familia.

A los ingenieros y Autoridades del Instituto que colaboraron conmigo en este proyecto, su experiencia y dedicación fueron fundamentales para el desarrollo y éxito de mi proyecto de aplicación práctica. Su orientación y consejos han sido invaluable, y estoy agradecido por la generosidad con la que compartieron su conocimiento, experiencias, este logro no solo es mío, sino de todos ustedes que han sido pilares en mi viaje. Gracias por creer en mí, por inspirarme y por ser parte integral de este emocionante capítulo. Espero con ansias compartir los frutos de este esfuerzo con todos ustedes, con gratitud y aprecio.

Víctor Peñafiel

Agradezco profundamente a Dios por su infinito amor y paciencia, sin él no estaría presente, por guiarme por el camino correcto. A mi esposa por su temple, consejos, conversaciones y, sobre todo, por no haberse rendido en la lucha intensa de la vida, doy gracias a Dios por la mujer que tengo, a mis padres, sin ellos no sería el hombre que me convertí, fundamentales en todo este proceso académico y personal, me enseñaron que el amor y el vigor es suficiente para estar en camino correcto, apoyándome cada día, haciéndote entender que la vida es hermosa, con gratitud y aprecio.

Guillen Enrique

Tabla de Contenido

Resumen	10
Abstract	12
Introducción	14
Planteamiento del Problema	16
Descripción de la Situación Problemática	16
Formulación del Problema	18
Objetivos	19
Objetivo General	19
Objetivos Específicos	19
Justificación	21
Antecedentes	22
Marco Teórico	24
Motor Diésel	24
Componentes Básicos del Motor Diésel	25
Funcionamiento del Motor Diésel y Parámetros Termodinámicos	26
Sistemas Auxiliares del Motor Diésel	27
Sistema de Inyección Electrónica	28
Sistema de Inyección de Combustible de Riel Común (CRDI)	29
Principio de Funcionamiento del Sistema CRDI	30
Componentes del Sistema de Inyección Diésel CRDI	31
Unidad de Control Electrónica	34
Funciones de la Unidad Electrónica de Control	34

	8
Componentes de la ECU	36
Sensores del Sistema CRDI	37
Sensor de Temperatura del Refrigerante (ECT)	38
Sensor de Presión Absoluta en el Múltiple (MAP)	39
Sensor de Presión del Riel (RPS)	40
Sensor de Posición del Cigüeñal (CKP)	42
Actuadores del Sistema CRDI	43
Inyectores	43
Válvula de Regulación de Presión (DRV)	44
Válvula de Recirculación de Gases de Escape (EGR)	45
Bomba de Alta Presión	46
Motor Paso a Paso	48
Simulador de Fallas en el Sistema CRDI	49
Metodología y Desarrollo del Proyecto	51
Armado la Estructura	54
Conexiones Eléctricas del Motor de la Chevrolet DMAX 2019 a Diésel	57
Armado de la Estructura de Madera para Motor de la Chevrolet DMAX 2019 a Diésel	58
Diseño de Módulo de Fallas	59
Ensamblaje de los Componentes Electrónicos del Módulo de fallas	61
Montaje e Instalación del Módulo de fallas en la Estructura del Motor	62
Propuesta	64
Falla 1: Simulación de Inyección Desincronizada	65
Falla 2: Simulación de Pérdida de Presión en la Bomba	67

	9
Falla 3: Simulación de la Respuesta a la Señal de Control	69
Falla 4: Prueba de Sincronización con la Unidad de Control del Motor (ECU)	72
Conclusiones	74
Recomendaciones	75
Referencias	77
Anexos	82

Resumen

En respuesta a la creciente importancia de la optimización y confiabilidad de los sistemas de inyección diésel en vehículos, este proyecto de aplicación práctica se centra en el desarrollo de un simulador de fallas para actuadores del sistema Common Rail Direct Injection (CRDI) en el modelo de vehículo Chevrolet DMAX del año 2019, el objetivo principal es proporcionar una herramienta efectiva para emular y estudiar condiciones de falla controladas en los actuadores, con el propósito de mejorar la comprensión de su comportamiento y, en última instancia, potenciar la calidad y eficiencia de dicho sistema.

La metodología aplicada en este estudio combina conocimientos en mecánica automotriz y programación de software, se utiliza un enfoque integrativo que fusiona datos reales de funcionamiento del vehículo con algoritmos de control específicamente diseñados, estos algoritmos permiten generar y regular condiciones de falla de manera precisa y controlada en los actuadores, replicando situaciones desafiantes que podrían surgir en situaciones reales.

Los resultados obtenidos de la implementación del simulador son sumamente prometedores, se logra simular una variedad de fallas que abarcan desde la degradación de la respuesta del actuador hasta la pérdida de sincronización, lo que proporciona una comprensión profunda de cómo el sistema CRDI responde ante condiciones adversas, este conocimiento puede ser instrumental en la mejora del diseño y la programación de los actuadores, así como en la formulación de estrategias de diagnóstico más precisas y mantenimiento preventivo.

En términos de aportes, esta investigación contribuye de manera significativa al campo automotriz al brindar una herramienta valiosa para la evaluación de actuadores en condiciones de fallo controladas, además de su aplicación directa en la mejora de sistemas de inyección diésel,

el simulador desarrollado puede tener aplicaciones en la formación de técnicos automotrices y en el ámbito académico para la investigación y el desarrollo de sistemas de control más robustos.

Palabras Clave: SIMULADOR DE FALLAS, ACTUADORES CRDI, INYECCIÓN DIÉSEL, CHEVROLET DMAX 2019, OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA AUTOMOTRIZ.

Abstract

In response to the growing importance of optimizing and ensuring the reliability of diesel injection systems in vehicles, this practical application project focuses on developing a failure simulator for Common Rail Direct Injection (CRDI) system actuators in the 2019 Chevrolet DMAX vehicle model. The main objective is to provide an effective tool to emulate and study controlled failure conditions in the actuators, with the aim of enhancing understanding of their behavior and ultimately improving the quality and efficiency of the system.

The methodology employed in this study integrates knowledge in automotive mechanics and software programming. An integrative approach is utilized, which involves merging real vehicle operation data with specifically designed control algorithms. These algorithms enable the precise generation and regulation of failure conditions in the actuators, thereby replicating challenging situations that could arise in real-world scenarios.

The results obtained from implementing the simulator are highly promising. It is feasible to simulate a variety of failures, ranging from degraded actuator response to loss of synchronization, thereby providing a deep understanding of how the CRDI system responds to adverse conditions. This knowledge can be instrumental in improving the design and programming of the actuators, as well as in formulating more precise diagnostic strategies and preventive maintenance.

In terms of contributions, this research significantly advances the automotive field by providing a valuable tool for evaluating actuators under controlled failure conditions. In addition to its direct application in improving diesel injection systems, the developed simulator may have applications in training automotive technicians and in academia for researching and developing more robust control systems.

Keywords: FAILURE SIMULATOR, CRDI ACTUATORS, DIESEL INJECTION, CHEVROLET D-MAX 2019, AUTOMOTIVE SYSTEM OPTIMIZATION.

Introducción

En el panorama contemporáneo de la industria automotriz, la optimización y la confiabilidad de los sistemas de inyección diésel han cobrado una importancia creciente, en este contexto, la presente investigación se centra en el diseño e implementación de un simulador de fallas para actuadores del sistema Common Rail Direct Injection (CRDI) en el modelo de vehículo Chevrolet DMAX del año 2019, que utiliza tecnología de inyección diésel, esta elección deriva de la necesidad imperante de entender y abordar las complicaciones que puedan surgir en sistemas de inyección diésel altamente complejos y tecnológicamente avanzados, como los presentes en vehículos modernos.

La problemática inherente a la gestión de sistemas CRDI radica en la necesidad de garantizar un rendimiento óptimo y una operación confiable, incluso en condiciones adversas, los actuadores desempeñan un papel crucial en este sistema al regular la inyección de combustible, lo que influye directamente en la eficiencia del motor y la emisión de contaminantes, sin embargo, la falta de herramientas efectivas para emular y analizar condiciones de falla controladas en estos actuadores ha sido una limitación importante en la mejora de la calidad y la eficiencia del sistema.

El objetivo principal de esta investigación es abordar esta carencia mediante el diseño e implementación de un simulador de fallas que permita evaluar el comportamiento de los actuadores en escenarios defectuosos de manera precisa y controlada, al lograrlo, se busca comprender mejor cómo responde el sistema CRDI ante condiciones adversas y cómo estas respuestas pueden influir en su rendimiento general.

La relevancia y justificación de este estudio radican en su potencial para impulsar avances significativos en el diseño, desarrollo y mantenimiento de sistemas de inyección diésel,

los resultados obtenidos no solo pueden contribuir a la optimización de vehículos equipados con esta tecnología, sino también a la formación de técnicos automotrices y a la generación de conocimiento en el campo de la ingeniería automotriz.

No obstante, es importante tener en cuenta ciertas limitaciones inherentes al alcance de este estudio, la simulación de fallas, aunque controlada, puede no capturar todas las complejidades de situaciones reales. Además, la disponibilidad de datos y recursos específicos para el modelo Chevrolet DMAX 2019 puede influir en la generalización de los resultados.

El enfoque metodológico adoptado en esta investigación es de carácter integrativo, combinando conocimientos de mecánica automotriz y desarrollo de software, utilizando algoritmos de control diseñados específicamente para generar condiciones de falla en los actuadores.

Planteamiento del Problema

Descripción de la Situación Problemática

La industria automotriz en el Ecuador ha experimentado diversos cambios y tendencias en los últimos años en relación a los automotores más vendidos, por lo que la AEADE menciona que desde enero del 2021 hasta abril del 2023 se han comercializado 533330 vehículos livianos, tanto, a diésel como a gasolina y 44830 ventas de vehículos comerciales (Camiones, furgonetas, Autobuses). Estos datos son importantes para comprender la situación problemática actual en el mercado automotriz del país. (Barros y Pulla, 2019)

La Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador (AEADE), hasta enero del 2023, describe que se hubo una demanda eventos del 30% de vehículos a diésel en Ecuador logrando comercializarse aproximadamente unos 159999 automotores a diésel, debido a los precios de la gasolina y el diésel que ha venido fluctuado, tomando en cuenta que el combustible diésel es más económico que la gasolina súper y Extra,

Según la Cámara de la Industria Automotriz Ecuatoriana, menciona que las marcas como Chevrolet (18,6 %), Kia (10,3 %), Toyota (9,7 %), Renault (5,9 %), Chery (35,5 %), Jac (5,2 %), Hyundai (4,2 %), Volkswagen (2,6 %) y Great Wall (3,5 %) hoy en día son las más solicitadas por las personas al elegir un automotor a diésel.

Por otro lado, en lo que respecta a la adquisición de vehículos a diésel en diversas provincias del Ecuador, la AEADE menciona un incremento en ventas en Pichincha (41,4%), Guayas (29,2%), Azuay (8,7%), Tungurahua (5,5%) y Manabí (4,6%), son en donde más se adquiere estos tipos de automotores

Por otro lado, hay que notar que el sistema de inyección diésel ha revolucionado la

industria automotriz al proporcionar una mayor eficiencia, rendimiento y reducción de emisiones en los motores diésel modernos. En el caso específico del vehículo Chevrolet DMAX del año 2019, se utiliza un sistema CRDI para controlar el proceso de inyección de combustible, garantizando así un funcionamiento óptimo del motor. (Aguirre y Ortiz, 2019)

Sin embargo, a medida que los sistemas automotrices se vuelven más complejos, también aumenta la posibilidad de fallas en los actuadores del sistema CRDI. Estas fallas pueden tener diversas causas, como desgaste, daños físicos, problemas de conectividad, entre otros, identificar y diagnosticar estas fallas de manera eficiente es de vital importancia para los técnicos automotrices y los propietarios de vehículos, ya que ayuda a mantener el rendimiento del motor y evitar costosas reparaciones innecesarias.

En este contexto, surge la necesidad de contar con un simulador de fallas específicamente diseñado para los actuadores del sistema CRDI del vehículo Chevrolet DMAX del año 2019 de inyección diésel. Este simulador permitiría recrear escenarios de fallas controladas y realistas, brindando una herramienta invaluable para el entrenamiento y la formación de técnicos automotrices, así como para la validación y desarrollo de nuevas estrategias de diagnóstico y reparación. (Aguirre y Ortiz, 2019)

Actualmente, la falta de un simulador de fallas dedicado a los actuadores del sistema CRDI, representa una limitación significativa en el proceso de diagnóstico y mantenimiento de estos componentes, los técnicos automotrices se enfrentan a desafíos al intentar identificar y solucionar las fallas en estos actuadores, lo que puede resultar en diagnósticos incorrectos, demoras en las reparaciones y un aumento de los costos de mantenimiento para los propietarios de los vehículos.

Por lo tanto, el objetivo principal de esta investigación es diseñar e implementar un simulador de fallas para actuadores del sistema CRDI del vehículo Chevrolet DMAX del año 2019 de inyección diésel, este simulador proporcionará una herramienta efectiva y realista para el fortalecimiento académico en los técnicos automotrices, contribuyendo así a mejorar la eficiencia y precisión en el mantenimiento de estos componentes críticos, es decir, el desarrollo de un simulador de fallas específico para los actuadores del sistema CRDI del vehículo Chevrolet DMAX, abordará la problemática existente al proporcionar una herramienta esencial para el diagnóstico, la formación y el desarrollo de estrategias de reparación más eficientes.

Formulación del Problema

¿El simulador de fallas de los actuadores del sistema CRDI del vehículo Chevrolet DMAX, servirá como herramienta para la formación técnica en procesos de diagnóstico automotriz?

Objetivos

Objetivo General

Construir un simulador de fallas para actuadores del sistema CRDI de un vehículo Chevrolet DMAX del año 2019, aplicando conocimientos técnicos en electrónica y sistemas de inyección Diésel, para la recreación, estudio y diagnóstico de sistemas de inyección a diésel.

Objetivos Específicos

- Analizar los actuadores del sistema CRDI presentes en el vehículo Chevrolet DMAX del año 2019, comprendiendo su funcionamiento, características técnicas y su papel en el sistema de inyección de combustible.
- Investigar y recopilar información sobre las posibles fallas y problemas que pueden presentarse en los actuadores del sistema CRDI del vehículo Chevrolet DMAX del año 2019, indagando en manuales técnicos, informes de servicio relacionados con el vehículo y su sistema CRDI.
- Diseñar y construir un simulador de fallas que permita recrear escenarios de mal funcionamiento de los actuadores del sistema CRDI del vehículo Chevrolet DMAX del año 2019, a través de las características específicas y la interacción entre los distintos componentes del sistema.
- Implementar el simulador de fallas en el motor de combustión interna a diésel del Chevrolet DMAX del año 2019, basándose en la investigación previa y la recopilación de información sobre las fallas y problemas más comunes en el motor diésel.
- Realizar pruebas de entrenamiento, utilizando el simulador de fallas, evaluando su efectividad para adquirir experiencia y habilidades en el diagnóstico y solución de

problemas en los actuadores del sistema CRDI del vehículo Chevrolet DMAX del año 2019.

Justificación

La justificación de esta investigación radica en la necesidad de comprender y mejorar los procesos de diagnóstico y solución de problemas en los actuadores del sistema CRDI del vehículo Chevrolet DMAX del año 2019, mediante el diseño e implementación de un simulador de fallas, se busca brindar a los técnicos automotrices una herramienta eficiente que permita adquirir experiencia práctica y habilidades específicas en los procesos de diagnóstico de fallas en estos componentes. Al recrear diversos escenarios de mal funcionamiento, el simulador de fallas estimulará el pensamiento crítico y promoverá el desarrollo de estrategias de resolución de problemas, fortaleciendo así las capacidades cognitivas de los futuros profesionales del sector automotriz.

Por otro lado, esta investigación radica en la importancia de mejorar la calidad del servicio ofrecido a los propietarios de vehículos Chevrolet DMAX del año 2019. Los problemas y fallas en los actuadores del sistema CRDI pueden ocasionar tiempos prolongados de reparación, costos innecesarios y una disminución en la satisfacción del cliente. Al diseñar e implementar un simulador de fallas, se busca reducir estos efectos negativos, agilizando el proceso de diagnóstico y solución de problemas, brindando un servicio de calidad y eficiencia. Además, al capacitar a los técnicos automotrices en el uso de esta herramienta, se fortalece la confianza del cliente al saber que sus problemas serán atendidos de manera precisa y oportuna, mejorando así la experiencia del usuario y fomentando relaciones positivas con los propietarios de vehículos Chevrolet DMAX del año 2019.

Antecedentes

La constante evolución de la tecnología automotriz ha dado lugar a sistemas de inyección diésel cada vez más sofisticados, destacando entre ellos el sistema Common Rail Direct Injection (CRDI), por lo que (Iza, 2023) menciona que “este sistema ha demostrado ser altamente eficiente en la gestión de la inyección de combustible, optimizando el rendimiento del motor y reduciendo las emisiones”. Sin embargo, su complejidad y la necesidad de garantizar su rendimiento óptimo en diversas condiciones operativas han desencadenado la búsqueda de soluciones que permitan evaluar y mejorar su funcionamiento. (Barros y Pulla, 2019)

Por otro lado (Encalada y Zhinin, 2022) menciona que, “los actuadores, elementos vitales en el sistema CRDI, desempeñan un papel esencial al controlar la inyección precisa de combustible en las cámaras de combustión”, la confiabilidad y eficiencia de estos actuadores son cruciales para el desempeño general del sistema. No obstante, en situaciones adversas o con el paso del tiempo, (Guillén y Moscoso, 2011) dice que “los actuadores pueden verse afectados por diversos factores que afectan su comportamiento, comprometiendo la eficiencia del sistema y generando costos significativos de mantenimiento y reparación”.

En este contexto, la necesidad de diseñar y desarrollar un simulador de fallas específico para los actuadores del sistema CRDI se vuelve apremiante. Los simuladores de fallas se han convertido en herramientas esenciales en la ingeniería automotriz, ya que permiten recrear y analizar condiciones de falla controladas en un entorno seguro y controlado. Estos simuladores brindan la oportunidad de explorar a fondo el comportamiento de los sistemas en situaciones adversas, lo que contribuye a la mejora continua de los componentes y a la identificación de soluciones efectivas para mitigar posibles problemas.

A pesar de la existencia de simuladores de fallas en otros contextos automotrices, es esencial abordar esta necesidad en el marco de los actuadores del sistema CRDI en el vehículo Chevrolet DMAX del año 2019. Esta investigación se propone llenar este vacío mediante el diseño e implementación de un simulador de fallas específicamente adaptado a este sistema. Al lograrlo, se espera no solo contribuir a la mejora de la eficiencia y confiabilidad de los sistemas de inyección diésel, sino también enriquecer la capacitación técnica y la investigación en el ámbito de la ingeniería automotriz.

Los antecedentes subrayan la necesidad imperante de un simulador de fallas para actuadores del sistema CRDI en el vehículo Chevrolet DMAX 2019. La complejidad y la importancia de los sistemas de inyección diésel justifican el enfoque en esta área, con el objetivo de mejorar su rendimiento y confiabilidad en condiciones desafiantes y en el largo plazo.

Marco Teórico

Motor Diésel

Desde el punto de vista de (Horus, 2023) “un motor diésel es un tipo de motor de combustión interna que opera según el ciclo termodinámico Diésel, fue inventado por el ingeniero alemán Rudolf Diésel a finales del siglo XIX”, a diferencia de los motores de gasolina, los motores diésel utilizan la ignición por compresión en lugar de la ignición por chispa para encender el combustible, esto implica que el aire comprimido dentro de la cámara de combustión se calienta lo suficiente como para encender el combustible diésel pulverizado, eliminando así la necesidad de bujías, como se observa en la figura 1.

Figura 1

Motor Diésel



Nota. Esta gráfica representa al motor de combustión interna y sus elementos principales.

Tomado de Passo et al., 2019.

Por otro lado, (Aguirre y Ortiz, 2013) menciona lo siguiente:

El motor diésel opera con una mayor eficiencia térmica en comparación con los motores de gasolina, esto se debe en gran medida a su ciclo de combustión, conocido como ciclo

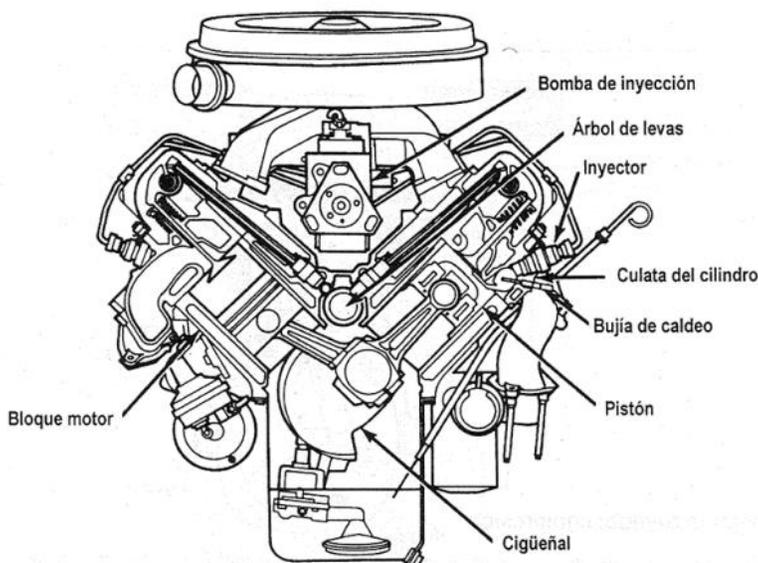
diésel, que involucra una mayor compresión del aire antes de la inyección de combustible, la mayor relación de compresión conduce a una mayor eficiencia en la conversión de calor en trabajo útil.

Componentes Básicos del Motor Diésel

Como menciona Caiza (2021), los principales componentes necesarios para llevar a cabo el proceso de combustión, son: bloque motor, culata o culata, brazos de biela, cigüeñal, pistones, camisas de cilindros, conjunto de tren de válvulas y volante de inercia, como se observa en la figura 2.

Figura 2

Elementos que conforma el motor diésel



Nota. Esta gráfica representa los componentes del motor diésel. Tomado de Pedro, 2021.

El bloque motor es el principal elemento estructural que alberga el resto de los componentes y sistemas que componen el motor, este bloque proporciona la forma básica del cilindro, sobre el cual se encuentra la culata, la culata contiene las válvulas de admisión y escape, los inyectores de combustible y los árboles de levas, cuando se produce la combustión se crea

una onda de expansión que genera empuje en la zona superior del pistón, esto transfiere movimiento a la biela, que a su vez transfiere movimiento al cigüeñal, según señala Caiza (2020), “el conjunto del tren de válvulas controla alternativamente la apertura y el cierre de la válvula de admisión y la válvula de escape, lo que permite que entre aire en la cámara de combustión y descargue el gas quemado”, la bomba de inyección es aquella que produce alta presión para que así el combustible sea pulverizado cuando pasa a través del inyector el cual está ubicado en la culata.

Funcionamiento del Motor Diésel y Parámetros Termodinámicos

El funcionamiento de un motor diésel se basa en el ciclo termodinámico Diésel, que consta de cuatro etapas fundamentales: admisión, compresión, combustión/expansión y escape. Durante cada una de estas etapas, de acuerdo con (Mena et al., 2018) “en dichas etapas se producen cambios significativos en la presión y la temperatura del aire y el combustible en la cámara de combustión”, a continuación, (Chicaiza, 2019) menciona cada uno de los procesos.

- **Admisión:** En esta etapa, el pistón se encuentra en su posición más baja, La válvula de admisión se abre y el aire exterior es aspirado hacia la cámara de combustión, durante este proceso, el aire se comprime ligeramente debido a la resistencia del sistema de admisión.
- **Compresión:** Con la válvula de admisión cerrada, el pistón comienza a ascender del PMI al PMS, esta acción comprime el aire en la cámara de combustión de manera significativa, durante la compresión, la temperatura del aire aumenta considerablemente debido a la compresión adiabática, es decir, la compresión sin intercambio de calor con el entorno, las temperaturas pueden alcanzar valores muy elevados, a menudo superando los 700°C (1300°F).

- **Combustión/Expansión:** Justo antes de que el pistón alcance su punto más alto de compresión, el combustible diésel se inyecta en la cámara de combustión, debido a la alta temperatura y presión resultante de la compresión, el combustible se enciende espontáneamente en una reacción de auto ignición, esta reacción libera una gran cantidad de calor y gases de alta presión, la presión en la cámara aumenta bruscamente, alcanzando valores en el rango de 40 a 200 bar (580 a 2900 psi), dependiendo del diseño del motor y la carga.
- **Escape:** Después de la expansión, el pistón comienza a moverse hacia abajo nuevamente, los gases de escape resultantes se expulsan de la cámara de combustión a través de la válvula de escape, durante esta etapa, la presión y la temperatura disminuyen a medida que los gases se expanden y se enfrían.

Sistemas Auxiliares del Motor Diésel

De acuerdo con Acosta y Torrado (2000), el motor Diésel para su proceso de combustión requiere tres elementos que son el combustible, oxígeno (aire) y calor. El funcionamiento del motor se realiza a través de unos mecanismos y componentes, que debido a las funciones diversas que realizan, se denominan sistemas, como se aprecia en la Tabla 1.

Tabla 1

Sistemas auxiliares del motor Diésel

Sistema	Función
Admisión de aire	Proporcionar aire limpio para ayudar a la combustión.
Combustible	Suministrar el suficiente combustible en el momento preciso, de acuerdo con las condiciones de funcionamiento del motor.
Escape	Constituye el conducto por el cual salen los gases de combustión a la atmosfera.

Sistema	Función
Lubricación	Disminuir la fricción entre los componentes móviles del motor. Enfriar y limpiar los componentes móviles.
Enfriamiento	Extraer del motor el calor producido por la combustión y por la fricción de los componentes móviles del motor.

Nota. Esta tabla representa los sistemas más importantes que ayudan al correcto funcionamiento del motor Diésel. Tomado de Guillén y Moscoso, 2021.

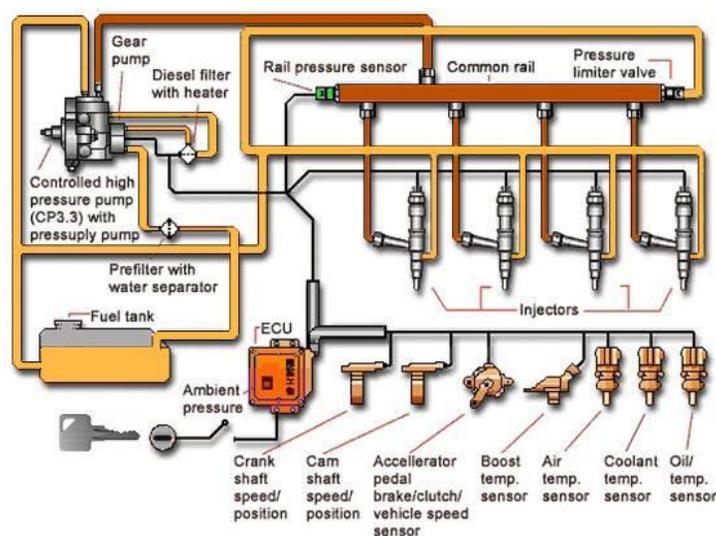
Sistema de Inyección Electrónica

La inyección electrónica en motores diésel es un componente esencial de la moderna tecnología automotriz, por lo que (Alarcón y Jaramillo, 2021) menciona lo siguiente:

El sistema de inyección electrónica ha evolucionado significativamente en los últimos años, Este sistema desplaza a los sistemas de inyección mecánica tradicionales al ofrecer un mayor control y precisión en la administración del combustible, lo que conlleva a mejoras en eficiencia, rendimiento y reducción de emisiones contaminantes, como por ejemplo el sistema CRDI, como se observa en la figura 3.

Figura 3

Sistema de inyección electrónica del motor Diésel



Nota. Esta gráfica representa el sistema de inyección electrónica del motor Diésel. Tomado de Roje, 2022.

Sistema de Inyección de Combustible de Riel Común (CRDI)

(Navarrete y Bolaños 2019), señalan que el sistema de inyección de combustible electrónica denominado Common Rail o riel común, es una tecnología empleada en motores diésel, este sistema permite extraer el combustible directamente del depósito y llevarlo a una bomba de alta presión, la cual lo suministra a un conducto común que alimenta a los inyectores del motor. (Encalada y Zhinin 2022) mencionan que la inyección directa, mediante el sistema Common Rail, permite ajustar la presión del combustible de acuerdo con las exigencias del motor, En estos sistemas, la creación de presión y la inyección de combustible se llevan a cabo de manera independiente.

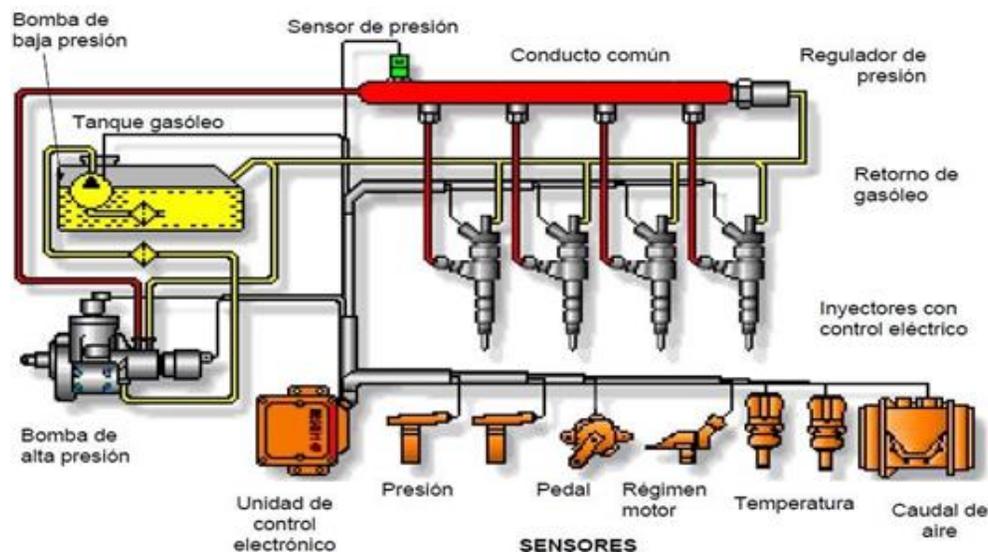
De este modo, se logra generar una alta presión de manera constante sin depender de la velocidad del motor ni de la cantidad de combustible que se está inyectando.

De este modo, (Molina, 2019) afirma que se logra mantener una presión constante en el riel mediante una válvula reguladora que evita que la presión sea demasiado baja o alta. Esto asegura que la presión del sistema se mantenga en niveles óptimos para el correcto funcionamiento del motor. Como indica (Castro, 2018) el sistema de inyección CRDI emplea sensores para monitorear constantemente las condiciones del motor en tiempo real. Esta información es procesada por la gestión electrónica del motor, lo que permite determinar la cantidad adecuada de combustible a inyectar y la sincronización precisa, logrando así un rendimiento óptimo del motor. Tal como menciona (Alarcón y Jaramillo, 2020), para conseguir una mejor atomización a la que se tenía en los sistemas de bomba inyector de los tiempos

antiguos, es necesario alcanzar presiones de trabajo entre los 15 y 200 MPa, y una temperatura de 500°C al instante de la apertura del inyector, como se observa en la figura 4.

Figura 4

Sistema de inyección CRDI



Nota. Esta gráfica representa el sistema de inyección CRDI. Tomado de Alarcón y Jaramillo, 2020.

Principio de Funcionamiento del Sistema CDRI

(Sarmiento y Núñez, 2018) menciona que la manera en que opera este mecanismo es mediante la introducción de una cantidad precisa de combustible a una elevada presión, lo cual debe cumplir con diversos parámetros, como la velocidad y los requerimientos de torque del motor. Para llevar a cabo este proceso, el sistema cuenta con una bomba de alimentación de baja presión encargada de suministrar una cantidad determinada de combustible a la bomba de alta presión. Es esta última la responsable de incrementar la presión del fluido entre 500 y 2.000 bar antes de almacenarlo en el riel de combustible.

Asimismo, (Sarmiento y Núñez, 2018) mencionan que la Unidad de Control Electrónico (ECU) es la encargada de calcular la presión y cantidad de inyección, así como la sincronización

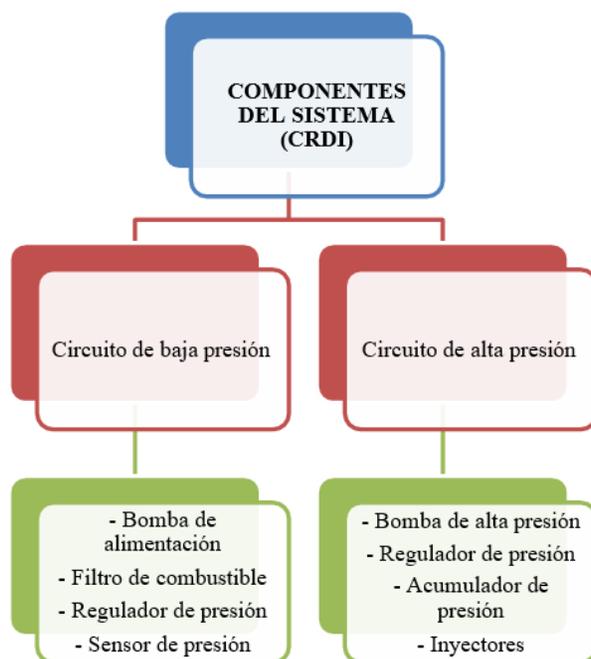
del sistema de Inyección Common Rail Directa (CRDI), empleando señales de distintos sensores para operar y controlar diferentes actuadores. La tecnología de inyección de combustible de alta presión y precisión permite una inyección controlada electrónicamente en los cilindros del motor, con una sincronización flexible para adaptarse a las condiciones del motor y el rendimiento del vehículo. Además, se logra una presión estable, lo que mejora la eficiencia del motor y reduce las emisiones.

Componentes del Sistema de Inyección Diésel CRDI

(Avance, 2018) menciona que “el sistema de inyección diésel CRDI (Common Rail Diésel Injection) es una tecnología avanzada que consta de varios componentes interconectados que trabajan en conjunto para suministrar, controlar y optimizar la inyección de combustible en los motores diésel”, a continuación, se describen los componentes clave de un sistema de inyección diésel CRDI.

Figura 5

Componentes del Sistema CRDI



Nota. Esta gráfica representa los componentes del sistema CRDI, tomado de, (Avance, 2018)

Estos componentes trabajan en conjunto para permitir una inyección de combustible precisa, múltiple y controlada electrónicamente, lo que a su vez mejora la eficiencia, el rendimiento y la reducción de emisiones en los motores diésel equipados con tecnología CRDI, por lo que (Erazo et al., 2021) dice que es necesario mencionar la función de cada uno de ellos.

- **Bomba de Alta Presión:** La bomba de alta presión es responsable de aumentar la presión del combustible antes de enviarlo al riel común. Esta bomba suministra el combustible a alta presión a los inyectores, lo que permite una atomización fina y precisa durante la inyección.
- **Filtros y Separadores de Agua:** Dado que el sistema CRDI es sensible a la calidad del combustible, se instalan filtros y separadores de agua en línea para garantizar que el combustible suministrado al sistema esté limpio y libre de impurezas que puedan dañar los componentes.
- **Regulador de presión:** El regulador de presión del sistema CRDI (Common Rail Diesel Injection) es un componente esencial en este tipo de sistemas de inyección de combustible diésel de alta presión, su función principal es controlar y mantener la presión adecuada en el riel común, lo que garantiza un suministro constante y preciso de combustible a los inyectores.
- **Sensores:** Los sensores proporcionan datos críticos a la ECU para que pueda ajustar y controlar el proceso de inyección de manera óptima. Los sensores típicos incluyen el sensor de posición del cigüeñal, el sensor de temperatura del motor, el sensor de presión del riel común y el sensor de posición del acelerador, entre otros

- **Riel Común (Common Rail):** El riel común es un tubo de alta presión que almacena el combustible a la presión requerida para su inyección en los cilindros. Actúa como un depósito común desde el cual los inyectores pueden obtener el combustible necesario para cada ciclo de inyección. El riel común mantiene la presión constante y distribuye el combustible a los inyectores de manera uniforme.
- **Inyectores Piezoeléctricos:** Los inyectores piezoeléctricos son una parte fundamental del sistema CRDI. Estos inyectores utilizan cristales piezoeléctricos para generar movimientos precisos que controlan la apertura y el cierre de las boquillas de inyección. Esto permite una atomización fina del combustible y una inyección múltiple en varias etapas, lo que a su vez mejora la eficiencia de la combustión.
- **Válvula de Control de Presión del Riel:** Esta válvula regula la presión en el riel común. A través de señales de la unidad de control electrónica (ECU), ajusta la presión del combustible en el riel según las demandas del motor y las condiciones de operación.
- **Unidad de Control Electrónico (ECU):** La ECU es el cerebro del sistema CRDI. Recopila información de varios sensores, como la posición del cigüeñal, la temperatura del motor, la carga del motor y otros datos relevantes. Utiliza esta información para calcular el tiempo y la cantidad precisos de inyección de combustible en cada cilindro.
- **Conductos y Tuberías:** El sistema CRDI utiliza una red de conductos y tuberías de alta resistencia para transportar el combustible desde el tanque hasta la bomba de alta presión, el riel común y, finalmente, los inyectores.

Unidad de Control Electrónica

La Unidad Electrónica de Control (ECU, por sus siglas en inglés: Electronic Control Unit) es un componente fundamental en los sistemas de inyección de combustible CRDI (Common Rail Diesel Injection), (Horus, 2023) deduce que “en muchos otros sistemas electrónicos de los vehículos modernos, la ECU es esencialmente el cerebro del sistema,” ya que recopila información de diversos sensores, procesa datos y toma decisiones para controlar y optimizar el funcionamiento del motor y sus sistemas asociados, como se observa en la figura 5.

Figura 6

Unidad de control electrónica del sistema CRDI



Nota. Esta gráfica representa la ECU del sistema CRDI. Tomada de Horus, 2023.

A continuación, se proporciona información detallada sobre la Unidad Electrónica de Control en el contexto del sistema CRDI, como por ejemplo las funciones que cumple.

Funciones de la Unidad Electrónica de Control

Las funciones que cumple la ECU es importante para el correcto funcionamiento del motor Diésel, por lo que (Horus, 2023), menciona lo siguiente:

- **Gestión de la Inyección de Combustible:** La ECU controla la cantidad de combustible que se inyecta en cada cilindro y el momento preciso de la inyección. Esto se basa en datos como la velocidad del motor, la carga del motor, la temperatura del motor y la posición del acelerador, entre otros.
- **Optimización de la Combustión:** La ECU ajusta la cantidad y el momento de la inyección de combustible para lograr una combustión eficiente y una mezcla aire-combustible adecuada. Esto tiene un impacto directo en el rendimiento, la economía de combustible y las emisiones del motor.
- **Control de la Presión del Riel:** La ECU monitorea y regula la presión en el riel común para garantizar que haya suficiente combustible disponible para todos los cilindros y en todas las condiciones de operación.
- **Adaptación a las Condiciones Cambiantes:** La ECU ajusta automáticamente los parámetros de inyección y combustión en función de las variaciones en la carga del motor, la temperatura ambiente, la altitud y otros factores que afectan el rendimiento del motor.
- **Diagnóstico y Detección de Fallas:** La ECU supervisa constantemente el sistema y los componentes relacionados. Si se detecta un problema o una anomalía en el rendimiento, la ECU puede activar códigos de diagnóstico de fallas (DTC) que indican la naturaleza del problema.
- **Control de Emisiones:** La ECU juega un papel crucial en la reducción de emisiones al optimizar la combustión y el rendimiento del motor, lo que a su vez reduce la generación de contaminantes.

- **Comunicación y Compatibilidad:** En muchos vehículos modernos, la ECU también interactúa con otros sistemas, como el sistema de control de tracción, el sistema de frenos antibloqueo (ABS) y otros módulos electrónicos, para mejorar la seguridad y el rendimiento general del vehículo.

Componentes de la ECU

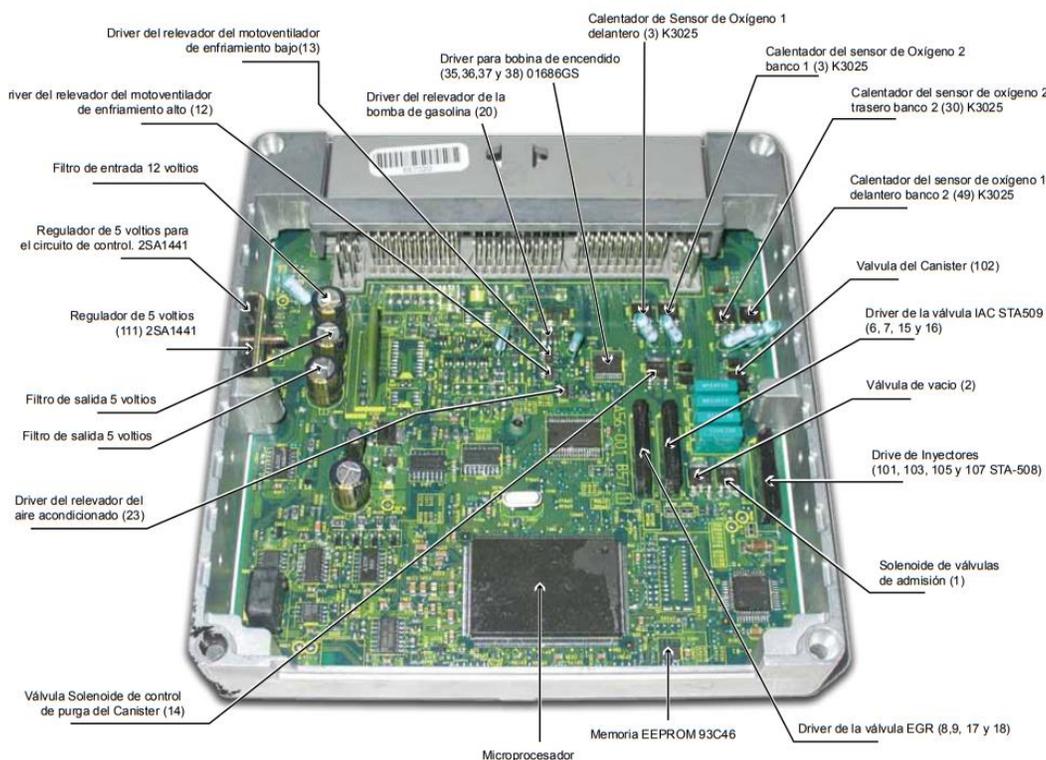
(Horus, 2023) considera que la ECU “es un componente crítico para el rendimiento, la eficiencia y la confiabilidad de los sistemas electrónicos de un vehículo, y su papel es particularmente importante en el contexto de los sistemas de inyección de combustible CRDI”, donde su capacidad para tomar decisiones en tiempo real garantiza una operación óptima del motor, el mismo que está conformada por las siguientes partes.

- **Procesador y Memoria:** La ECU está equipada con un procesador de alta velocidad y memoria para ejecutar algoritmos complejos y almacenar datos importantes.
- **Circuitos y Sensores de Entrada:** La ECU recopila datos de una variedad de sensores, como el sensor de posición del cigüeñal, el sensor de posición del acelerador, el sensor de temperatura del motor, el sensor de presión del riel, entre otros.
- **Circuitos de Salida:** La ECU envía señales a los componentes controlados, como los inyectores de combustible y la válvula de control de presión del riel, para lograr los ajustes necesarios.
- **Interfaz de Comunicación:** Algunas ECUs también tienen interfaces de comunicación para interactuar con herramientas de diagnóstico y sistemas de monitoreo remoto.

En la figura 7 se visualiza los componentes de la ECU, los mismo que permiten controlar el correcto funcionamiento del automotor.

Figura 7

Componentes del módulo de control electrónico



Nota. Esta gráfica representa los componentes del módulo de control electrónico que permite el correcto funcionamiento del motor. Tomado de Automotriz, 2020.

Sensores del Sistema CRDI

(Pedro, 2021) postula que los sensores “en un sistema de inyección directa common rail (CRDI) son componentes críticos que desempeñan un papel fundamental en el funcionamiento y el rendimiento eficiente del motor diésel”, (Encalada y Zhinin, 2022) afirma su importancia en la capacidad para recopilar datos precisos sobre diversas condiciones del motor y del entorno, lo que permite al sistema CRDI ajustar la cantidad y el momento de la inyección de combustible de manera óptima, a continuación, se mencionará la clasificación de los sensores.

Sensor de Temperatura del Refrigerante (ECT)

El ECT, mide la temperatura del líquido refrigerante que circula por el motor, la información proporcionada por este sensor es esencial para el sistema de control del motor por lo que (Mena et al., 2018) menciona lo siguiente:

El mal funcionamiento de este sensor afecta la cantidad de combustible inyectado, el momento de la ignición, la activación del ventilador de enfriamiento y otros parámetros relacionados con el rendimiento y la eficiencia del motor, por otro lado, la temperatura del refrigerante afecta la densidad del aire que entra al motor, un motor frío requiere una mezcla más rica para un arranque suave y una combustión adecuada, a medida que el motor se calienta, la mezcla puede ajustarse para ser más delgada y eficiente.

El ECT, ayuda a evitar el sobrecalentamiento del motor, si la temperatura del refrigerante se eleva a niveles peligrosos, Según (Barros y Pulla, 2019) el sistema de gestión del motor puede tomar medidas para evitar daños, como la reducción de la potencia del motor o la activación del ventilador de enfriamiento, además la temperatura del refrigerante también puede influir en la formación de óxidos de nitrógeno (NOx) en los gases de escape, los sistemas de control de emisiones pueden ajustar la inyección de combustible y el tiempo de encendido en función de la temperatura para reducir las emisiones nocivas.

Figura 8*Sensor de temperatura del líquido refrigerante*

Nota. Esta gráfica representa la ubicación del sensor de temperatura del líquido refrigerante.

Tomado de Autos, 2022.

Sensor de Presión Absoluta en el Múltiple (MAP)

El sensor MAP mide la presión absoluta del aire en el colector de admisión del motor, la información proporcionada por este sensor por lo que (Baño y Torres, 2021) menciona lo siguiente:

Es esencial para el sistema de control del motor, ya que afecta la cantidad de combustible inyectado y el tiempo de encendido, por lo tanto, la presión del aire en el colector de admisión es un indicador de la carga del motor, el sensor MAP ayuda a calcular la cantidad de aire que está ingresando al motor, lo que es crucial para determinar la cantidad adecuada de combustible que debe inyectarse para lograr una mezcla aire-combustible óptima.

La información del sensor MAP permite al sistema de control del motor ajustar la cantidad de combustible inyectado para mantener una mezcla aire-combustible apropiada

en función de la carga del motor y las condiciones de funcionamiento, al controlar la cantidad de combustible inyectado en función de la presión en el colector de admisión, el sensor MAP ayuda a optimizar el rendimiento del motor y reducir las emisiones nocivas al ajustar la mezcla de manera adecuada, el sensor MAP también juega un papel en la respuesta al acelerador, detecta los cambios en la presión del colector de admisión cuando se abre el acelerador y ayuda al sistema a ajustar la inyección de combustible para lograr una respuesta rápida y suave.

Figura 9

Sensor que controla la presión en el múltiple de admisión (MAP)



Nota. Esta gráfica representa la ubicación del sensor MAP en el automotor. Tomado de Avance, 2019.

Sensor de Presión del Riel (RPS)

Guillen y Moscoso (2019), señalan que el sensor de presión del riel de combustible es responsable de detectar la presión de combustible en el riel mediante un sistema piezoeléctrico. Este sistema cambia el voltaje reportado a la ECU en función de la presión existente, generalmente, estos sensores se ubican en el costado del riel de combustible, cuando la presión

del combustible actúa a través del conducto, empuja el elemento piezoeléctrico que contiene en su interior, generando así la señal eléctrica que es enviada a la ECU. (Autosoporte, 2021)

Así mismo, Guillen y Moscoso (2011), menciona lo siguiente:

Los fabricantes de sistemas Diésel common rail, como Bosch, Delphi y Siemens, han adoptado valores de referencia para el voltaje procesado por el sensor de presión del riel. Según estos valores, 0.5V corresponde a la presión mínima y 4.5V corresponde a la presión máxima. La señal generada por este sensor es fundamental para calcular el tiempo de inyección base en un sistema common rail. Si consideramos que la presión en el múltiple de admisión puede fluctuar entre 0 y 1600 bar, entonces la señal eléctrica producida tendrá un voltaje alto de 4.5V cuando la presión alcance su valor máximo, y un voltaje de 0.5V para valores mínimos de presión. Además, mencionan que el sensor de presión del riel opera mediante la aplicación de una resistencia eléctrica en capas sobre la membrana del sensor, la cual varía en función de los cambios en la forma de la membrana. Por tanto, cualquier alteración en la presión del sistema producirá una variación en la forma de la membrana y, por consiguiente, en el valor de la resistencia eléctrica, lo que se traducirá en un cambio de tensión.

Figura 10*Sensor de presión del riel (RPS)*

Nota. Esta gráfica representa la ubicación del sensor del riel. Tomado de Automotriz, 2020.

Sensor de Posición del Cigüeñal (CKP)

En un motor diésel, el sensor CKP es crucial para determinar el momento preciso en el que se debe inyectar el combustible en la cámara de combustión, la sincronización precisa de la inyección de combustible es esencial para asegurar una combustión eficiente y un rendimiento óptimo del motor, aunque los motores diésel no utilizan bujías para encender la mezcla de aire y combustible, algunos sistemas diésel modernos pueden contar con sistemas de ignición por compresión controlada electrónicamente, en estos casos, el sensor CKP también puede ser utilizado para sincronizar el proceso de encendido. (Kim et al., 2021)

Otro autor menciona que (Kim et al., 2020) el sensor CKP proporciona información sobre la velocidad de rotación del cigüeñal, lo que es esencial para el control de la velocidad del motor y para el funcionamiento adecuado de sistemas como el control de cruce, el sistema de gestión del motor utiliza la información del sensor CKP para detectar posibles problemas en el motor, como desalineación o fallos en la sincronización del sistema de distribución.

Durante el proceso de arranque del motor diésel, el sensor CKP proporciona información sobre la velocidad de rotación del cigüeñal, lo que ayuda a coordinar el proceso de arranque y a garantizar un arranque suave y efectivo.

Figura 11

Ubicación del sensor CKP en motores Diésel



Nota. Esta gráfica representa la ubicación del sensor CKP. Tomado de Roje, 2022.

Actuadores del Sistema CRDI

En un sistema de inyección directa common rail (CRDI), los actuadores son componentes que realizan acciones físicas basadas en las instrucciones del sistema de control del motor, estos actuadores son responsables de llevar a cabo varias funciones para garantizar la inyección precisa y controlada de combustible, continuación se menciona algunos de los actuadores comunes en un sistema CRDI

Inyectores

Como afirma (Rodrigo et al., 2019) los inyectores en el sistema CRDI son los encargados de suministrar la cantidad necesaria de combustible al motor para que se realice la combustión, estos inyectores están controlados electrónicamente y se abren y cierran en milisegundos para inyectar la cantidad precisa de combustible en cada ciclo de combustión, por lo tanto (Cadena y Alejandro, 2018) afirma que los inyectores pulverizan el combustible en la cámara de

combustión del motor para que pueda mezclarse con el aire y generar la explosión necesaria para que el motor funcione

(Palacios, 2021) sostiene que los inyectores diésel están ubicados en el cilindro del motor y el combustible se inyecta a través de la cámara de combustión, los inyectores son uno de los componentes clave del sistema de inyección de los motores diésel y son esenciales para el correcto funcionamiento del motor, si los inyectores fallan, pueden causar varios problemas, como una reducción en la potencia del motor, aumento del consumo de combustible y emisiones contaminantes.

Figura 12

Inyector del sistema CRDI



Nota. Esta gráfica representa uno de los inyectores que utiliza en sistema CRDI. Tomado de Pedro, 2021.

Válvula de Regulación de Presión (DRV)

La Válvula de Regulación de Presión (DRV) en el sistema CRDI es un componente que regula la presión del combustible en el riel común, esta válvula puede ser un elemento de la bomba de alta o instalarse en el propio riel.(Cobo, 2020)

La DRV permite que fluya más o menos combustible de alta presión en el sistema de fugas, incrementando o reduciendo la presión de combustible, en función de la presión de la DRV, se permite o no la comunicación entre el circuito de alta y baja presión, la DRV tiene dos circuitos de regulación, uno eléctrico que trabaja lentamente para ajustar un valor de presión

medio variable en el riel y otro mecánico-hidráulico que trabaja más rápido para compensar las oscilaciones de presión de alta frecuencia. (Albarracín y Huiñisaca, 2022)

La DRV es especialmente importante en sistemas con CP3 y regulación de un solo punto para evitar sobrepresiones en el riel, en resumen, la DRV es un componente clave en el sistema CRDI que regula la presión del combustible en el riel común para garantizar un funcionamiento óptimo del motor. (Tigre y Villa, 2019)

Figura 13

Válvula DRV del sistema de inyección CRDI



Nota. Esta gráfica representa la Válvula DRV del sistema de inyección CRDI. Tomado de Avance, 2018.

Válvula de Recirculación de Gases de Escape (EGR)

La Válvula de Recirculación de Gases de Escape (EGR) en el sistema CRDI es un componente que tiene como objetivo reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) en los motores de combustión, la EGR funciona extrayendo los gases de escape de los cilindros y recirculándolos de nuevo en la cámara de combustión a través de la válvula EGR. (Iza, 2023)

Al recircular los gases de escape, se reduce la cantidad de oxígeno disponible en la cámara de combustión, lo que disminuye la temperatura de combustión y reduce la producción

de NOx2, la válvula EGR puede ser de control eléctrico o neumático y puede tener conexiones para refrigeración, en algunos vehículos diésel, se utilizan "mariposas de regulación" en el canal de admisión para proporcionar la diferencia de presión necesaria entre el lado de los gases de escape y el de aspiración para obtener las elevadas tasas que se requieren en la recirculación de los gases de escape.(Kim et al., 2021)

Los radiadores EGR se utilizan porque las normas para emisiones de gases de escape actuales ya no pueden cumplirse con la recirculación simple de los gases de escape.

Figura 14

Válvula EGR del Hyundai KIA



Nota. Esta gráfica representa la Válvula EGR del Hyundai KIA. Tomado de Villacis, 2021.

Bomba de Alta Presión

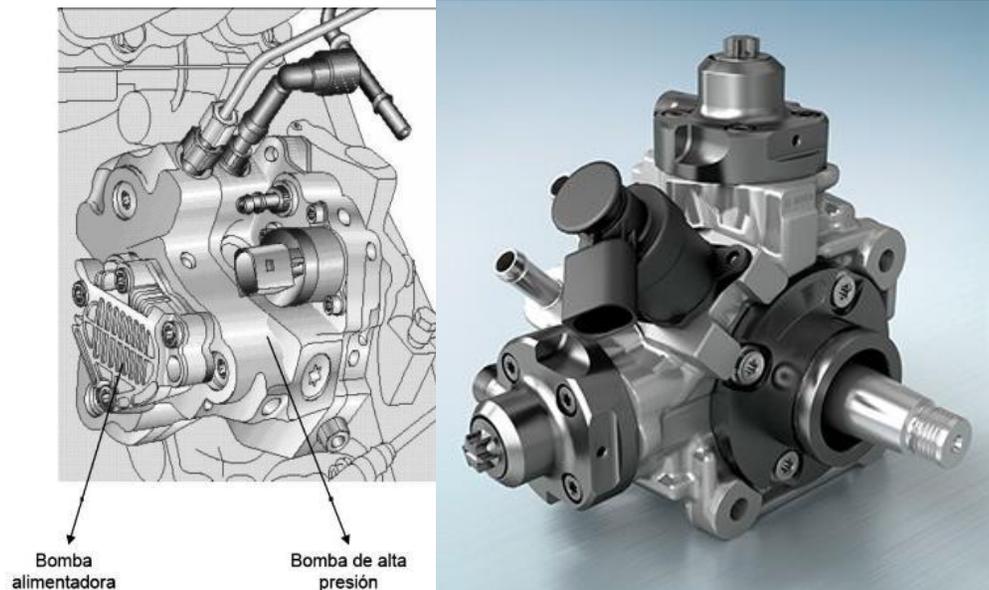
La bomba de alta presión en el sistema CRDI es un componente clave que comprime el combustible y lo suministra en la cantidad necesaria, Suministra el combustible de forma continua al acumulador de alta presión (raíl), lo que permite mantener la presión del sistema, la bomba de alta presión es capaz de mantener la presión necesaria incluso a revoluciones de motor

bajas, ya que la generación de presión no está relacionada con las revoluciones del motor.(Avance, 2018), menciona lo siguiente:

La mayoría de sistemas Common Rail están equipados con bombas de pistones radiales, los fabricantes más importantes de estos sistemas son Bosch, Siemens, Delphi y Denso, la bomba de alta presión es supervisada por la correspondiente unidad de control del sistema de nivel superior, y los fallos que se producen en la presión del sistema se detectan mediante sensores de presión y se almacenan en la memoria de averías de la unidad de control, con un dispositivo de diagnóstico adecuado, se pueden leer los códigos de avería y los parámetros del sistema y utilizarlos para la posterior localización de averías.

Figura 15

Bomba de alta presión



Nota, Esta gráfica representa la bomba de alta presión tipo Bosch, Siemens, Delphi y Denso.

Tomado de Avance, 2018.

Motor Paso a Paso

El motor paso a paso en el sistema CRDI es un actuador electromecánico por lo que (Cadena y Alejandro, 2018) afirma lo siguiente:

Este actuador controla la apertura y cierre de las válvulas de admisión y escape, estos actuadores permiten ajustar el tiempo de apertura de las válvulas para optimizar la eficiencia y el rendimiento del motor. El motor paso a paso es controlado por la unidad de control del motor y se ajusta automáticamente para adaptarse a las diferentes condiciones de conducción, el motor paso a paso es un componente importante en el sistema CRDI, ya que ayuda a mejorar la eficiencia del motor y reducir las emisiones contaminantes, el motor paso a paso es un actuador electromecánico que controla la apertura y cierre de las válvulas de admisión y escape en el sistema CRDI para mejorar la eficiencia del motor y reducir las emisiones contaminantes.

Figura 16

Válvula controladora de apertura de válvula de admisión y escape



Nota. Esta gráfica representa la Válvula controladora de apertura de válvula de admisión y escape Tomado de Automotriz, 2020.

Simulador de Fallas en el Sistema CRDI

El simulador de fallas en el sistema Common Rail Direct Injection (CRDI) reviste una importancia fundamental en la ingeniería automotriz y en el desarrollo de tecnologías de inyección diésel avanzadas. esta herramienta ofrece una serie de ventajas significativas que contribuyen a la mejora del diseño, funcionamiento y confiabilidad del sistema CRDI en vehículos. A continuación (Automotriz, 2020) destaca las razones clave por las cuales un simulador de fallas en el sistema CRDI es de gran relevancia.

- **Evaluación de Respuesta ante Fallos Controlados:** El simulador de fallas permite someter al sistema CRDI a una variedad de condiciones de fallo controladas. Esto proporciona una comprensión profunda de cómo el sistema reacciona y se adapta en situaciones adversas, lo que es crucial para identificar debilidades y áreas de mejora en el diseño y programación de los actuadores.
- **Perfeccionamiento de Actuadores y Componentes:** Al emular fallas específicas en los actuadores, el simulador brinda la oportunidad de optimizar su diseño y programación para que puedan operar eficientemente incluso en condiciones no ideales. Esto conduce a actuadores más robustos y confiables que mantienen un rendimiento constante a lo largo del tiempo.
- **Desarrollo de Estrategias de Diagnóstico:** El conocimiento adquirido mediante el simulador de fallas facilita la mejora de las estrategias de diagnóstico y detección temprana de problemas en el sistema CRDI. Al comprender cómo se manifiestan las fallas y cómo se comporta el sistema en tales situaciones, es posible diseñar métodos más efectivos para identificar y resolver problemas.

- **Reducción de Riesgos y Costos:** La capacidad de someter al sistema a condiciones de falla controladas en un entorno de simulación permite anticipar y mitigar posibles problemas antes de que ocurran en situaciones reales. Esto reduce el riesgo de daños costosos en componentes y disminuye los costos asociados con reparaciones y mantenimiento correctivo.
- **Formación y Entrenamiento:** Un simulador de fallas es una herramienta valiosa para la formación y el entrenamiento de técnicos automotrices. Permite que los profesionales adquieran experiencia práctica en la identificación y resolución de problemas sin poner en riesgo vehículos reales.
- **Contribución a la Innovación:** Al comprender a fondo el comportamiento del sistema CRDI en situaciones adversas, los fabricantes y desarrolladores pueden innovar y crear soluciones más avanzadas y adaptadas a las condiciones reales de uso, impulsando así la evolución tecnológica en la industria automotriz.

Metodología y Desarrollo del Proyecto

El método usado para la investigación se encamina mediante tres etapas por lo que (Sánchez, 2012) menciona que son “exploratoria, descriptiva y experimental”. Tal como se evidencia, en la investigación exploratoria muestra aspectos relacionados con un problema particular, evento o situación poco conocida. En la investigación descriptiva se profundiza un poco más y se logra caracterizar la situación u objeto de estudio. (Passo et al., 2019)

El motor Diésel equipado con el sistema Common Rail Direct Injection (CDRI) ha revolucionado el mundo del transporte con su eficiencia y rendimiento sobresalientes, por lo que (Automotriz, 2020) menciona que “Este innovador sistema de inyección de combustible permite una mejor gestión de la combustión, reduciendo las emisiones y aumentando la economía de combustible”. Gracias a la tecnología CDRI, los motores Diésel son la elección ideal para una amplia gama de vehículos de transporte, desde automóviles hasta camiones y trenes, ofreciendo un equilibrio excepcional entre potencia y eficiencia. (Villacis, 2021)

Este simulador de fallas para actuadores del sistema CRDI del vehículo Chevrolet DMAX del año 2019, se realizó en base a los componentes y funcionamiento del motor Diésel con este sistema de inyección Diésel mencionado anteriormente. De igual manera este se dividió en dos secciones, una sección fue montar el motor de combustión interna a Diésel en una estructura, y el diseño electrónico del módulo de fallas, por lo tanto, el simulador permitirá al usuario seleccionar diferentes tipos de fallas que se pueden encontrar en los actuadores del sistema CRDI, como problemas en la válvula de inyección, sensor de presión del riel, actuadores del turbo, entre otros, donde se desarrolla el trabajo en base al funcionamiento real de estos componentes en el simulador de fallas.

Selección del Área o Ámbito de Estudio

El presente proyecto es realizado y presentado a los estudiantes de la carrera de mecánica automotriz y autoridades del Instituto Tecnológico Universitario Vida Nueva.

En la presente investigación se adquirió el motor de la Chevrolet DMAX 2019 a diésel con sistema CRDI, como se observa en la figura 17.

Figura 17

Motor de la Chevrolet DMAX 2019 a diésel



Nota. Esta gráfica representa el motor de la Chevrolet DMAX 2019, el cual servirá para el desarrollo del simulador de fallas.

Adicional, conocer los datos técnicos específicos del motor CRDI del vehículo Chevrolet DMAX 2019 es esencial para diseñar un simulador de fallas efectivo que pueda replicar de manera precisa las condiciones del mundo real, a continuación, en la tabla 2 se muestra las especificaciones técnicas del motor.

Tabla 2*Especificaciones técnicas del motor Diésel*

Ficha técnica del motor diésel	
Motor	2,5L Turbo Diésel CRDI
Válvulas	16
Torque (Nm@rpm)	320 @ 1800
Alimentación	Bomba inyección directa de alta presión
Diámetro x Carrera	93 X 92
Relación Compresión	18.5

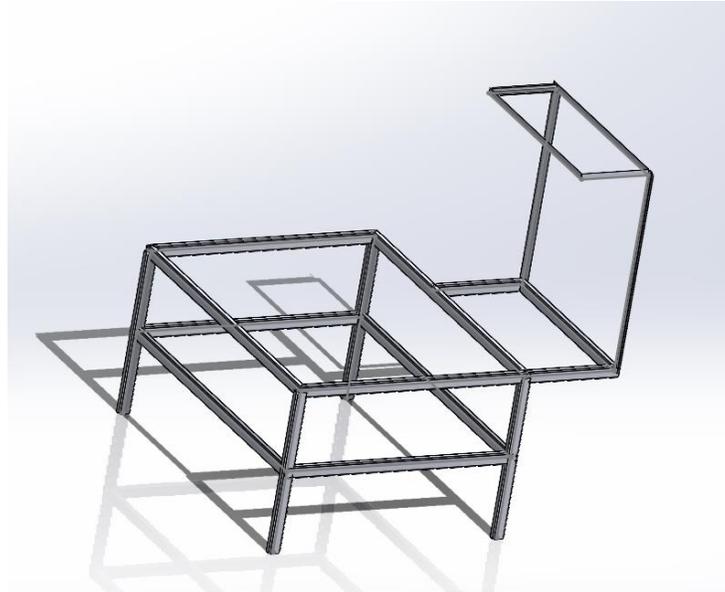
Nota. En esta tabla se puede apreciar los datos técnicos del motor a Diésel con inyección CRDI.

Plano Estructural para el Motor Diésel

La estructura metálica sirve como la base sólida del motor, proporcionando el soporte necesario para mantener todos los componentes en su lugar, sin una estructura robusta, los componentes del motor podrían no estar adecuadamente alineados, lo que podría llevar a problemas graves de funcionamiento, cabe recalcar que el funcionamiento de un motor implica la generación de fuerzas, vibraciones y movimientos internos significativos, La estructura metálica diseño para resistir estas fuerzas y evitar deformaciones o daños, lo que garantiza que el motor funcione de manera estable y segura, es por este motivo que la misma se realizó el modelo CAD tomando en cuenta el peso del motor para la selección correcta del material, en la figura 18 se observa el modelado de la estructura.

Figura 18

Modelado de la estructura para el motor de la Chevrolet DMAX 2019 a diésel



Nota. Esta gráfica representa el modelado de la estructura para el motor de la Chevrolet DMAX 2019.

Armado la Estructura

Una vez finalizado el modelado CAD de la estructura en donde se definió las dimensiones y el peso del motor que la estructura debe soportar, considerando las cargas que la estructura tendrá que soportar, incluyendo el peso del motor, las vibraciones, y cualquier carga adicional (por ejemplo, accesorios del motor), se procedió a corta y da forma a los perfiles metálicos según el diseño, Asegurándose de que los cortes sean precisos para lograr una estructura estable, como se observa en la figura 19.

Figura 19

Corte de los perfiles metálicos



Nota. Esta gráfica representa el corte de los perfiles para formar la estructura del motor de la Chevrolet DMAX 2019.

Por consiguiente, se procedió a unir las piezas de la estructura metálica mediante soldadura, asegurándose de que las soldaduras sean sólidas y resistentes, para que el motor pueda colocarse de manera segura y estable, como se observa en la figura 20.

Figura 20

Unión de las piezas de la estructura metálica mediante soldadura



Nota. Esta gráfica representa la unión de las piezas de la estructura metálica mediante soldadura para formar la estructura del motor de la Chevrolet DMAX 2019.

Se Realizó una inspección exhaustiva de la estructura para asegurarse de que esté libre de defectos para que la misma soporte el peso y las cargas previstas, como se observa en la figura 21.

Figura 21

Inspección exhaustiva de la estructura



Nota. Esta gráfica representa la inspección del armado de la estructura metálica del motor de la Chevrolet DMAX 2019 a Diésel.

Para finalizar esta etapa se aplicó una capa de pintura a la estructura metálica con la finalidad de protegerla contra la corrosión, tomando en cuenta que va a estar expuesta al aire y la humedad, causando que el metal se oxide y se deteriore con el tiempo, cabe recalcar que la pintura actuará en la estructura como una barrera que impide que el oxígeno y la humedad entren en contacto directo con la superficie del metal, lo que ayuda a prevenir la corrosión, además se realizó el montaje del motor Diésel en la estructura para continuar con el proceso de las conexiones eléctricas, como se observa en la figura 22.

Figura 22

Capa de pintura a la estructura metálica y montaje del motor



Nota. Esta gráfica representa la aplicación de la capa de pintura en la estructura metálica y el montaje del motor de la Chevrolet DMAX 2019 a Diésel.

Conexiones Eléctricas del Motor de la Chevrolet DMAX 2019 a Diésel

En este apartado se realizó las conexiones del motor Diésel con sistema de combustible CRDI, tomando en cuenta que son esenciales para el funcionamiento adecuado, cualquier error en las conexiones eléctricas podría afectar el rendimiento del motor y la eficiencia del sistema CRDI, ya que es un sistema de inyección de combustible de alta presión y electrónicamente controlado, como se observa en la figura 23.

Figura 23

Conexiones eléctricas para el funcionamiento del motor



Nota. Esta gráfica representa las conexiones eléctricas del motor de la Chevrolet DMAX 2019 a Diésel.

Además, se realizó una inspección de las posibles conexiones eléctricas incorrectas o defectuosas ya que pueden representar un riesgo de seguridad, esto es especialmente importante en el motor, ya que problemas eléctricos pueden causar fallos en el motor y podría no funcionar, como se observa en la figura 24.

Cabe recalcar que las conexiones eléctricas bien hechas aseguran la durabilidad y fiabilidad del motor y del sistema CRDI, los problemas eléctricos pueden causar daños a largo plazo en el motor.

Figura 24

Inspección de las conexiones eléctricas del motor



Nota. Esta gráfica representa la inspección de las conexiones eléctricas del motor de la Chevrolet DMAX 2019 a Diésel.

Armado de la Estructura de Madera para Motor de la Chevrolet DMAX 2019 a Diésel

A continuación, se instaló la estructura de madera del motor, en donde se va a ubicar el salpicadero, el cual tendrá la función de activar todos los elementos eléctricos y electrónicos para que el motor arranque, además se montará en la misma el módulo de fallas, el cual permitirá simular diferentes anomalías de funcionamiento del motor, como se observa en la figura 25.

Figura 24

Armado de la estructura de madera



Nota. Esta gráfica representa el armado de la estructura de madera del motor de la Chevrolet DMAX 2019.

Diseño de Módulo de Fallas

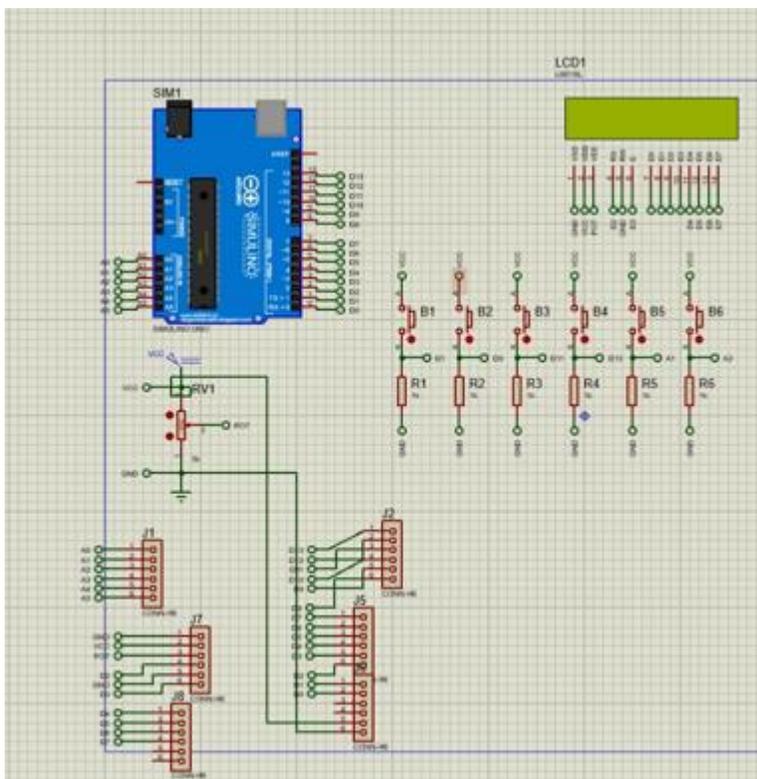
El módulo de fallas diseñado se basó en la versatilidad del Arduino Uno, un microcontrolador con 14 salidas y un voltaje de salida comprendido entre 0 y 5 voltios, la programación del módulo se llevó a cabo mediante el entorno de desarrollo Arduino, lo que permitió la activación de hasta 6 salidas. Estas salidas se destinaron específicamente a interactuar con 3 sensores y 3 actuadores para la detección y respuesta a posibles fallas.

En el proceso de diseño, se asignó cuidadosamente cada salida para garantizar un monitoreo eficiente, tres de las salidas se conectaron a sensores especializados para la detección de fallos, mientras que las otras tres estaban destinadas a controlar actuadores que responderían a las señales generadas por los sensores, este enfoque modular proporcionó una estructura flexible que permitió una fácil expansión o modificación del sistema en el futuro.

La elección de Arduino Uno no solo proporcionó una interfaz amigable para la programación, sino que también garantizó la estabilidad y confiabilidad del módulo, además, el rango de voltaje de salida de 0 a 5 voltios permitió una amplia compatibilidad con diversos componentes electrónicos, como se observa en la figura 25.

Figura 25

Diseño electrónico del módulo



Nota. Esta gráfica representa el diseño del módulo de fallas para el motor de la Chevrolet DMAX.

Ensamblaje de los Componentes Electrónicos del Módulo de fallas

Después de cargar el programa en la placa de Arduino, se procedió al ensamblaje de los componentes electrónicos en una caja protectora, esta caja plástica fue seleccionada para albergar y resguardar de manera eficiente todos los elementos del módulo de fallas, en su configuración, se incluyó una pantalla LED para la visualización de información, la cual se conectó a través de los puertos de comunicación J5, J6 y J7, además, se incorporó un potenciómetro en el puerto J8 para permitir la regulación de la intensidad de la pantalla LED, asegurando una visualización óptima.

En la parte frontal de la caja se dispusieron dos conjuntos de conectores, J1 para las entradas botoneras y J2 para las salidas botoneras, estos conectores facilitan la interacción con el módulo, permitiendo la conexión de pulsadores y la activación de salidas respectivamente, este diseño modular optimiza la disposición de las entradas y salidas, proporcionando una interfaz de usuario intuitiva.

El ensamblaje incluyó también la integración de 6 pulsadores en la parte frontal de la caja, conectados a las entradas botoneras (J1), estos pulsadores son fundamentales para la interacción directa con el sistema, permitiendo la introducción manual de datos o la activación de funciones específicas.

Adicionalmente, se aseguró la conexión de la caja al Arduino mediante un cable de alimentación específico, garantizando así la continuidad eléctrica y la alimentación adecuada de la placa, como se observa en la figura 26.

Figura 26

Ensamblaje de los componentes electrónicos del módulo de fallas



Nota. Esta gráfica representa el ensamblaje de los componentes electrónicos del módulo de fallas para el motor de la Chevrolet DMAX.

Montaje e Instalación del Módulo de fallas en la Estructura del Motor

El montaje e instalación del módulo de fallas en la estructura del motor de la Luv DMAX del año 2019 con inyección diésel, se llevó a cabo siguiendo un proceso cuidadoso y meticuloso, inicialmente, se ubicó un espacio estratégico dentro del compartimento del motor que permitiera un fácil acceso al módulo y, al mismo tiempo, asegurara una conexión eficiente con los componentes relevantes del vehículo.

Una vez identificado el espacio adecuado, se fijó la caja protectora que contenía el módulo de fallas, la fijación se realizó de manera segura, garantizando la estabilidad del conjunto y su resistencia ante posibles vibraciones o condiciones adversas en el entorno del motor.

En el proceso de conexión, se establecieron las interfaces necesarias entre el módulo y los sistemas eléctricos de la Luv DMAX, se conectaron los cables de alimentación, tomando en consideración las especificaciones de voltaje y corriente del sistema del vehículo, además, se integraron los conectores J1 y J2, que corresponden a las entradas y salidas botoneras respectivamente, facilitando así la interacción del módulo con los componentes existentes del motor.

La pantalla LED y el potenciómetro se conectaron a los puertos designados (J5, J6, J7 y J8) para asegurar su correcto funcionamiento y permitir la regulación de la intensidad de la pantalla, adaptándola a las condiciones de visibilidad específicas del entorno del motor.

Finalmente, se realizaron pruebas de funcionalidad para verificar la correcta integración del módulo de fallas en el sistema de la Luv DMAX, se aseguró que todas las conexiones estuvieran operativas y que el módulo respondiera adecuadamente a las condiciones de funcionamiento del motor, proporcionando así un sistema de monitoreo de fallas eficiente y fiable en la Luv DMAX del año 2019 con inyección diésel, como se observa en la figura 27

Figura 27

Montaje del módulo de fallas en la estructura del motor



Nota. Esta gráfica representa el montaje del módulo de fallas para el motor de la Chevrolet DMAX.

Propuesta

A través de esta investigación se logra mostrar los rendimientos del proceso, en base a técnicas de revisión bibliográfica, selección e implementación de materiales y pruebas en las cuales se obtuvieron los siguientes resultados.

Antes de utilizar el módulo de fallas, medir los voltajes en los actuadores proporciono una línea de base. Esto ayudo a comprender el estado normal del sistema y a identificar cualquier discrepancia cuando se comparan con los valores después de la intervención del módulo de fallas, evaluando la efectividad de la herramienta en la corrección de problemas, si los voltajes se estabilizan o vuelven a valores normales, esto sugiere que el módulo ha abordado con éxito las fallas simuladas, como se observa en la figura 28.

Figura 28

Pruebas iniciales del módulo de fallas



Nota. Esta gráfica representa la inspección inicial del funcionamiento del simulador de fallas para actuadores del sistema CRDI del vehículo Chevrolet Dmax del año 2019.

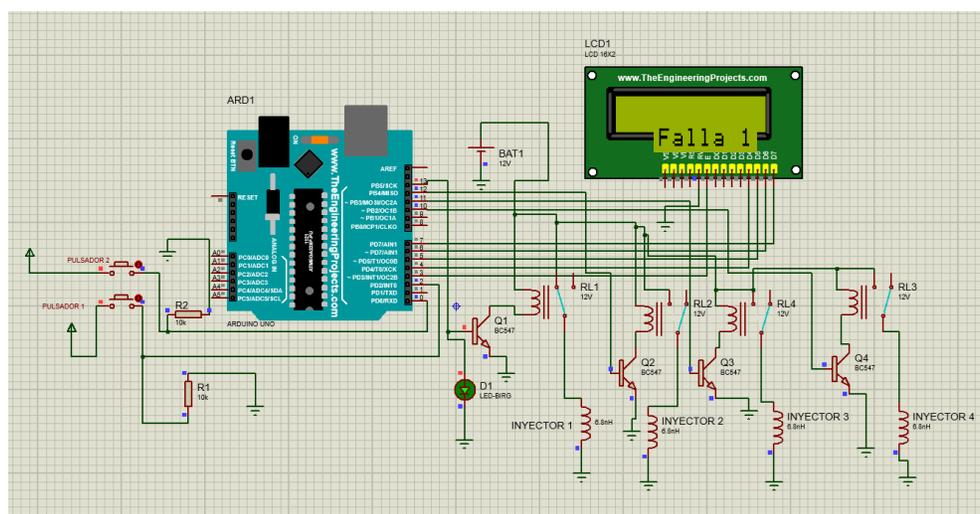
A continuación, se presenta los lineamientos para la ejecución de las fallas del módulo de entrenamiento.

Falla 1: Simulación de Inyección Desincronizada

Para simular la falla de Inyección Desincronizada en el módulo de fallas, se debe seguir un procedimiento específico, inicialmente, es necesario pulsar el botón designado como Pulsador 1 en el panel de control, luego, en el display, se debe seleccionar la opción correspondiente a Falla, esta acción desactivará la señal de activación del inyector que normalmente proviene de la ECU (Computadora del Auto) o Centralita de Motor, es importante destacar que los inyectores Diésel Common Rail pueden operar a voltajes de hasta 110 Voltios, y su activación y tiempo de apertura están controlados por la ECU, como se observa en la figura 29.

Figura 29

Circuito de la falla 1



Nota. Esta gráfica representa el circuito de la falla de inyección desincronizada

Los daños eléctricos asociados con esta falla se manifiestan de diversas maneras, siendo comunes los siguientes indicadores:

- Inyector sin señal de activación.
- Problemas en el conector del inyector que causan desconexión intermitente.
- Problemas de conexión entre la bobina del inyector y la masa.

Figura 30

Pruebas de simulación de inyección de sincronizada



Nota. Esta gráfica representa el funcionamiento del inyector al activar y desactivar el simulador de fallas en el motor.

Se observó que la introducción de desincronización en la señal de control de los inyectores resultó en un patrón de inyección irregular, el motor mostró dificultades para mantener una marcha suave y se evidenció un aumento en las vibraciones, estos resultados sugieren un problema potencial en la sincronización de los inyectores, al simular estas variaciones, se identificaron cambios significativos en la respuesta del motor por lo que afectó la eficiencia de combustión, manifestándose en un aumento en las emisiones y una disminución en el rendimiento del motor, como se observa en la tabla 3.

Tabla 3

Estado de conexión del inyector

Inyector	Voltaje de Activación (V)	Estado de Conexión	Estado de la Bobina	Estado del Conector
Inyector 1	0 (desactivado)	Desconectado intermitentemente	Sin señal de activación	Con problemas
Inyector 2	12 (activado)	Conectado	Señal de activación	Sin problemas
Inyector 3	0 (desactivado)	Desconectado intermitentemente	Sin señal de activación	Con problemas

Inyector	Voltaje de Activación (V)	Estado de Conexión	Estado de la Bobina	Estado del Conector
Inyector 4	12 (activado)	Conectado	señal de activación	Sin problemas

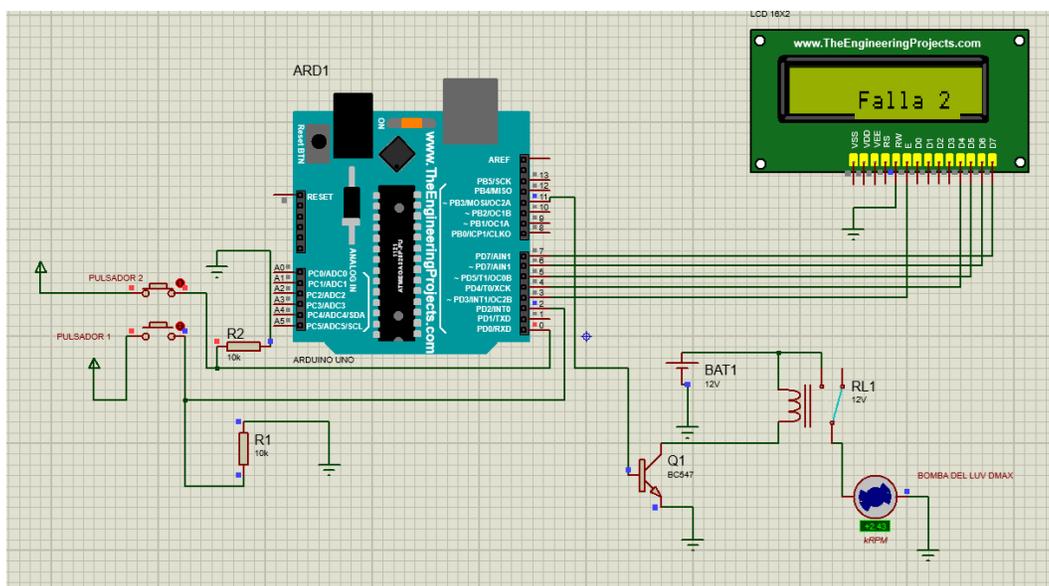
Nota. Esta tabla representa el estado de conexión del inyector activando el simulador de fallas

Falla 2: Simulación de Pérdida de Presión en la Bomba

En el proceso de simulación de la pérdida de presión en la bomba, primero se llevó a cabo la desactivación de la falla 1, presionando el pulsador uno. Este paso resultó esencial para permitir la ejecución de la siguiente fase de la simulación, a continuación, se procedió a activar la falla 2, presionando el pulsador dos y seleccionando la falla correspondiente, esta acción desencadenó una serie de eventos simulados, entre los que se incluyó la interrupción y posterior restauración de la alimentación de la bomba eléctrica, de esta manera, se logró simular con precisión una situación en la que la bomba principal (rotativa) se veía afectada, imitando la pérdida de presión en el sistema como si la bomba de combustible estuviera experimentando una falla, como se observa en la figura 31.

Figura 31

Circuito de la falla 2



Nota. Esta gráfica representa el circuito de la falla de simulación de pérdida de presión.

Este proceso permitió evaluar y estudiar la respuesta del sistema ante condiciones adversas, brindando valiosa información sobre su funcionamiento en situaciones de emergencia simuladas, como se observa en la figura 32.

Figura 32

Pruebas de simulación de Pérdida de Presión en la Bomba



Nota. Esta gráfica representa el funcionamiento de la bomba al activar y desactivar el simulador de fallas en el motor.

Los resultados obtenidos mediante el uso del simulador de fallas en la bomba de alta presión revelaron aspectos críticos del rendimiento del sistema de inyección diésel. La simulación de pérdida de presión en la bomba indicó posibles fallos en su eficiencia, evidenciados por una disminución significativa en la presión del riel común. Variaciones en la presión generada y la simulación de condiciones de presión excesiva resaltaron la importancia de mantener una presión constante para garantizar una inyección eficiente de combustible. Además, las pruebas de sincronización y de fallas en la válvula de alivio señalaron la necesidad de mantener una operación precisa y confiable de la bomba. Estos resultados proporcionan valiosa

información para el diagnóstico preciso y la subsiguiente corrección de posibles problemas en la bomba de alta presión, asegurando así un rendimiento óptimo del sistema CRDI en el motor diésel, como se observa en la tabla 4.

Tabla 4

Resultados de la simulación de fallas de presión de la bomba

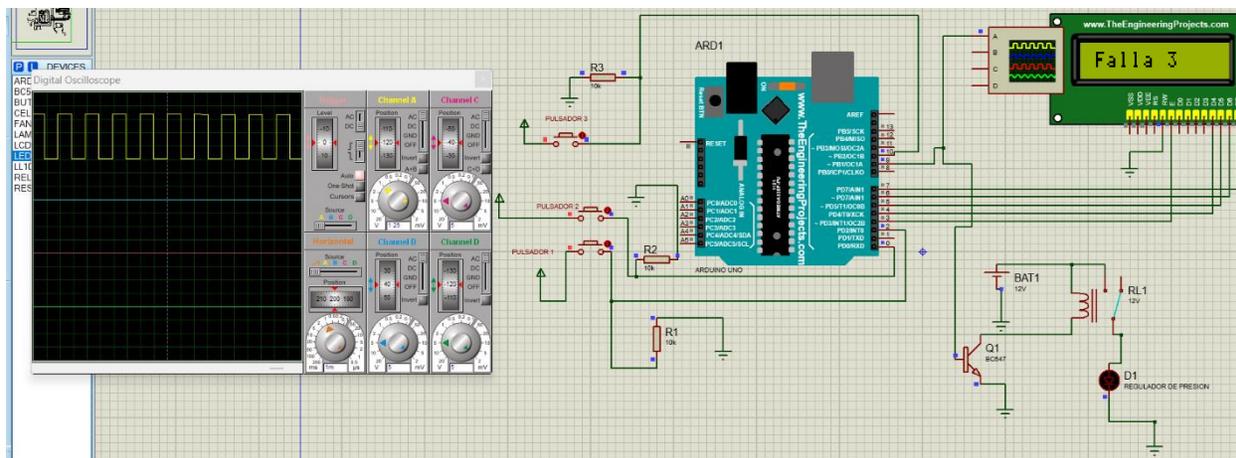
Intento	Falla 1 Desactivada	Falla 2 Activada	Pérdida de Presión (psi)	Voltaje de la Bomba Eléctrica (V)
1	Si	No	0	12,5
2	Si	Si	5	10,8
3	Si	Si	8	9,5
4	No	N/A	N/A	N/A
5	Si	Si	10	8,9

Nota. Esta tabla representa la pérdida de presión y voltaje de la bomba al activar la falla 2.

Falla 3: Simulación de la Respuesta a la Señal de Control

La simulación de la falla, respuesta a la señal de control, se llevó a cabo mediante un proceso controlado y preciso, desactivando la falla 2, y pulsando el botón designado como pulsador 3, a la vez seleccionando la opción correspondiente denominada Falla 3 en el display, este procedimiento permitió simular las condiciones descritas en el enunciado, donde se aborda la funcionalidad de la válvula de control de presión en el sistema de inyección de combustible.

Durante la simulación, al restaurar la señal al regulador de presión, se restableció la operación normal del sistema de inyección, permitiendo una respuesta controlada y coordinada entre el sensor de presión del riel y el regulador de la bomba de combustible, se evidenció que la válvula de control de presión, al operar en un ciclo de trabajo de entre el 5% y el 95%, desempeña un papel crucial en la regulación precisa de la presión de combustible en el riel, como se muestra en la figura 32.

Figura 32*Circuito de la falla 3*

Nota. Esta gráfica representa el circuito de la falla de simulación de la respuesta a la señal de control.

La pérdida de la señal al regulador de presión, simulada y posteriormente restaurada, demostró cómo el sistema podría funcionar de manera aproximada si no se mantiene la adecuada coordinación entre la válvula y la unidad de control del motor (ECM), la gestión óptima de la presión de inyección, ajustada según la velocidad del motor y las condiciones de carga, es esencial para el rendimiento eficiente del motor, como se observa en la figura 33.

Figura 33*Pruebas de simulación de la pérdida de respuesta a la Señal de Control*

Nota. Esta gráfica representa perdida de respuesta a la señal de control.

En la tabla 5 se determina las condiciones de pérdida de respuesta a la señal de control para la falla Respuesta a la Señal de Control en los cuatro inyectores de un sistema de inyección de combustible, determinado lo siguiente:

Tabla 5

Resultados de las condiciones de pérdida de respuesta a la señal de control

Inyector	Estado de la Válvula de Control de Presión	Estado del Ciclo de Trabajo (%)	Estado del Regulador de Presión
Inyector 1	Abierto (predeterminado)	100	Con problemas
Inyector 2	Abierto (predeterminado)	100	Con problemas
Inyector 3	Abierto (predeterminado)	100	Con problemas
Inyector 4	Abierto (predeterminado)	100	Con problemas

Nota. Esta tabla representa las condiciones de pérdida de respuesta a la señal de control (falla 3)

A continuación, se menciona lo que establece la tabla descrita anteriormente:

- **Inyector:** Identifica cada uno de los cuatro inyectores (Inyector 1, Inyector 2, Inyector 3, Inyector 4).
- **Estado de la Válvula de Control de Presión:** Representa el estado de la válvula que controla la presión del combustible en el riel. En este caso, debido a la pérdida de la señal de control, la válvula se encuentra en un estado abierto predeterminado, lo que significa que está completamente abierta.
- **Estado del Ciclo de Trabajo (%):** Muestra el ciclo de trabajo de la válvula, que en esta situación de pérdida de señal está operando al 100%. Un ciclo de trabajo al 100% indica que la válvula está completamente abierta.

- Estado del Regulador de Presión: Indica que el regulador de presión asociado a la válvula de control presenta problemas debido a la pérdida de la señal de control. Esto puede manifestarse en un funcionamiento inadecuado del sistema de inyección de combustible.

Falla 4: Prueba de Sincronización con la Unidad de Control del Motor (ECU)

La desactivación controlada de la falla 3 y la posterior pulsación del botón 4, llama a la falla 4 denominado la Prueba de Sincronización con la Unidad de Control del Motor (ECU), este ajuste específico en el proceso del simulador de fallas permite una evaluación más completa y específica de los componentes del sistema CRDI en la Chevrolet DMAX del año 2019.

Los resultados derivados de la utilización del simulador de fallas, centrado en el Sensor de Presión del Riel en el sistema CRDI, arrojaron información vital sobre el papel esencial de este componente, durante la simulación de variaciones en las condiciones de presión en el riel común, evidenciando una respuesta inmediata y precisa por parte del sensor, este hallazgo sugiere la capacidad efectiva del sensor para detectar cambios en la presión del sistema, una función crítica para el control preciso de la inyección de combustible, como se observa en la figura 34.

Figura 34

Pruebas de simulación de la pérdida de sincronización con la Unidad de Control del Motor (ECU).

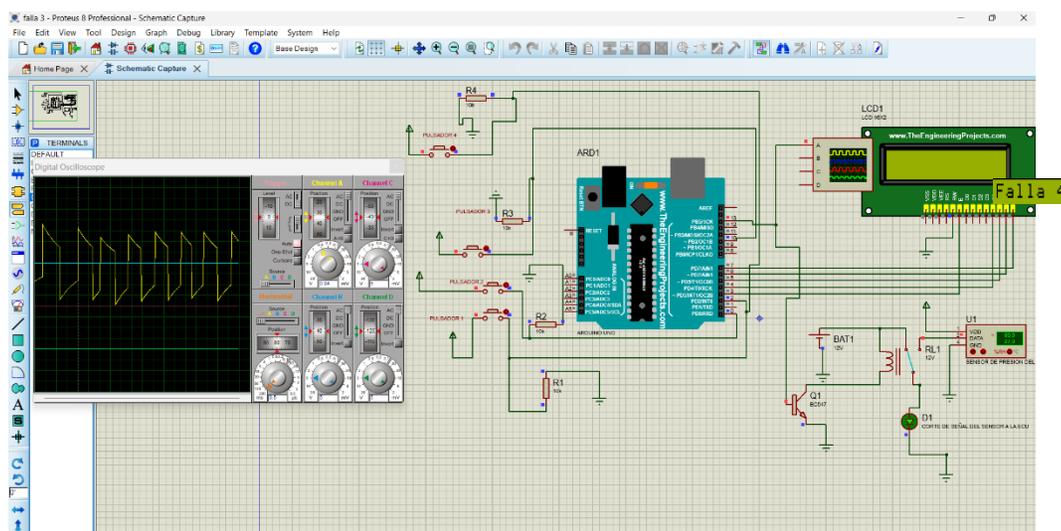


Nota. Esta gráfica representa perdida de Sincronización con la Unidad de Control del Motor (ECU)

La simulación de una potencial falla en el sensor reveló fluctuaciones anómalas en las lecturas de presión, señalando un posible mal funcionamiento que podría afectar la capacidad del sistema para mantener una presión adecuada. Estos resultados enfatizan la importancia del Sensor de Presión del Riel en el sistema CRDI, subrayando la necesidad de llevar a cabo una evaluación detallada y, posiblemente, considerar la sustitución del sensor. Garantizar un monitoreo preciso y mantener un rendimiento óptimo del sistema de inyección diésel se vuelve crucial en vista de estos hallazgos, como se observa en la figura 35

Figura 35

Circuito de la falla 4



Nota. Esta gráfica representa el circuito de la falla de simulación de Pruebas de simulación de la perdida de sincronización con la Unidad de Control del Motor (ECU).

Conclusiones

La implementación de un simulador de fallas para actuadores del sistema CRDI en el vehículo Chevrolet DMAX del año 2019, con énfasis en inyección diésel, ha sido un proyecto de gran relevancia y aporte en el campo de la ingeniería automotriz, a través de la simulación de diversas fallas críticas, como la desincronización de la inyección, la pérdida de presión en la bomba, y la respuesta a la señal de control, así como la prueba de sincronización con la Unidad de Control del Motor (ECU), se ha logrado un avance significativo en la identificación y comprensión de posibles problemas en este sistema crucial

Las pruebas específicas en los inyectores, bomba de alta presión, regulador de presión y válvula de control permitieron una identificación precisa de posibles problemas en cada actuador, esta capacidad de diagnóstico preciso es esencial para abordar de manera efectiva las fallas individuales y mantener un sistema CRDI eficiente.

Este proyecto ha demostrado la utilidad y eficacia de contar con un simulador de fallas específicamente diseñado para este tipo de vehículo y sistema, la capacidad de reproducir y analizar escenarios de falla en un entorno controlado y seguro proporciona a los ingenieros y técnicos una herramienta invaluable para el diagnóstico preciso y la mejora continua del rendimiento y la fiabilidad del sistema CRDI en la Chevrolet DMAX.

Los resultados obtenidos de este proyecto no solo contribuyen al avance tecnológico en el sector automotriz, sino que también tienen un impacto directo en la seguridad y el funcionamiento óptimo de los vehículos diésel modernos, se espera que este trabajo sirva como base para futuras investigaciones y desarrollos en el campo de la simulación de fallas y el diagnóstico de sistemas de inyección diésel en vehículos comerciales.

Recomendaciones

Se recomienda utilizar los parámetros específicos proporcionados en el manual del fabricante del vehículo Chevrolet DMAX y del sistema CRDI para garantizar la precisión y la seguridad durante la simulación de fallas, al adherirse estrictamente a estos parámetros, se minimiza el riesgo de daños tanto en el simulador como en los componentes reales del sistema, esto incluye la correcta configuración de los valores de presión, sincronización y respuesta a la señal de control, entre otros, asimismo, se sugiere realizar una revisión periódica de estos parámetros para asegurar su actualización y coherencia con las especificaciones del fabricante, lo que contribuirá a una simulación más fidedigna y efectiva de las fallas en el sistema CRDI de la Chevrolet DMAX.

Considerar la integración de sistemas de monitoreo continuo que proporcionen datos en tiempo real sobre el estado de los actuadores, la implementación de tecnologías de monitoreo constante permitirá una supervisión proactiva y la detección temprana de posibles fallas, contribuyendo a la prevención de problemas mayores.

Se recomienda realizar inspecciones periódicas del equipo con el fin de identificar posibles acumulaciones de suciedad, polvo o residuos que puedan comprometer el funcionamiento óptimo del mismo, estas inspecciones deben llevarse a cabo de manera regular para garantizar que el simulador de fallas esté libre de obstrucciones que puedan interferir con su rendimiento y precisión, la detección temprana de cualquier acumulación de estos elementos permitirá tomar medidas preventivas a tiempo, preservando así la integridad y la eficacia del equipo a largo plazo.

Es fundamental esperar a que el motor Diesel alcance los 90 grados Celsius antes de tomar datos, la temperatura del motor influye en su rendimiento, emisiones de gases y vibración,

es por este motivo que se debe esperar a que alcance su temperatura óptima, el cual permitirá obtener datos precisos.

Referencias

- Aguirre Ayala, V. B., y Ortiz Hernández, B. R. (2013). *Elaboración de un módulo didáctico del sistema common rail del motor mazda BT 50 WL-C 2.5 CRDi diesel* [bachelorThesis].
<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/3438>
- Alarcón Solís, C. P., y Jaramillo Salgado, J. C. (2021). *Guía para el diagnóstico del sistema de inyección CRDi Bosch* [bachelorThesis].
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1126>
- Albarracín Méndez, Á. R., y Huiñisaca Quizhpe, J. B. (2022). *Estudio mediante la técnica de vibraciones de los efectos de la variación de presión en el riel de combustible sobre la combustión de un motor CRDi modelo Hyundai Santa Fé 2.0* [bachelorThesis].
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7714>
- Automotriz, I. Y. M. (2020a, enero 22). ¿Qué es una Válvula VVT y cómo funciona? *Ingeniería y Mecánica Automotriz*. <https://www.ingenieriaymecanicaautomotriz.com/que-es-una-valvula-vvt-y-como-funciona/>
- Automotriz, I. Y. M. (2020b, marzo 17). ¿Qué es el sensor de presión del sistema Common Rail y cómo funciona? *Ingeniería y Mecánica Automotriz*.
<https://www.ingenieriaymecanicaautomotriz.com/que-es-el-sensor-de-presion-del-sistema-common-rail-y-como-funciona/>
- Automotriz, I. Y. M. (2020c, mayo 1). ¿Qué es la Computadora de motor PCM y cómo funciona? *Ingeniería y Mecánica Automotriz*.
<https://www.ingenieriaymecanicaautomotriz.com/que-es-la-computadora-de-motor-pcm-y-como-funciona/>

- Autos, L. (2022, diciembre 10). ✓ *Sensor ECT Automotriz*. *¿Qué es y Funcionamiento* [E].
<http://www.autosluk.com/sensores-automotrices/ect/>
- Avance, A. (2018a, mayo). *Funcionamiento Componentes Sistema Diesel Common Rail Bosch*.
Curso Automotriz - Curso Virtual Automotriz - Capacitación Automotriz.
<https://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/144-funcionamiento-componentes-sistema-diesel-common-rail-bosch/>
- Avance, A. (2018b, mayo 29). *Valvula Reguladora de Presion Sistemas Diesel Common Rail*.
Curso Automotriz - Curso Virtual Automotriz - Capacitación Automotriz.
<https://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/147-valvula-reguladora-de-presion-sistemas-diesel-common-rail/>
- Avance, A. (2019, octubre 7). *Sensor MAP ¿Cómo funciona, Tipos de Fallas y DTC?* *Curso Automotriz - Curso Virtual Automotriz - Capacitación Automotriz*.
<https://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/sensor-map-para-que-sirve/>
- Baño Tuquerres, H. E., y Torres Encalada, A. B. (2021). *Propuesta de una aula virtual como herramienta de enseñanza-aprendizaje para la realización de las prácticas de laboratorio de la cátedra Inyección Diésel en la Universidad Politécnica Salesiana* [bachelorThesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20835>
- Barros Fajardo, L. F., y Pulla Morocho, C. O. (2019). *Análisis de fallas del sistema de alimentación de combustible de un motor Hyundai Santa Fe 2.0 CRDi basado en curvas de osciloscopio* [masterThesis, Quito, 2016.].
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/15360>
- Cadena, C. de la, y Alejandro, F. (2018). *Diseño e implementación de un banco de pruebas de inyectores de vehículos a diesel CRDI para la Escuela de Ingeniería Automotriz*.

[bachelorThesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo].

<http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/2963>

Chicaiza Chisaguano, J. H. (2019). *Evaluar el funcionamiento de un motor con sistema de inyección electrónica CRDI con y sin • recirculación de gases de escape*

[bachelorThesis]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/9241>

Cobo Baquerizo, G. X. (2020). *Análisis de averías en componentes diesel crdi (common rail direct injection)* [bachelorThesis, Universidad del Azuay].

<http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/3278>

Encalada Muñoz, C. P., y Zhinin Morocho, M. Á. (2022). *Determinación del porcentaje optimo de biodiésel y diésel filtrado a 2850 msnm, para reducir la opacidad de un motor con sistema CRDI, y reducir el impacto ambiental.*

<http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/17136>

Erazo, G., Bassante Barberán, J., Díaz Vivanco, S., Román, M., Barreno, N., Corral, A., Erazo, G., Bassante Barberán, J., Díaz Vivanco, S., Román, M., Barreno, N., y Corral, A.

(2021). Investigación del desgaste de la leva anular de la bomba de alta presión DENSO HP3 para sistemas CRDI mediante transformada de Fourier y análisis de desempeño al utilizar una mezcla ecológica diésel -surfactante como combustible alternativo.

Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, 29(2), 309-323. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052021000200309>

Guillén Solano, F. V., y Moscoso Ramírez, M. A. (2011). *Diseño y construcción de un Banco Didáctico Funcional del Sistema de Inyección CRDI* [bachelorThesis, Universidad del Azuay]. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/6065>

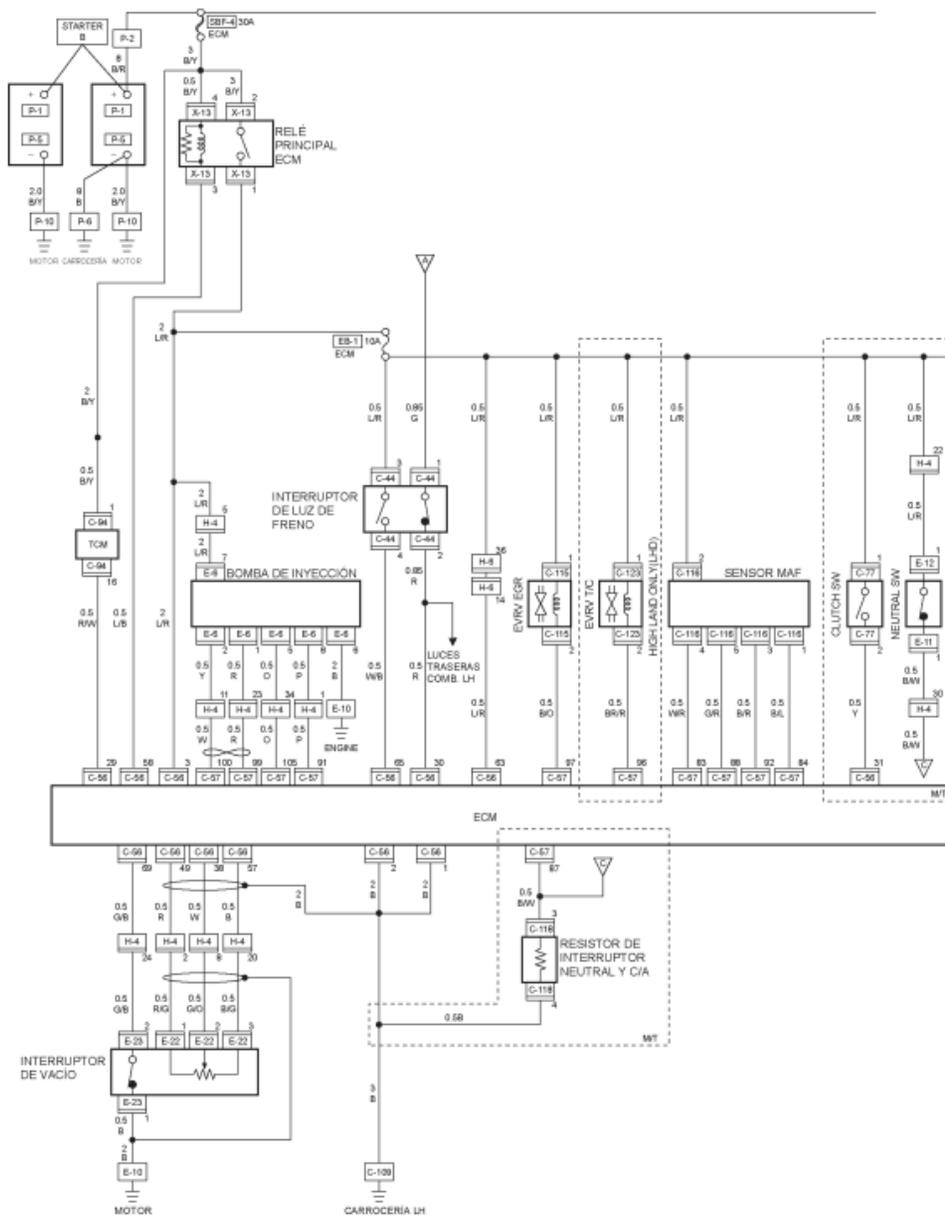
- Horus, A. (2023, 28704). *Ecu (Cerebro / Computador) para Kia Mohave / Borrego motor 3.0L Diesel D6EA-DSL TCI-S – Horus Importaciones .com.*
<https://www.horusimportaciones.com/producto/ecu-cerebro-computador-para-kia-mohave-borrego-motor-3-0l-diesel-d6ea-dsl-tci-s/>
- Iza, D. (2023, enero 1). *Descripción: Artículo Científico—Análisis de desgaste de las toberas de los inyectores de sistemas CRDI a través el uso del rugosímetro.*
https://www.lareferencia.info/vufind/Record/EC_2bf0d28eb4ed31fb080f938b503439ee
- Kim, H., Jang, S., y Jang, J. (2020). A Study on CKP Signal Collection Algorithms for Knocking Identification and Development of Engine Diagnosis System in CRDI ECU. En Y.-S. Jeong, Y.-H. Park, C.-H. (Robert) Hsu, y J. J. (Jong H. Park (Eds.), *Ubiquitous Information Technologies and Applications* (pp. 705-713). Springer.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-41671-2_90
- Kim, H.-S., Jang, S.-J., y Jang, J.-W. (2021). Development of the knocking and the defective cylinder decision system of industrial CRDI diesel engine through the CKP sensor signal analysis. *International Journal of Vehicle Design*, 72(3), 193-207.
<https://doi.org/10.1504/IJVD.2016.080562>
- Mena Navarrete, L., Román, M., Llanes Cedeño, E. A., Barreno, N., Mena Palacio, S., Rocha-Hoyos, J. C., Mena Navarrete, L., Román, M., Llanes Cedeño, E. A., Barreno, N., Mena Palacio, S., y Rocha-Hoyos, J. C. (2018). Estudio de rugosidad por análisis de Fourier de las toberas de inyectores en sistemas riel común (CRDI). *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, 26(4), 654-662. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052018000400654>

- Palacios Quiroz, W. V. (2021). *Guía de operación del banco de pruebas de inyectores electrónicos CRDI (MT - 3000)*. [bachelorThesis].
<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/4922>
- Pedro, J. (2021, julio 6). *¿Por qué fallan los inyectores en los motores diésel?* - Autofácil.
<https://www.autofacil.es/tecnica/fallan-inyectores-motores-diesel/182180.html>
- Rodrigo Passo G, M, C. U., T, C. T., y V, L. L. (2019). ACTIVACIÓN Y CONTROL DE INYECTORES DIÉSEL CRDI DE LAS MARCAS DENSO Y DELPHI. *Universidad Ciencia y Tecnología*, 2(2), Article 2.
- Roje, L. (2022, agosto 2). *SENSOR DE POSICIÓN DEL CIGÜEÑAL - Sensor CKP ¿Que es y como Funciona?* - EL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA.
<https://elmotordecombustion.blogspot.com/2020/09/sensor-de-posicion-del-ciguenal-sensor.html>
- Tigre Sangurima, M. O., y Villa Cayambe, N. M. (2019). *Repotenciación de un banco de pruebas de inyectores para vehículos a diesel CRDI para el laboratorio de inyección electrónica de la Escuela de Ingeniería Automotriz* [bachelorThesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4046>
- Villacis, D. (2021, julio 20). *VALVULA EGR HYUNDAI KIA 1.7CRDI 284102A850 717730188 555359 83.1074 7518312*. <https://egrvalvula.es/valvula-egr-hyundai-kia-1-7crdi-284102a850-717730188-555359-83-1074-7518312.html>

Anexos

Anexo 1

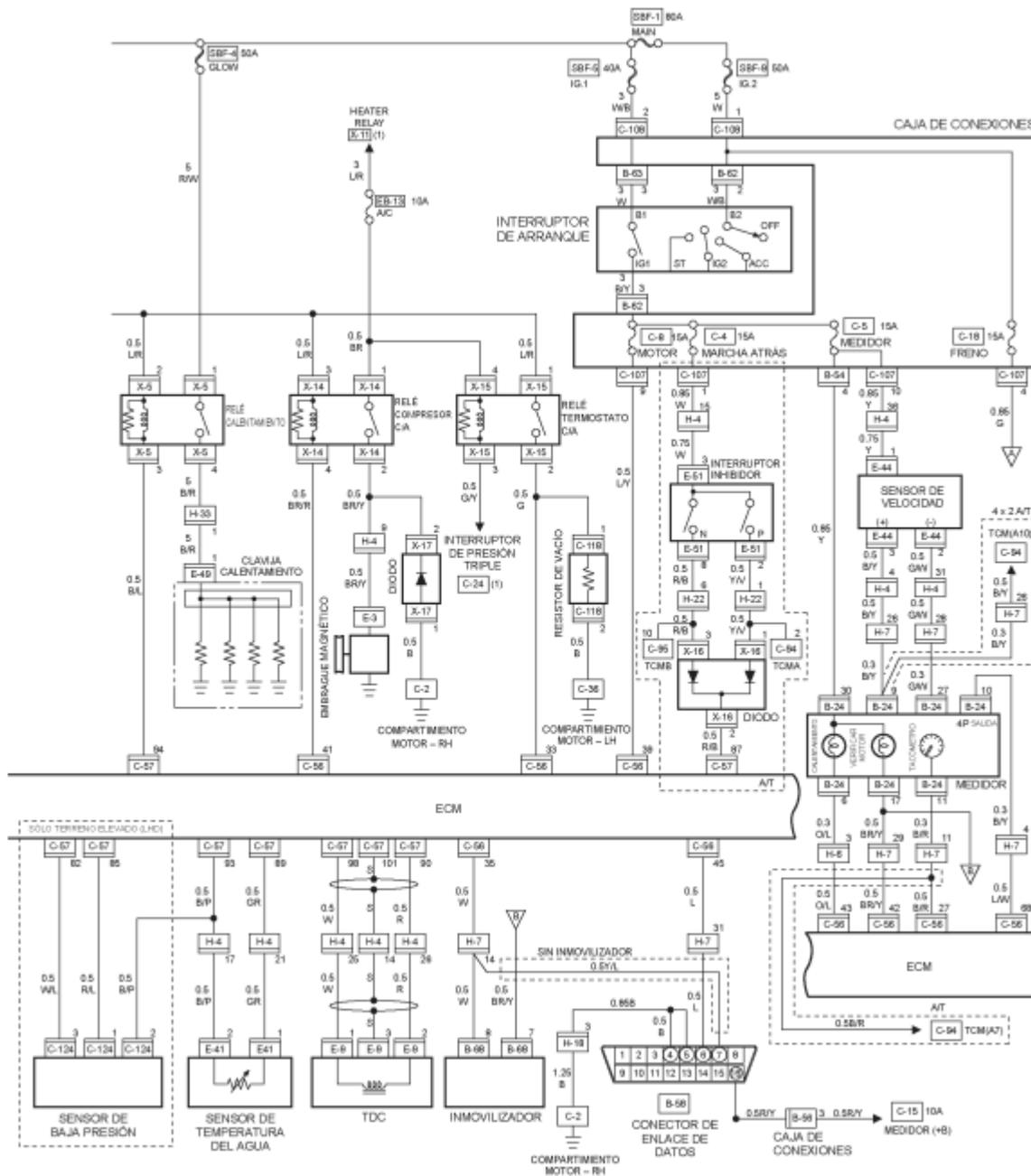
Diagrama de circuito del ECM (4JH1-TC)



Nota. Esta gráfica representa el diagrama de circuito del ECM (4JH1-TC).

Anexo 2

Diagrama de circuito del ECM (4JH1-TC) OBD II



Nota. Nota. Esta gráfica representa el diagrama de circuito del ECM (4JH1-TC) DEL OBD II.

Anexo 3

código de programación

```
#include <LiquidCrystal.h>

// Definir los pines para los pulsadores y el relay
const int pulsadorPin1 = 2;
const int pulsadorPin2 = 3;
const int pulsadorPin3 = 4;
const int pulsadorPin4 = 5;
const int relayPin = 6;

// Definir el objeto para la pantalla LCD
LiquidCrystal lcd(12, 11, 7, 8, 9, 10);

void setup() {
  // Inicializar la pantalla LCD
  lcd.begin(16, 2);

  // Configurar los pines de los pulsadores como entradas
  pinMode(pulsadorPin1, INPUT_PULLUP);
  pinMode(pulsadorPin2, INPUT_PULLUP);
  pinMode(pulsadorPin3, INPUT_PULLUP);
  pinMode(pulsadorPin4, INPUT_PULLUP);

  // Configurar el pin del relay como salida
  pinMode(relayPin, OUTPUT);
}

void loop() {
  // Verificar el estado de cada pulsador
  if (digitalRead(pulsadorPin1) == LOW) {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Falla 1");
    digitalWrite(relayPin, HIGH); // Activar relay
  } else if (digitalRead(pulsadorPin2) == LOW) {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Falla 2");
    digitalWrite(relayPin, HIGH); // Activar relay
  } else if (digitalRead(pulsadorPin3) == LOW) {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Falla 3");
  }
}
```

```

    digitalWrite(relayPin, HIGH); // Activar relay
} else if (digitalRead(pulsadorPin4) == LOW) {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Falla 4");
    digitalWrite(relayPin, HIGH); // Activar relay
} else {
    // Si ningún pulsador está presionado, limpiar la pantalla y apagar el relay
    lcd.clear();
    digitalWrite(relayPin, LOW); // Desactivar relay
}
}
#include <LiquidCrystal.h>

// Definir los pines para los pulsadores y el relay
const int pulsadorPin1 = 2;
const int pulsadorPin2 = 3;
const int pulsadorPin3 = 4;
const int pulsadorPin4 = 5;
const int relayPin = 6;

// Definir el objeto para la pantalla LCD
LiquidCrystal lcd(12, 11, 7, 8, 9, 10);

void setup() {
    // Inicializar la pantalla LCD
    lcd.begin(16, 2);

    // Configurar los pines de los pulsadores como entradas
    pinMode(pulsadorPin1, INPUT_PULLUP);
    pinMode(pulsadorPin2, INPUT_PULLUP);
    pinMode(pulsadorPin3, INPUT_PULLUP);
    pinMode(pulsadorPin4, INPUT_PULLUP);

    // Configurar el pin del relay como salida
    pinMode(relayPin, OUTPUT);

    // Limpiar la pantalla al inicio
    lcd.clear();
}

void loop() {
    // Verificar el estado de cada pulsador
    if (digitalRead(pulsadorPin1) == LOW) {
        mostrarMensaje("Falla 1");
        digitalWrite(relayPin, HIGH); // Activar relay
    }
}

```

```
} else if (digitalRead(pulsadorPin2) == LOW) {
  mostrarMensaje("Falla 2");
  digitalWrite(relayPin, HIGH); // Activar relay
} else if (digitalRead(pulsadorPin3) == LOW) {
  mostrarMensaje("Falla 3");
  digitalWrite(relayPin, HIGH); // Activar relay
} else if (digitalRead(pulsadorPin4) == LOW) {
  mostrarMensaje("Falla 4");
  digitalWrite(relayPin, HIGH); // Activar relay
} else {
  // Si ningún pulsador está presionado, limpiar la pantalla y apagar el relay
  lcd.clear();
  digitalWrite(relayPin, LOW); // Desactivar relay
}
}

void mostrarMensaje(String mensaje) {
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print(mensaje);
}
```