UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

TEMA:
"OPTIMIZACIÓN DE PARÁMETROS DE PUESTA A PUNTO EN MOTORES DIÉSEL PARA MEJORAR LA PRECISIÓN DIAGNÓSTICA."

Trabajo de titulación previo a la obtención del título en Ingeniero en Mantenimiento Automotriz

Línea de investigación: Producción industrial y tecnología sostenible

AUTOR:
Tuquerrez Sandoval Francisco Xavier

DIRECTOR:
Ing. Carlos Nolasco Mafla Yépez PhD.

Ibarra – Ecuador 2026

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECA
AUTORIZACIÓN DEL USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información.

DATOS DE CONTACTO	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Tuquerrez Sandoval Francisco Xavier

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Optimización de parámetros de puesta a punto en motores diésel para mejorar la precisión diagnóstica.
AUTOR (ES):	Tuquerrez Sandoval Francisco Xavier
FECHA:	2026 – 07 – 27
SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN	
PROGRAMA:	**GRADO** ■ **POSGRADO** □
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mantenimiento Automotriz
DIRECTOR / ASESOR:	Ing. Mafla Yépez Carlos Nolasco PhD. Ing. Ignacio Bayardo Benavides Cevallos MSc.

CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 27 días, del mes de julio del 2026

EL AUTOR:

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
FRANCISCO XAVIER
TUQUERREZ SANDOVAL

Nombre: Tuquerrez Sandoval Francisco Xavier

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 27 de julio del 2026

Ing. Mafla Yépez Carlos Nolasco PhD.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
CARLOS NOLASCO MAFLA YEPEZ

(f) Ing. Mafla Yépez Carlos Nolasco PhD.
C.C.: 0401447826

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificador del trabajo de Integración Curricular "Optimización de parámetros de puesta a punto en motores diésel para mejorar la precisión diagnóstica" elaborado por Tuquerrez Sandoval Francisco Xavier, previo a la obtención del título de Ingeniero en Mantenimiento Automotriz, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
CARLOS NOLASCO MAFLA YEPEZ

Ing. Mafla Yépez Carlos Nolasco PhD.

NOMBRE DEL DIRECTOR

C.C.: 0401447826

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
IGNACIO BAYARDO BENAVIDES CEVALLOS

(f): Ing. Ignacio Bayardo Benavides Cevallos MSc.

NOMBRE DEL ASESOR

C.C.: 1002415949

DEDICATORIA

Con profunda gratitud y emoción, dedico este trabajo de titulación, en primer lugar, a **Dios**, por ser mi guía, mi fortaleza y mi refugio en cada paso de este camino. Gracias por concederme la sabiduría, la perseverancia y la fe necesaria para convertir este sueño en una realidad.

A mis padres, **Yolanda y Rafael**, por su amor incondicional, sus sacrificios, sus enseñanzas y el apoyo constante que me brindaron a lo largo de mi vida. Gracias por creer en mí incluso cuando el camino parecía difícil. Este logro también es de ustedes, porque fueron el pilar que sostuvo cada uno de mis esfuerzos.

A mi amada hija, **Amelia Victoria**, quien ha sido la mayor inspiración para seguir adelante. Cada desvelo, cada desafío y cada sacrificio tuvieron sentido al pensar en ti. Espero que este logro te enseñe que con esfuerzo, disciplina y fe no existen metas imposibles. Tú eres la razón por la que siempre busco ser una mejor persona y un mejor profesional.

A mis hermanos, **Carolina** y **José Julián**, por su cariño, apoyo y confianza. Gracias por acompañarme en cada etapa de este camino y por recordarme siempre que la familia es la mayor fortaleza para alcanzar cualquier objetivo.

A mi querida abuelita **Mariana**, quien hoy me guía desde el cielo. Aunque ya no estás físicamente conmigo, tu amor, tus consejos y los valores que sembraste en mi corazón han permanecido presentes en cada decisión de mi vida. Este logro también lleva tu nombre, porque sé que desde el cielo celebras conmigo este momento tan especial.

A mi novia, **Adriana**, por acompañarme con amor, paciencia y comprensión durante este importante capítulo de mi vida. Gracias por creer en mí, por alentarme en los momentos de dificultad y por celebrar conmigo cada pequeño avance. Tu apoyo incondicional y tus palabras de ánimo fueron una fuente de motivación para no rendirme y seguir adelante hasta alcanzar esta meta.

Finalmente, dedico esta tesis a todas las personas que, de una u otra manera, formaron parte de este proceso y creyeron en mis capacidades. Que este logro represente el inicio de una vida profesional guiada por la responsabilidad, la ética y el compromiso con la excelencia, honrando los valores que mi familia me inculcó y llevando con orgullo el nombre de la **Universidad Técnica del Norte**.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincero agradecimiento a **Dios**, por ser el arquitecto de mi vida, por iluminar cada uno de mis pasos, darme la fortaleza para superar los momentos de dificultad y bendecirme con la oportunidad de culminar una de las metas más importantes de mi vida profesional.

A la **Universidad Técnica del Norte**, por abrirme sus puertas y brindarme una formación académica de excelencia, permitiéndome desarrollar los conocimientos, habilidades y valores que hoy me identifican como profesional en **Ingeniería en Mantenimiento Automotriz**.

Mi reconocimiento y gratitud a todos los docentes de la carrera, quienes, con su experiencia, dedicación y vocación de servicio, contribuyeron significativamente a mi formación académica y personal.

De manera especial, expreso mi más profundo agradecimiento a mi **tutor de tesis, Ing. Carlos Nolasco Mafla Yépez, PhD.**, por su guía, paciencia, compromiso y valiosos conocimientos compartidos durante el desarrollo de esta investigación. Su orientación fue fundamental para culminar con éxito este trabajo.

Asimismo, manifiesto mi sincero agradecimiento a mi **asesor de tesis, Ing. Ignacio Bayardo Benavides Cevallos, MSc.**, por sus acertadas observaciones, su constante apoyo y sus valiosos aportes académicos, que enriquecieron significativamente el presente proyecto de investigación.

Un agradecimiento muy especial al **Ing. Fredy Alexander Rosero Obando, PhD.**, por todos sus consejos, por confiar en mis capacidades y brindarme la oportunidad de formar parte del **Equipo 487 de 4x4**. Su ejemplo profesional, liderazgo y confianza fueron una inspiración constante para continuar creciendo y creyendo en mi potencial.

Con especial cariño, agradezco a la **Lic. Carmita Chamorro**, por su inmensa calidad humana y por convertirse en un pilar durante mi vida universitaria. Gracias por ser como una madre para mí, por estar siempre pendiente de mi bienestar, por brindarme una palabra de aliento cuando más la necesité y por demostrarme que el apoyo sincero puede transformar el camino de una persona. Su cariño, dedicación y generosidad permanecerán siempre en mi corazón.

A mi madre, **Yolanda Sandoval**, le agradezco profundamente por su amor incondicional, su inmensa paciencia y todos los sacrificios realizados para verme alcanzar este sueño. Gracias por creer en mí cuando más lo necesitaba, por sostenerme en los momentos de debilidad y por enseñarme que la perseverancia siempre tiene su recompensa. Este logro también es suyo, porque detrás de cada meta alcanzada estuvo siempre su apoyo incondicional.

A mi padre, **Rafael Tuquerrez**, mi más sincero agradecimiento por guiarme desde muy pequeño hacia esta hermosa vocación de la mecánica. Gracias por enseñarme el valor del trabajo honesto, la disciplina y el amor por los motores. Usted despertó en mí la pasión que hoy se convierte en mi profesión, y este logro representa también el fruto de sus enseñanzas, de su ejemplo y de los valores que me inculcó.

A mis hermanos, **Carolina** y **José Julián**, gracias por su cariño, apoyo, confianza y por acompañarme durante este proceso. Su respaldo y sus palabras de aliento fueron fundamentales para seguir adelante y nunca perder de vista este objetivo.

A mis queridos tíos, **Pedro Sandoval** y **Dianita Bedón**, les expreso mi más sincero agradecimiento por estar siempre pendientes de mí durante este proceso. Gracias por su apoyo, sus consejos, su confianza y por brindarme ánimo en los momentos en que más lo necesité. Su cariño y preocupación constante fueron un impulso importante para alcanzar esta meta.

A mi novia, **Adriana**, le expreso mi más profundo agradecimiento por caminar a mi lado durante este importante capítulo de mi vida. Gracias por tu amor, paciencia, comprensión y apoyo incondicional. En los momentos en que el cansancio, las dudas o las dificultades parecían superar mis fuerzas, siempre encontraste las palabras precisas para impulsarme a seguir adelante. Tu constante **"tú sí puedes"**, tu confianza en mis capacidades y tu insistencia en que demostrara de lo que soy capaz fueron el motor que me permitió no rendirme y continuar hasta alcanzar esta meta. Gracias por creer en mí incluso cuando yo mismo dudaba, por celebrar cada avance y por recordarme que con esfuerzo y determinación los sueños pueden hacerse realidad. Este logro también lleva una parte de tu apoyo, de tu paciencia y de tu amor.

Finalmente, agradezco a mi familia, amigos, compañeros y a todas aquellas personas que, de una u otra manera, contribuyeron a mi formación personal y profesional. Cada consejo, cada palabra de aliento y cada gesto de apoyo fueron parte importante de este logro que hoy alcanzo con orgullo.

A todos ustedes, mi más profundo, sincero y eterno agradecimiento. Este logro no solo representa el cumplimiento de una meta académica, sino también el resultado del amor, la confianza y el apoyo de cada una de las personas que caminaron junto a mí durante este importante capítulo de mi vida.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal establecer y optimizar los parámetros de puesta a punto en motores diésel de la marca Mazda para mejorar la precisión y confiabilidad del diagnóstico automotriz. En el ámbito del mantenimiento actual, es muy común que los técnicos inicien el análisis de fallas leyendo directamente los códigos de error con un escáner, pasando por alto la salud mecánica básica del motor. Esto suele derivar en diagnósticos equivocados, pérdida de tiempo y el reemplazo innecesario de componentes costosos. Para resolver esta problemática, se desarrolló una metodología cuantitativa aplicada sobre una muestra de vehículos Mazda con motores equipados con inyección Common Rail. El proceso de diagnóstico se estructuró bajo un protocolo técnico ordenado que incluyó una inspección visual previa, pruebas físicas de compresión en los cilindros, diagnóstico electrónico a través de escáner OBD-II y un análisis análogo de señales mediante un osciloscopio automotriz. Los resultados demostraron que la compresión física del motor es el indicador definitivo de su estado interno, logrando correlacionar con éxito las pérdidas de presión con códigos de error específicos guardados por la computadora. Asimismo, el uso del osciloscopio permitió validar señales ultra rápidas de sensores y actuadores clave, como los pulsos múltiples de los inyectores y la sincronización entre el cigüeñal y el árbol de levas, detectando anomalías imperceptibles para un escáner común. La verificación sistemática de la puesta a punto antes de interpretar la electrónica previene errores de diagnóstico y optimiza los tiempos de reparación, constituyendo una valiosa guía técnica para el sector automotriz.

Palabras Claves: Motores diésel, Diagnóstico, CRDi, Compresión, OBD-II.

ABSTRACT

The main objective of this research is to establish and optimize tune-up parameters in Mazda diesel engines to improve the precision and reliability of automotive diagnostics. In today's maintenance field, it is highly common for technicians to initiate fault analysis by directly reading error codes with a scanner, overlooking the basic mechanical health of the engine. This often leads to misdiagnoses, wasted time, and the unnecessary replacement of expensive components. To address this problem, a quantitative methodology was developed and applied to a sample of Mazda vehicles equipped with Common Rail injection engines. The diagnostic process was structured under an orderly technical protocol that included a prior visual inspection, physical cylinder compression tests, electronic diagnostics using an OBD-II scanner, and analog signal analysis with an automotive oscilloscope. The results demonstrated that physical engine compression is the definitive indicator of its internal health, successfully correlating pressure losses with specific error codes stored by the computer. Likewise, the use of the oscilloscope allowed for the validation of ultra-fast signals from key sensors and actuators, such as multiple injector pulses and crankshaft-to-camshaft synchronization, detecting anomalies imperceptible to a standard scanner. Systematically verifying tune-up parameters before interpreting the electronics prevents diagnostic errors and optimizes repair times, constituting a valuable technical guide for the automotive sector.

Keywords: Diesel engines, Diagnostics, CRDi, Compression, OBD-II.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CONSTANCIAS 3
CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR .. 4
APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR 5
DEDICATORIA 6
AGRADECIMIENTO 7
RESUMEN EJECUTIVO 9
ABSTRACT 10
ÍNDICE DE CONTENIDOS 11
ÍNDICE TABLAS 14
ÍNDICE FIGURAS 14
CAPÍTULO 1 15
1. INTRODUCCIÓN 15
1.1 Problema de investigación 15
1.2 Formulación de la pregunta de investigación 16
1.3 Objetivos 17
1.3.1 Objetivo general 17
1.3.2 Objetivos específicos 17
1.4 Alcance y delimitación de la investigación 17
1.5 Justificación 18
CAPÍTULO 2 20
2. MARCO TEÓRICO 20
2.1 Antecedentes 20
2.2 Motor de combustión interna diésel 23
2.2.1 Principio de Funcionamiento (Ciclo Diésel de 4 Tiempos) 23
2.2.2 Características Principales 24
2.3 Motor diésel Mazda 24
2.3.1 Características Principales 24
2.3.2 Tecnologías Utilizadas 25
2.3.3 El Sistema Common Rail (Conducto Común) 25
2.4 Sistema de Inyección Common Rail (Conducto Común) 27
2.4.1 Historia y Evolución 27
2.4.2 Principio de Funcionamiento 28
2.4.3 Ventajas de la combustión fraccionada 29
2.4.4 Componentes Fundamentales del Sistema 29
2.4.5 Análisis Detallado de los Componentes Clave 30

2.4.6 Función amortiguadora 31
2.5 Sensores y actuadores acoplados 31
2.6 Parámetros de Puesta a Punto en Motores Diésel Common Rail 32
2.6.1 Distribución y Sincronización Mecánica 33
2.6.2 Presión de Combustible (Riel Común) 33
2.6.3 Tiempo de Inyección (Avance y Duración) 34
2.6.3.1 El Avance de la Inyección 34
2.6.3.2 La Duración del Pulso 35
2.6.4 Relación de Compresión y Estado Térmico 35
2.6.5 Dinámica de Fluidos: Admisión y Escape 35
2.6.5.1 El Circuito de Admisión 36
2.6.5.2 El Circuito de Escape 36
2.7 Compresión del Motor Diésel 37
2.7.1 Importancia en el Motor Diésel 37
2.7.2 Factores que Afectan la Compresión 38
2.7.3 Valores Normales 38
2.7.4 Interpretación de Resultados 39
2.8 Diagnóstico Automotriz 39
2.8.1 Diagnóstico Mecánico 39
2.8.2 Diagnóstico Electrónico 40
2.8.3 Procedimientos Generales de Diagnóstico 41
2.9 Escáner Automotriz 41
2.9.1 Principio de Funcionamiento 42
2.9.2 El Estándar OBD II (On-Board Diagnostics) 42
2.9.3 Lectura e Interpretación de Códigos DTC 42
2.9.4 Análisis de Parámetros en Tiempo Real (Data Stream) 43
2.10 El Osciloscopio Automotriz 44
2.10.1 Principio de Funcionamiento 44
2.10.2 Interpretación de Señales 45
2.11 Análisis de Componentes Críticos con Osciloscopio 45
2.12 Gestión Electrónica: Sensores y Actuadores en Motores Diésel 47
2.12.1 Sensores de Posición y Sincronización 47
2.13 Diagnóstico de Fallas Mecánicas vs. Electrónicas 49
2.13.1 Síntomas Comunes y su orientación 49
2.13.1.1 Síntomas de Orientación Mecánica 50
2.13.1.2 Síntomas de Orientación Electrónica 50
2.14 Procedimiento Correcto de Diagnóstico (Paso a Paso) 50

CAPÍTULO III 53
3. MATERIALES Y METODOS 53
3.1 Enfoque y tipo de investigación 53
3.2 Materiales 53
3.2.1 Motor diésel Mazda 53
3.2.2 Escáner automotriz 54
3.2.2 Osciloscopio automotriz 55
3.2.3 Medidor de compresión 55
3.3 Método 56
3.3.1 Procedimiento metodológico 56
3.3.2 Matriz de operacionalización de variables 61
3.3.3 Procedimiento y análisis de datos 63
CAPÍTULO IV 64
4 RESULTADOS Y ANÁLISIS 64
4.1 Resultados obtenidos 64
4.2 Validación de los resultados 65
4.3 Validación de Pruebas de Compresión 65
4.4 Validación de Diagnóstico Electrónico (Escáner OBD-II) 66
4.5 Validación de Señales y Sincronización (Osciloscopio) 66
CAPÍTULO V 67
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 67
5.1 Conclusiones 67
5.2 Recomendaciones 68
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 69

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. Generaciones de motores Mazda 27
Tabla 2. Fallas Mecánicas y Electrónicas 49
Tabla 3. Ficha técnica motor Mazda 54
Tabla 4. Ficha técnica escáner 54
Tabla 5. Ficha técnica osciloscopio 55
Tabla 6. Ficha técnica medidora de compresión 56
Tabla 7. Matriz de operacionalización de variables 62
Tabla 8. Pruebas de compresión 65
Tabla 9. Validación de códigos DTC y parámetros en tiempo real 66
Tabla 10. Validación de formas de onda (Oscilograma) 66

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Esquema técnico de un motor diésel Mazda 25
Figura 2. Compartimento de motor diésel en una Mazda BT-50 26
Figura 3. Sistema Common Rail 30
Figura 4. Sistema de escape y admisión 36
Figura 5. Banco experimental 54
Figura 6. Escáner automotriz 54
Figura 7. Osciloscopio 55
Figura 8. Medidor de compresión 55
Figura 9. Diagrama de flujo 57
Figura 10. Inspección visual 58
Figura 11. Prueba de compresión 58
0Figura 12. Escáner automotriz 59
Figura 13. Osciloscopio 60

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Problema de investigación

Los motores diésel modernos han experimentado una importante evolución tecnológica mediante la incorporación de sistemas electrónicos de inyección y control, los cuales permiten optimizar el rendimiento, reducir el consumo de combustible y disminuir las emisiones contaminantes. En particular, los motores diésel de la marca Mazda emplean sistemas de gestión electrónica que requieren procedimientos de diagnóstico cada vez más precisos, debido a la interacción existente entre los componentes mecánicos y electrónicos que intervienen en su funcionamiento [1].

En el ámbito del mantenimiento automotriz, es frecuente que el proceso de diagnóstico se centre en la lectura de códigos de falla mediante un escáner, dejando en segundo plano la verificación de parámetros básicos de puesta a punto, como la compresión de los cilindros, la sincronización del sistema de inyección y el análisis de las señales eléctricas de sensores y actuadores. Esta situación puede generar interpretaciones incorrectas de las averías, reemplazo innecesario de componentes y un incremento en el tiempo y costo de las reparaciones [2].

Ante esta problemática, la presente investigación tiene como finalidad analizar los parámetros de puesta a punto que deben verificarse antes de efectuar un diagnóstico electrónico en motores diésel Mazda, mediante la utilización de herramientas como el medidor de compresión, el escáner automotriz y el osciloscopio. La aplicación de un procedimiento técnico de verificación permitirá diferenciar con mayor precisión las fallas de origen mecánico y electrónico, mejorando la confiabilidad del diagnóstico y optimizando los procesos de mantenimiento.

Finalmente, este estudio busca aportar una guía técnica que sirva como apoyo para estudiantes, docentes y profesionales del área automotriz, promoviendo la aplicación de metodologías de diagnóstico fundamentadas en la comprobación de los parámetros básicos de funcionamiento del motor antes de la interpretación de los sistemas

electrónicos, contribuyendo así a obtener diagnósticos más precisos, reducir tiempos de reparación y favorecer un mantenimiento más eficiente de los motores diésel Mazda.

Los motores diésel modernos incorporan sistemas electrónicos de inyección y control que requieren una correcta puesta a punto para garantizar un funcionamiento eficiente y confiable. Sin embargo, en muchos procesos de diagnóstico automotriz no se verifica previamente si el motor cumple con los parámetros básicos de funcionamiento, como la compresión de los cilindros, el tiempo de inyección, la presión del combustible y el estado de los sistemas de admisión y filtración. Esta situación puede ocasionar diagnósticos erróneos, reemplazo innecesario de componentes y un incremento en los costos de mantenimiento [3].

En los motores diésel Mazda, una puesta a punto inadecuada puede manifestarse mediante síntomas como pérdida de potencia, dificultades de arranque, aumento del consumo de combustible, emisiones excesivas de humo y funcionamiento irregular del motor. En muchas ocasiones, estos síntomas se atribuyen directamente a fallas en sensores o actuadores electrónicos, sin comprobar previamente el estado mecánico del motor, especialmente la compresión de los cilindros, que constituye uno de los parámetros fundamentales para evaluar su condición [4].

Por esta razón, resulta necesario establecer un procedimiento técnico que permita verificar los parámetros básicos de puesta a punto mediante el uso de herramientas de diagnóstico como el escáner automotriz, el osciloscopio y el medidor de compresión. De esta manera será posible identificar con mayor precisión si la falla corresponde a un problema mecánico o electrónico, optimizando el proceso de diagnóstico y disminuyendo el tiempo de reparación [5-6].

1.2 Formulación de la pregunta de investigación

¿Cómo influye la verificación de los parámetros de puesta a punto, mediante la medición de la compresión del motor y el uso de escáner automotriz y osciloscopio, en la identificación precisa de fallas mecánicas y electrónicas en motores diésel Mazda?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Establecer los valores óptimos de los parámetros de puesta a punto en motores diésel para estandarizar su funcionamiento básico, facilitando así la identificación rápida y precisa de fallas mecánicas o electrónicas comunes.

1.3.2 Objetivos específicos

- Recopilar los parámetros clave de puesta a punto (como el tiempo de inyección, la presión del combustible y el estado de los filtros) en motores diésel que operan en condiciones normales, para crear una base de datos de referencia.
- Evaluar cómo influyen las pequeñas variaciones o desajustes de estos parámetros en el rendimiento del motor, determinando qué síntomas o códigos de error se generan cuando están fuera de su rango ideal.
- Diseñar un procedimiento de verificación y una lista de comprobación (checklist) para estandarizar la puesta a punto de motores diésel Mazda antes del diagnóstico, mediante la evaluación de los parámetros mecánicos y electrónicos fundamentales, con el propósito de mejorar la confiabilidad de los resultados y disminuir errores de interpretación.
- Comparar los valores obtenidos durante las pruebas de compresión, el análisis con escáner automotriz y las señales registradas mediante osciloscopio con las especificaciones técnicas del fabricante, para identificar desviaciones que permitan diferenciar fallas mecánicas de fallas electrónicas en motores diésel Mazda.

1.4 Alcance y delimitación de la investigación

La presente investigación tiene un alcance aplicado y descriptivo, orientado al establecimiento de los parámetros óptimos de puesta a punto en motores diésel Mazda como referencia para mejorar los procesos de diagnóstico automotriz. El estudio comprenderá la recopilación y análisis de variables mecánicas y electrónicas fundamentales, tales como la compresión del motor, el tiempo de inyección, la presión

del combustible, el estado de los filtros y otros parámetros de funcionamiento recomendados por el fabricante. Para ello, se emplearán herramientas de diagnóstico como el medidor de compresión, el escáner automotriz y el osciloscopio, con el propósito de verificar el estado del motor y diferenciar de manera precisa las fallas de origen mecánico y electrónico.

Como resultado de la investigación, se establecerán valores de referencia para los principales parámetros de puesta a punto, se analizará la influencia de sus variaciones en el desempeño del motor y se diseñará una lista de verificación (checklist), junto con un procedimiento técnico estandarizado que permita realizar la puesta a punto antes de iniciar cualquier proceso de diagnóstico. De esta manera, se busca contribuir a la reducción de errores de interpretación, optimizar los tiempos de inspección y mejorar la confiabilidad de los diagnósticos efectuados en motores diésel Mazda.

La investigación se delimita al análisis de motores diésel Mazda equipados con sistemas de inyección electrónica y se enfocará únicamente en la evaluación de los parámetros relacionados con la puesta a punto y el diagnóstico inicial del motor. No se contemplará el diseño o modificación de componentes mecánicos o electrónicos, ni la reparación o reconstrucción del motor, así como tampoco el estudio de otros sistemas del vehículo, tales como la transmisión, el sistema de frenos, la suspensión o el sistema eléctrico general. Asimismo, el desarrollo de la investigación se realizará durante el período establecido para la ejecución del proyecto, utilizando las especificaciones técnicas del fabricante como criterio de comparación para la evaluación de los resultados obtenidos.

1.5 Justificación

Los motores diésel modernos incorporan sistemas mecánicos y electrónicos de alta precisión que requieren procedimientos de diagnóstico cada vez más especializados. En este contexto, la correcta puesta a punto del motor constituye una etapa fundamental para garantizar que las condiciones básicas de funcionamiento se encuentren dentro de los parámetros establecidos por el fabricante antes de realizar cualquier proceso de diagnóstico [7]. No obstante, en muchos talleres automotrices el análisis de fallas se inicia directamente mediante la lectura de códigos con un escáner, sin verificar previamente el estado mecánico del motor, lo que puede generar diagnósticos incorrectos, sustitución

innecesaria de componentes y un incremento en los costos y tiempos de reparación [8].

La presente investigación se justifica desde el punto de vista técnico porque permitirá establecer valores de referencia para los principales parámetros de puesta a punto en motores diésel Mazda, proporcionando una base objetiva para evaluar su condición de funcionamiento. La medición de la compresión del motor, el análisis de los parámetros obtenidos mediante escáner automotriz y la evaluación de señales eléctricas con osciloscopio permitirán determinar si las anomalías detectadas corresponden a fallas de origen mecánico o electrónico, favoreciendo un diagnóstico más preciso y confiable.

Desde el ámbito práctico, la investigación aportará un procedimiento técnico estandarizado y una lista de verificación (checklist) que servirán como herramienta de apoyo para técnicos y profesionales del sector automotriz. Su aplicación permitirá comprobar de manera ordenada los parámetros fundamentales de puesta a punto antes de iniciar el diagnóstico, reduciendo la probabilidad de errores de interpretación, optimizando el tiempo de inspección y mejorando la eficiencia de las actividades de mantenimiento.

Finalmente, la investigación posee relevancia social y económica, ya que un diagnóstico acertado permite disminuir costos de mantenimiento, evitar reemplazos innecesarios de componentes, reducir los tiempos de inmovilización de los vehículos y contribuir a una operación más eficiente de los motores. Además, una correcta puesta a punto favorece un mejor rendimiento del motor, una mayor vida útil de sus componentes y una reducción del consumo de combustible y de las emisiones contaminantes, aspectos que benefician tanto a los propietarios de los vehículos como al sector automotriz en general.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Según Almeida [7] con su trabajo de titulación desarrollado en la Universidad Internacional del Ecuador, realizaron una investigación orientada al diagnóstico de fugas de compresión en un motor Mazda 2.5 Turbodiésel CRDi mediante el empleo de sensores de presión diferencial y un osciloscopio automotriz. El objetivo del estudio fue implementar un procedimiento de diagnóstico que permitiera identificar fallas mecánicas sin necesidad de desmontar el motor, utilizando herramientas de medición y análisis de señales para evaluar el comportamiento de los diferentes sistemas del vehículo. La metodología consistió en la aplicación de pruebas experimentales sobre un vehículo Mazda equipado con sistema de inyección Common Rail, empleando sensores de presión diferencial, pinza amperimétrica y osciloscopio para registrar y analizar las señales obtenidas durante el funcionamiento del motor. Los resultados demostraron que la interpretación de las señales generadas por los equipos de diagnóstico permite detectar fugas de compresión y otras anomalías mecánicas con mayor precisión, reduciendo el tiempo de diagnóstico y evitando el reemplazo innecesario de componentes. Este estudio aporta a la presente investigación al evidenciar la importancia de verificar previamente los parámetros mecánicos del motor mediante herramientas especializadas antes de interpretar las fallas electrónicas, fortaleciendo el proceso de diagnóstico en motores diésel Mazda [8].

Según Cahueñas desarrollaron una investigación en la Universidad Internacional del Ecuador orientada a evaluar la compresión de motores de combustión interna mediante el empleo del equipo Bosch FSA 740 y pruebas de compresión, con el propósito de determinar el estado mecánico del motor y establecer criterios técnicos para un diagnóstico confiable. La metodología consistió en realizar mediciones comparativas de la compresión en los cilindros de diferentes vehículos, analizando la uniformidad de los valores obtenidos y las posibles causas de pérdida de compresión. Los resultados evidenciaron que una disminución de la compresión se relaciona con fugas en la cámara

de combustión ocasionadas por el desgaste de anillos, válvulas o juntas. Además, se determinó que la diferencia de presión entre cilindros debe mantenerse dentro de los límites establecidos por el fabricante para garantizar un funcionamiento adecuado del motor [9].

Según Ayala desarrollaron una investigación titulada Análisis comparativo del desempeño de un inyector CRDI mediante el equipo Bosch EPS 205, en la Universidad Internacional del Ecuador, con el objetivo de identificar los parámetros necesarios para el diagnóstico de inyectores Common Rail de control por solenoide utilizando el banco de pruebas Bosch EPS 205 [10].

Pérez [11] investigó el desarrollo bajo un enfoque cuantitativo y un diseño experimental, mediante la evaluación de dos inyectores Bosch serie 0445110250 utilizados en vehículos Mazda BT-50, ejecutando pruebas de estanqueidad, plena carga, preinyección, ralentí y control de emisiones, cuyos resultados fueron comparados con los valores de referencia establecidos por el fabricante. Los resultados evidenciaron que las mayores deficiencias se presentaron en las pruebas de plena carga y preinyección, permitiendo identificar alteraciones en el caudal de inyección asociadas al desgaste y descalibración de los componentes internos del inyector.

Diferentes estudios demuestran que la utilización del equipo Bosch EPS 205 facilita la identificación precisa de fallas, evita el reemplazo innecesario de inyectores y proporciona información confiable para orientar los procesos de reparación y mantenimiento. Este estudio aporta a la presente investigación al demostrar la necesidad de verificar los parámetros de funcionamiento del sistema de inyección mediante equipos de diagnóstico especializados antes de emitir un diagnóstico definitivo, respaldando la importancia de establecer procedimientos técnicos basados en la evaluación de los parámetros de puesta a punto para mejorar la precisión en la identificación de fallas mecánicas y electrónicas en motores diésel Mazda [12].

Según Chacua desarrollaron una investigación orientada al diagnóstico de motores diésel con sistema de inyección electrónica Common Rail, con el propósito de fortalecer los procedimientos de identificación de fallas mediante el análisis de los sistemas electrónicos de control y el empleo de equipos de diagnóstico automotriz. En el desarrollo

del estudio se abordaron aspectos relacionados con el funcionamiento del sistema OBD-II, la unidad de control electrónico (ECM), los sensores y actuadores del motor, así como el uso del escáner automotriz, el osciloscopio y otros instrumentos de medición para evaluar los parámetros de funcionamiento del motor. Asimismo, se analizaron los principales sensores del sistema Common Rail, entre ellos el sensor de posición del cigüeñal (CKP), el sensor de posición del árbol de levas (CMP), el sensor de masa de aire (MAF), el sensor de presión absoluta del múltiple (MAP) y el sensor de presión del riel, destacando la importancia de las señales emitidas por estos dispositivos para el control del proceso de inyección electrónica [13].

Según Hidalgo [14] la correcta interpretación de la información proporcionada por el sistema OBD-II y el análisis de las señales de sensores y actuadores permiten realizar diagnósticos más precisos, disminuyendo la posibilidad de reemplazar componentes sin haber identificado la causa real de la avería. Este estudio aporta a la presente investigación al respaldar la necesidad de verificar los parámetros de funcionamiento mediante herramientas de diagnóstico como el escáner automotriz y el osciloscopio antes de emitir un diagnóstico definitivo, contribuyendo a mejorar la precisión en la identificación de fallas mecánicas y electrónicas en motores diésel Mazda.

El manual "Motores e Inyección Electrónica" para el SENA (Colombia), estructuró un protocolo técnico para evaluar la hermeticidad y las variables electromecánicas en motores modernos. El autor sostiene que un diagnóstico asertivo exige comprobar obligatoriamente los parámetros dinámicos y mecánicos esenciales del motor antes de analizar los sistemas de inyección, sistematizando para ello el uso del medidor de compresión, el medidor de fugas de aire y el vacuómetro. Entre sus aportes principales, destaca la estandarización de rangos de tolerancia (como el límite del 5% al 35% en fugas de aire) para localizar fallas en válvulas o pistones sin desarmar el motor, y detalla cómo las pérdidas de presión mecánica generan síntomas o lecturas erróneas que suelen confundirse con averías en los sensores electrónicos. Este documento aporta una base metodológica fundamental a la presente investigación, validando técnicamente la necesidad de evaluar la salud mecánica del motor como paso previo al uso del escáner, lo cual sustenta directamente el diseño de la lista de comprobación (checklist) propuesta

para los motores diésel Mazda [15].

2.2 Motor de combustión interna diésel

Un motor de combustión interna diésel es una máquina térmica alternativa en la cual la energía química contenida en el combustible (gasóleo o diésel) se transforma en energía mecánica mediante un proceso de combustión. A diferencia de otros motores, es un motor de encendido por compresión (MEC), lo que significa que no requiere de una chispa eléctrica externa para iniciar la quema de la mezcla, sino que aprovecha las leyes de la termodinámica elemental para auto encender el combustible [16].

2.2.1 Principio de funcionamiento (Ciclo diésel de 4 tiempos)

El funcionamiento teórico y práctico de un motor diésel convencional se divide en cuatro fases consecutivas sincronizadas por el movimiento del pistón y las válvulas:

Admisión: El pistón desciende desde el Punto Muerto Superior (PMS) al Punto Muerto Inferior (PMI). La válvula de admisión se abre y entra única y exclusivamente aire limpio al interior del cilindro [17].

Compresión: Las válvulas se cierran herméticamente. El pistón asciende con fuerza hacia el PMS, comprimiendo el aire atrapado de manera drástica (reduciendo su espacio hasta 22 veces). Debido a esta altísima compresión, el aire alcanza temperaturas extremas de entre 700 °C y 900 °C [17].

Combustión / Expansión (Tiempo de fuerza): Justo antes de que el pistón llegue a la parte más alta, el inyector pulveriza el combustible diésel a una presión extremadamente elevada en la cámara de combustión. Al entrar en contacto inmediato con el aire ultra caliente, el diésel se inflama de forma espontánea. La violenta expansión de los gases empuja el pistón con fuerza hacia abajo, generando el movimiento mecánico que mueve el cigüeñal [17].

Escape: La válvula de escape se abre. El pistón vuelve a subir y empuja todos los gases residuales de la combustión hacia el exterior, dejando el cilindro libre para iniciar un nuevo ciclo [17].

2.2.2 Características principales

Alta relación de compresión: Sus componentes mecánicos están diseñados para soportar relaciones de compresión muy elevadas, que oscilan normalmente entre 14:1 y 24:1.

Elevado Torque (Par motor): Tienen una capacidad superior para generar fuerza a bajas revoluciones por minuto (RPM), lo que los hace ideales para arrastrar o cargar grandes pesos.

Mayor rendimiento térmico: Aprovechan mejor la energía del combustible que cualquier otro motor térmico convencional, alcanzando eficiencias de entre el 40% y el 45% (e incluso más en aplicaciones marítimas).

Construcción robusta: Debido a las enormes presiones internas que soportan, los bloques, pistones, bielas y culatas se fabrican con aleaciones de hierro o metales mucho más pesados y resistentes [18].

2.3 Motor diésel Mazda

Los motores diésel de Mazda han evolucionado notablemente, destacándose tanto en sus vehículos de pasajeros con la tecnología Skyactiv-D como en sus robustas camionetas de trabajo, la icónica Mazda BT-50 [19]

2.3.1 Características principales

Históricamente, los bloques diésel de la marca se han diseñado bajo dos enfoques: la máxima eficiencia en ciudad/carretera y la fuerza bruta para el arrastre y la carga [20:

Baja relación de compresión (En la era Skyactiv-D): A diferencia de los diésel convencionales que operan a altas presiones, Mazda logró reducir la relación de compresión a niveles récord (alrededor de 14.0:1). Esto permite una mezcla de aire y combustible más homogénea antes de la ignición, reduciendo drásticamente las emisiones de hollín y óxidos de nitrógeno.

Construcción ligera: El uso de bloques de aluminio en sus generaciones modernas disminuyó el peso sobre el eje delantero, mejorando la agilidad y el consumo.

Curva de torque plana: Ofrecen un empuje contundente desde revoluciones muy bajas (habitualmente a partir del 1,500 rpm), ideal para adelantar en carretera o mover cargas pesadas.

2.3.2 Tecnologías utilizadas

Mazda ha implementado ingeniería propia y en colaboración para optimizar el rendimiento térmico [21]:

Turbocompresor de geometría variable (VGT) o Bi-Turbo: Regula el flujo de los gases de escape mediante aletas móviles. En regímenes bajos, el turbo actúa rápido para eliminar el retraso (turbolag); a altas revoluciones, se abre para entregar la máxima potencia.

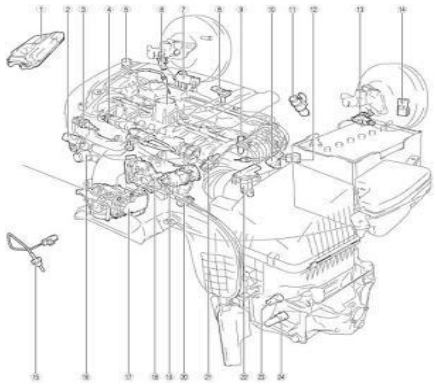
Sistema de postratamiento SCR (Reducción Catalítica Selectiva): Utiliza líquido de escape diésel (Urea/AdBlue) para convertir los NOx en nitrógeno inocuo y agua, cumpliendo las normativas ambientales más estrictas como la Euro 6.

Pistones con cavidad escalonada: Optimizan la combustión cerca de la bujía de precalentamiento para que el quemado sea rápido y homogéneo.

2.3.3 El Sistema Common Rail (Conducto Común)

El Common Rail es la columna vertebral de cualquier motor diésel (Figura 1) moderno de Mazda. A diferencia de los sistemas antiguos de inyección mecánica, este funciona mediante una bomba de alta presión que alimenta un riel único o "conducto común" conectado a todos los inyectores [22].

Figura 1. Esquema técnico de un motor diésel Mazda



Tomado de: Vibraciones Mecánicas, Motores de combustión interna, 2024 [22].

Presión extrema: Trabaja a presiones que superan los 2,000 bares, lo que pulveriza el diésel en partículas microscópicas.

Inyecciones múltiples por ciclo: Un inyector piezoeléctrico puede realizar varias microinyecciones en una sola milésima de segundo (pre-inyección para suavizar el ruido, inyección principal para la fuerza, y post-inyección para limpiar el filtro de partículas). Esto elimina el clásico traqueteo fuerte de los motores diésel antiguos (Figura 2).

Figura 2. Compartimento de motor diésel en una Mazda BT-50



Tomado de: Vibraciones Mecánicas, Motores de combustión interna, 2024 [22].

La Mazda BT-50 ha pasado por distintas etapas tecnológicas debido a sus alianzas estratégicas. Dependiendo del año del modelo, su motorización diésel cambia por completo [23]:

- Primera generación (Hasta 2011) – Motores MZR-CD (Origen Ford/Mazda)

Utilizaba principalmente el motor de 2.5 litros diésel de 4 cilindros en línea, 16 válvulas e inyección Common Rail. Era un motor sumamente confiable, enfocado netamente al trabajo duro y con un torque robusto a bajas vueltas.

- Segunda generación (2012 - 2020) – Motores MZ-CD / Duratorq (Plataforma Ford Ranger) aquí se adoptaron los motores modulares de Ford, conocidos por su durabilidad mecánica en terrenos difíciles:

3.2 Litros (5 cilindros): Un gigante del torque. Ideal para remolque pesado en pendientes pronunciadas.

2.2 Litros (4 cilindros): Una opción balanceada, más económica en consumo, pero con excelente empuje operativo.

- Tercera generación (2021 - Presente) – Origen Isuzu

En su etapa más reciente, la BT-50 comparte plataforma con la Isuzu D-Max, equipando los reconocidos motores diésel de la marca japonesa, famosos mundialmente por su durabilidad industrial:

3.0 Litros (4JJ3-TCX): Bloque de alta resistencia, distribución por cadena y un desempeño impecable en fiabilidad.

Se presenta un cuadro comparativo (Tabla 1) de sus capacidades mecánicas:

Tabla 1. Generaciones de motores Mazda

Motor	Cilindrada / Configuración	Potencia Máxima	Torque Máximo	Aplicación Común
2.5 MZR-CD	2,499 cc / 4 en línea	141 hp @ 3,500 rpm	330 Nm @ 1,800 rpm	BT-50 (Primera Gen)
2.2 MZ-CD	2,198 cc / 4 en línea	148 hp @ 3,700 rpm	375 Nm @ 1,500-2,500 rpm	BT-50 (Segunda Gen)
3.2 MZ-CD	3,198 cc / 5 en línea	197 hp @ 3,000 rpm	470 Nm @ 1,750-2,500 rpm	BT-50 (Segunda Gen)
3.0 Blue Power	2,999 cc / 4 en línea	188 hp @ 3,600 rpm	450 Nm @ 1,600-2,600 rpm	BT-50 (Tercera Gen / Actual)

Tomado de: Estudios de vibraciones, Fallas en motores de combustión interna, 2022 [23].

2.4 Sistema de inyección Common Rail (Conducto Común)

El sistema de inyección diésel Common Rail (conducto común) representa la mayor evolución tecnológica en la historia de los motores de combustión interna por compresión. Su introducción transformó los motores diésel, que pasaron de ser mecánicos, ruidosos y contaminantes, a convertirse en plantas motrices altamente eficientes, silenciosas, limpias y de alto rendimiento [24].

2.4.1 Historia y evolución

El concepto original de acumular combustible a alta presión en un riel común antes de la inyección no es del todo nuevo; se experimentó en motores marinos y estacionarios a inicios del siglo XX. Sin embargo, la tecnología necesaria para controlar presiones

extremas electrónicamente en vehículos de pasajeros tardó décadas en desarrollarse [25]:

- **Los orígenes (Años 60 - 80):** El prototipo del sistema Common Rail moderno fue desarrollado a finales de los años 60 por el físico Robert Huber en Suiza. Posteriormente, el Instituto Federal de Tecnología de Zúrich (ETH) continuó perfeccionando el concepto técnico.

- **El impulso de Magneti Marelli y FIAT (Años 90):** A principios de la década de 1990, el Grupo FIAT, a través de sus filiales Magneti Marelli y Elasis, desarrolló el primer sistema electrónico viable para automóviles. No obstante, debido a dificultades financieras para industrializarlo a gran escala, FIAT vendió las patentes y el desarrollo final a la firma alemana Robert Bosch GmbH en 1994.

- **Lanzamiento comercial (1997):** Bosch perfeccionó el sistema y lo llevó a la producción en masa. Los primeros vehículos de pasajeros en equipar Common Rail en el mundo fueron el Alfa Romeo 156 1.9 JTD y el Mercedes-Benz C 220 CDI. Casi simultáneamente, Denso introdujo el sistema en vehículos comerciales de carga en Japón.

- **Evolución por generaciones:** Primera Generación: Operaba a presiones de alrededor de 1,350 bares.

- **Generaciones actuales:** Utilizan inyectores piezoeléctricos y superan con facilidad presiones de 2,000 a 2,500 bares, permitiendo hasta 8 o 9 microinyecciones por cada ciclo de combustión.

2.4.2 Principio de funcionamiento

A diferencia de los sistemas de inyección tradicionales (donde una bomba mecánica genera la presión y determina el momento exacto de la inyección para cada cilindro de forma rígida), el Common Rail desacopla completamente la generación de presión de la sincronización de la inyección. El ciclo de trabajo se divide en tres fases operativas [26]:

1. **Generación y acumulación de presión:** Una bomba de transferencia extrae el combustible del tanque y lo envía a la bomba de alta presión. Esta comprime el diésel y lo bombea de manera continua hacia el riel común.

2. **Mantenimiento de la presión estática:** El combustible permanece almacenado en el riel a una presión constante y uniforme, actuando como un acumulador hidráulico. La presión está disponible de inmediato para todos los inyectores, independientemente de las revoluciones por minuto (rpm) a las que gire el motor.

3. **Inyección electrónica ejecutada:** Cuando la unidad de control electrónica (ECU) determina que un cilindro requiere combustible, envía una señal eléctrica de alta velocidad al inyector correspondiente. El inyector se abre magnética o piezoeléctricamente, permitiendo que la presión acumulada atomice el combustible directamente en la cámara de combustión.

2.4.3 Ventajas de la combustión fraccionada

Gracias a la velocidad de respuesta del sistema, la inyección no ocurre en un solo bloque, sino que se divide en varias fases [27]:

- **Pre-inyección (Piloto):** Una cantidad mínima de diésel se inyecta antes del punto muerto superior para iniciar una combustión suave, elevando la temperatura de la cámara. Esto reduce drásticamente el ruido de "traqueteo" característico del diésel.

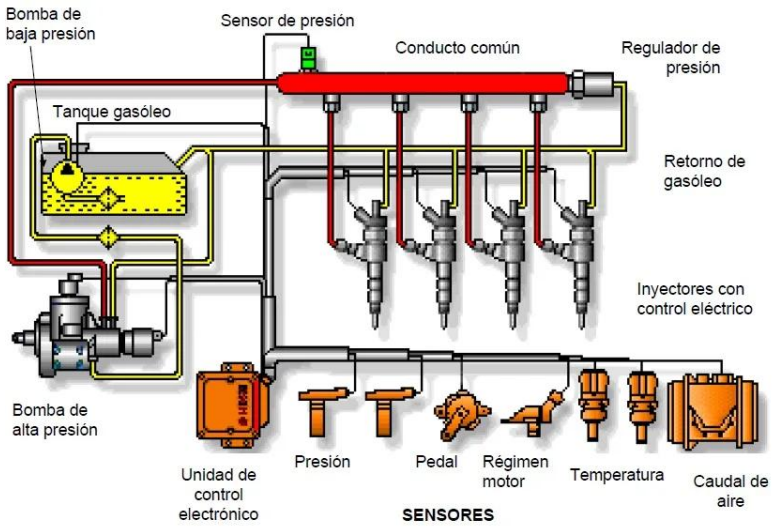
- **Inyección principal:** Entrega el grueso del combustible para generar la fuerza de empuje (torque) en el pistón.

- **Post-inyección:** Se introduce al final del ciclo para elevar la temperatura de los gases de escape, facilitando la regeneración del Filtro de Partículas Diésel (DPF) y minimizando el hollín.

2.4.4 Componentes fundamentales del sistema

El sistema Common Rail (Figura 3) se divide estructuralmente en un circuito de baja presión (limpieza y transporte) y un circuito de alta presión (compresión e inyección). Los elementos centrales que componen este esquema son los siguientes.

Figura 3. Sistema Common Rail



Tomado de: Moreno, Sistema CRDi, 2024 [8].

2.4.5 Análisis detallado de los componentes clave

A. Bomba de alta presión

Es el corazón mecánico del circuito de alta presión. Su única función es recibir el combustible filtrado desde el circuito de baja y comprimirlo mecánicamente a valores extremos [28]:

- **Construcción:** Generalmente está accionada por la distribución del motor (correa, cadena o engranajes). Suele contar con un diseño de dos o tres pistones radiales dispuestos a 120°.
- **Regulación:** Incorpora una válvula reguladora de caudal (o de dosificación) controlada por la ECU. Esta válvula dosifica la cantidad exacta de diésel que ingresa a las cámaras de compresión de la bomba. Al comprimir solo el combustible estrictamente necesario, se evita el calentamiento excesivo del diésel y se reduce la pérdida de energía del motor.

B. Riel común (Acumulador de alta presión)

Físicamente es un tubo cilíndrico de acero forjado de paredes gruesas, diseñado para soportar pulsaciones de presión severas sin sufrir fatiga elástica.

2.4.6 Función amortiguadora

Además de distribuir el combustible a cada inyector, el volumen interno del riel actúa como un amortiguador hidráulico. Esto significa que absorbe las ondas de presión provocadas por las pulsaciones de la bomba de alta presión y por la apertura repentina de los inyectores [29]:

2.5 Sensores y actuadores acoplados

- **Sensor de Presión del Riel (RPS):** Un elemento piezo-resistivo que mide constantemente la presión exacta dentro del tubo y envía el dato a la ECU en microsegundos.
- **Válvula Reguladora de Presión (DRV):** Si la presión en el riel excede los límites programados, la ECU ordena la apertura de esta válvula para desviar una parte del combustible hacia el circuito de retorno (de vuelta al tanque), aliviando el sistema.

C. Inyectores

Son los actuadores más complejos y precisos de la mecánica moderna. Tienen la tarea de pulverizar el combustible directamente en la cámara de combustión en porciones microscópicas y tiempos exactos.

Existen dos tipos principales según su arquitectura interna:

1. **Inyectores electromagnéticos (de Solenoide):** Utilizan una bobina magnética. Cuando la ECU envía corriente, la bobina genera un campo magnético que levanta una pequeña válvula de bola interna, rompiendo el equilibrio de presiones hidráulicas dentro del inyector y provocando que la aguja principal suba para liberar el combustible.
2. **Inyectores piezoeléctricos:** Reemplazan el solenoide por un elemento compuesto de cristales piezoeléctricos. Estos cristales tienen la propiedad física de expandirse linealmente de forma casi instantánea cuando reciben un pulso eléctrico. Son hasta cuatro veces más rápidos que los electromagnéticos, permitiendo una dosificación de combustible mucho más precisa y limpia.

D. Unidad de Control Electrónica (ECU)

La ECU es el cerebro lógico que gobierna la totalidad del sistema Common Rail. Monitorea las demandas del conductor (posición del pedal del acelerador) y las condiciones operativas del motor para tomar decisiones en tiempo real.

Entradas de datos (Sensores): Para calcular la inyección ideal, la ECU analiza las señales de:

- Sensor de revoluciones y posición del cigüeñal (RPM y PMS).
- Sensor de presión del riel común.
- Medidor de masa de aire (MAF) y presión del turbocompresor (MAP).
- Sensor de temperatura del refrigerante y del propio combustible.

Procesamiento y salidas (Actuadores): Mediante complejos mapas bidimensionales y tridimensionales de software, la ECU calcula instantáneamente:

1. La presión óptima requerida en el riel (modificando el trabajo de la bomba de alta presión).
2. El momento exacto de apertura (avance de la inyección).
3. El tiempo de apertura del inyector (que determina el volumen de combustible inyectado).

Gracias a esta flexibilidad electrónica adaptativa, el sistema Common Rail logra optimizar el rendimiento térmico del motor diésel bajo cualquier escenario climático, de altitud geográfica o de exigencia de carga.

2.6 Parámetros de puesta a punto en motores diésel Common Rail

La puesta a punto de un motor diésel moderno con tecnología Common Rail representa el equilibrio perfecto entre la sincronización mecánica de precisión y la gestión electrónica en tiempo real. A diferencia de las tecnologías antiguas, donde los parámetros eran fijos y determinados exclusivamente por componentes mecánicos (como marcas de engranajes y calado de bombas rotativas), los sistemas actuales combinan una base

mecánica rígida con un control dinámico ultra veloz [30].

A continuación, se analizan en profundidad los parámetros críticos que gobiernan la puesta a punto, determinando la eficiencia térmica, el rendimiento, la reducción de emisiones contaminantes y la durabilidad del motor.

2.6.1 Distribución y sincronización mecánica

La distribución es el sistema físico encargado de coordinar el movimiento del cigüeñal (pistones) con los árboles de levas (válvulas de admisión y escape) y, en muchos casos, la bomba de alta presión [31]:

- **El calado mecánico:** Es el punto de partida fundamental de la puesta a punto. Consiste en alinear geométricamente las marcas de sincronización de los piñones (del cigüeñal y del árbol de levas) mediante una correa o cadena de distribución. Un desfase de un solo diente puede provocar que las válvulas impacten contra la cabeza del pistón, destruyendo el motor, o generar una pérdida severa de compresión.

- **Sincronización electrónica dinámica:** Una vez que la distribución mecánica es exacta, la Unidad de Control Electrónica (ECU) asume el control del refinamiento. A través del Sensor de Posición del Cigüeñal (CKP) y el Sensor de Posición del Árbol de Levas (CMP), la ECU detecta el microsegundo exacto en que el pistón número uno se encuentra en el Punto Muerto Superior (PMS). Esta lectura es indispensable para que la computadora determine cuándo debe activar eléctricamente los inyectores.

2.6.2 Presión de combustible (Riel Común)

La presión del combustible en el riel común ya no depende directamente de las revoluciones por minuto (rpm) del motor, sino de las estrategias de carga calculadas por la ECU. La presión correcta es la clave para una atomización perfecta del diésel [32]

- **Bajas revoluciones / Ralentí:** El sistema suele configurarse a presiones bajas (aproximadamente entre 250 y 400 bares). Esto es suficiente para mantener el motor encendido suavemente, reduciendo el esfuerzo mecánico de la bomba de

alta presión y el ruido de la combustión.

- **Altas revoluciones / Plena carga:** Cuando el conductor exige potencia o el vehículo arrastra una carga pesada, la ECU comanda a la bomba elevar la presión a niveles extremos (entre 1,600 y más de 2,000 bares, dependiendo de la generación del sistema).
- **Impacto en la mezcla:** Una presión elevada rompe el combustible en gotas microscópicas al salir de la tobera del inyector. Cuanto más pequeñas son las gotas, mayor es la superficie de contacto con el oxígeno del aire comprimido dentro del cilindro. Esto garantiza una combustión completa, eliminando la formación de hollín (humo negro) y maximizando el torque disponible.

2.6.3 Tiempo de inyección (Avance y duración)

El tiempo de inyección se divide en dos variables críticas que la ECU recalcula miles de veces por minuto: El momento en que inicia la inyección (Avance) y el tiempo que permanece abierto el inyector (Duración/Ancho de Pulso).

2.6.3.1 El Avance de la inyección

El combustible diésel no se inflama instantáneamente; requiere una fracción de milisegundo para evaporarse y encenderse tras entrar en contacto con el aire caliente (retardo de la inflamación). Por ello, el inicio de la inyección debe ocurrir unos grados antes del Punto Muerto Superior (APMS) [33]:

- Si el avance es excesivo (demasiado pronto), la combustión empuja el pistón en sentido contrario antes de que termine de subir, provocando un picado severo, ruidos metálicos y daños en las bielas.
- Si el avance es retardado (demasiado tarde), la combustión ocurre cuando el pistón ya va bajando, desperdiciando la energía térmica en el escape y elevando la temperatura de los gases.

2.6.3.2 La Duración del pulso

Medido en microsegundos, es el tiempo real que la aguja del inyector permanece levantada. Determina el volumen exacto de combustible introducido en la cámara. Una puesta a punto incorrecta que prolongue demasiado este pulso provocará un exceso de combustible que no encontrará suficiente oxígeno para quemarse, derivando en altas emisiones de carbono y sobrecalentamiento del motor [34].

2.6.4 Relación de compresión y estado térmico

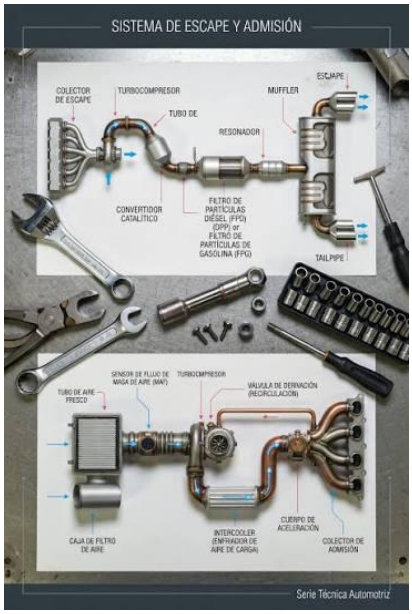
A diferencia de los motores de gasolina que requieren una chispa, el motor diésel es un motor de encendido por compresión. El aire dentro del cilindro debe comprimirse tanto que su temperatura supere el punto de autoignición del diésel (por encima de los 400°C).

- **Valores de compresión:** En motores tradicionales, las relaciones de compresión son elevadas (18:1 a 22:1). En tecnologías de vanguardia como los motores Skyactiv-D de Mazda, esta relación se reduce intencionalmente a valores cercanos a 14:1.
- **Efecto de una baja compresión:** Si el motor pierde compresión por desgaste en los anillos de los pistones o un mal asentamiento de las válvulas, el aire no alcanzará la temperatura crítica durante la carrera de compresión. Esto provoca arranques difíciles en frío, fallas de encendido (cilindros que no trabajan), humo blanco por diésel mal evaporado y una pérdida drástica de eficiencia energética.

2.6.5 Dinámica de fluidos: Admisión y escape

La puesta a punto del motor no culmina en el bloque cilíndrico; depende directamente de la cantidad de masa de aire que ingresa al motor y de la velocidad con la que se desalojan los residuos quemados [35].

Figura 4. Sistema de escape y admisión



Tomado de: Generado mediante Inteligencia Artificial Gemini, 2026

2.6.5.1 El circuito de admisión

Los motores Common Rail modernos están indisolublemente vinculados a sistemas de sobrealimentación (turbocompresores de geometría variable - VGT) e interenfriadores (intercoolers) [36]:

- La puesta a punto de la admisión busca maximizar la densidad del aire. El intercooler enfría el aire comprimido por el turbo para que ocupe menos espacio, permitiendo meter más moléculas de oxígeno en el mismo volumen de la cámara de combustión.
- Sensores como el MAF (Masa de Aire Fluyente) y el MAP (Presión Absoluta del Múltiple) informan a la ECU el llenado exacto del cilindro para ajustar, correspondientemente, los parámetros de presión y tiempo de inyección analizados previamente.

2.6.5.2 El circuito de escape

El escape ya no es un simple tubo de evacuación; es un laboratorio químico de contrapresión. Los gases de escape deben salir con la velocidad y energía térmica suficientes para impulsar la turbina del turbocompresor [36]:

- **Sincronización del escape:** Las válvulas de escape deben abrirse ligeramente antes de que el pistón llegue al Punto Muerto Inferior (PMI) en su carrera de expansión (Avance a la Apertura de Escape - AAE) para facilitar el vaciado rápido por inercia de los gases.

- **Restricción y filtros:** La puesta a punto electrónica debe contemplar la contrapresión generada por los sistemas anticontaminación como el Filtro de Partículas Diésel (DPF). Si el DPF está obstruido, los gases no fluyen libremente, el cilindro no se vacía por completo y el aire limpio de la admisión no encuentra espacio para ingresar, disminuyendo críticamente el rendimiento general del motor.

2.7 Compresión del motor diésel

La compresión del motor es la presión máxima que se genera dentro de la cámara de combustión cuando el pistón realiza su carrera ascendente desde el Punto Muerto Inferior (PMI) hasta el Punto Muerto Superior (PMS), estando las válvulas de admisión y escape completamente cerradas [37].

A diferencia de los motores de gasolina, donde la compresión prepara la mezcla para recibir una chispa, en el motor diésel la compresión es el mecanismo único que eleva la temperatura del aire a niveles tan extremos (más de 400°C) que el combustible se auto enciende instantáneamente al ser inyectado.

2.7.1 Importancia en el motor diésel

La compresión es el indicador definitivo de la salud mecánica e interna de un motor. Su importancia radica en tres pilares [38]:

- **Eficiencia térmica y fuerza:** Una alta compresión garantiza que la energía de la expansión de los gases se aproveche al máximo para empujar el pistón hacia abajo, traduciéndose en un óptimo torque y potencia.

- **Facilidad de arranque:** Si la compresión es la adecuada, el motor encenderá de inmediato, incluso en condiciones climáticas frías o a grandes altitudes geográficas.

- **Control de emisiones y consumo:** Una correcta presión asegura el quemado total del diésel. Si baja, quedará combustible sin quemar que se evacuará en forma de humo blanco/azul por el escape, aumentando el consumo.

2.7.2 Factores que afectan la compresión

La estanqueidad de la cámara de combustión depende de un sellado perfecto. Los factores que destruyen o disminuyen la compresión son [39]:

- **Desgaste en los anillos del pistón (Segmentos):** Si los anillos pierden su tensión o se desgastan, el aire se fuga hacia el cárter durante la compresión.
- **Problemas en las válvulas:** El hollín acumulado, un mal asentamiento mecánico o válvulas dobladas permiten que el aire escape hacia los colectores de admisión o escape.
- **Falla en la junta de culata (Empaque de Cabezote):** Si la junta se quema o se deforma, la presión se fuga hacia las camisas de refrigeración o comunica dos cilindros contiguos.
- **Desgaste del cilindro (Ovalización):** El roce constante del pistón puede desgastar las paredes del cilindro, impidiendo que los anillos sellen uniformemente.

2.7.3 Valores normales

Los motores diésel operan a presiones considerablemente más altas que sus contrapartes de gasolina debido a sus elevadas relaciones de compresión [39]:

- **Rango general diésel:** Los valores comerciales e industriales típicos oscilan entre 300 y 500 PSI (aproximadamente entre 20 y 35 bares).
- **Variabilidad por tecnología:** Mientras que un motor convencional de trabajo pesado trabaja cerca de los 450 PSI, los motores modernos de baja compresión (como la tecnología Skyactiv-D de Mazda) operan en rangos inferiores (alrededor de 300 - 320 PSI) optimizados electrónicamente.
- **Regla de oro de la tolerancia:** Más allá del valor absoluto, la diferencia de compresión entre el cilindro más alto y el más bajo no debe superar el 10% a 15%.

2.7.4 Interpretación de resultados

Al realizar una prueba con un manómetro de compresión diésel (conectado en el lugar de la bujía de precalentamiento o del inyector), los resultados se interpretan de la siguiente manera [39]:

- **Lecturas uniformes y altas:** El motor se encuentra en óptimas condiciones mecánicas; el sellado de anillos y válvulas es hermético.
- **Lecturas uniformemente bajas:** Indican un desgaste generalizado por kilometraje. El motor ha perdido eficiencia general y probablemente requiera una reparación completa (reacondicionamiento).
- **Un cilindro con baja compresión:** Sugiere un problema focalizado, comúnmente una válvula quemada o un anillo roto en ese cilindro específico.
- **Dos cilindros contiguos bajos:** Es el síntoma clásico de una junta de culata soplada o rota entre esos dos cilindros, permitiendo que la presión se transfiera de uno a otro.
- **Prueba húmeda (Inyección de aceite):** Si al colocar una pequeña cantidad de aceite de motor en el cilindro bajo la compresión sube notablemente, el problema está en los anillos. Si la compresión se mantiene igual de baja, el defecto radica en las válvulas o en la junta de culata.

2.8 Diagnóstico automotriz

El diagnóstico automotriz es el proceso sistemático y analítico mediante el cual se evalúa el estado operativo de un vehículo para identificar fallas, anomalías o desgastes prematuros en sus componentes. Combina el análisis técnico, el uso de herramientas especializadas y la interpretación de datos con el objetivo de determinar la causa raíz de un problema (falla activa) o prevenir averías futuras (diagnóstico predictivo), garantizando la seguridad, eficiencia y rendimiento original del automóvil [40].

2.8.1 Diagnóstico mecánico

Se enfoca en la evaluación de los componentes físicos, estructurales y cinemáticos del

vehículo (motor, suspensión, frenos, transmisión manual). Depende en gran medida de la experiencia sensorial del técnico y de herramientas de medición de precisión física [41]:

Métodos sensoriales: Inspección visual de fugas o fisuras, escucha de ruidos característicos (golpeteos, chirridos) y detección de vibraciones inusuales.

Pruebas de medición física: Uso de manómetros para verificar la compresión de los cilindros o la presión de aceite.

- Empleo de vacuómetros para analizar el comportamiento del flujo de aire en el colector de admisión.
- Medición de tolerancias con calibradores de láminas o micrómetros en piezas de desgaste.

2.8.2 Diagnóstico electrónico

Con la evolución tecnológica, la gestión de los vehículos modernos está centralizada en computadoras (ECU/ECM). El diagnóstico electrónico se encarga de auditar la red de sensores, actuadores y módulos de control que regulan el funcionamiento del automóvil [42]:

- **Escaneo de sistemas (OBD-II):** Conexión de un equipo de diagnóstico (escáner) al puerto unificado del vehículo para extraer el historial de la computadora.
- **Códigos de falla (DTC):** Interpretación de los códigos alfanuméricos estandarizados (por ejemplo, P0300 para fallas de encendido o P0201 para fallas en el inyector 1) que indican en qué circuito o componente reside la anomalía.
- **Flujo de datos en tiempo real:** Análisis de los valores dinámicos del motor mientras está en marcha (temperaturas, milisegundos de inyección, voltajes de sensores de oxígeno).
- **Uso del osciloscopio:** Herramienta avanzada para graficar las ondas de señales eléctricas rápidas (como las de los sensores CKP/CMP o pulsos de inyectores Common Rail) que un escáner común no alcanza a registrar con precisión.

2.8.3 Procedimientos generales de diagnóstico

Para garantizar la efectividad y evitar el reemplazo innecesario de repuestos (el error de "adivinar"), se sigue un protocolo estandarizado [41]:

1. **Recepción e interrogatorio (Anamnesis):** Recopilar información detallada del usuario sobre el comportamiento de la falla (¿cuándo ocurre?, ¿en frío o en caliente?, ¿a qué velocidad?).
2. **Inspección visual preliminar:** Revisar el estado de la batería, fusibles, conexiones eléctricas principales, niveles de fluidos y mangueras de vacío.
3. **Escaneo electrónico inicial:** Conectar el escáner automotriz para documentar todos los códigos de falla presentes y congelar los datos en el cuadro congelado (freeze frame).
4. **Pruebas especializadas de verificación:** Validar el componente sospechoso. Si el escáner acusa un sensor, se comprueba con un multímetro u osciloscopio que le llegue la alimentación (5V o 12V), la masa y que emita la señal correcta.
5. **Aislamiento y reparación:** Una vez localizada la causa exacta (falla mecánica, cableado roto o sensor defectuoso), se ejecuta la reparación o sustitución de la pieza.
6. **Borrado de memoria y prueba de ruta:** Se borran los DTC de la ECU y se realiza un ciclo de conducción en carretera para asegurar que los monitores internos se completen y la falla no vuelva a activarse.

2.9 Escáner automotriz

Un escáner automotriz es una herramienta electrónica de diagnóstico profesional que se conecta a la Unidad de Control Electrónica (ECU) de un vehículo. Su propósito principal es interactuar con las computadoras a bordo del automóvil para extraer información detallada sobre el estado de salud de sus diversos sistemas (motor, transmisión, frenos ABS, bolsas de aire, carrocería, entre otros) [42].

Lejos de ser un dispositivo que simplemente "borra luces del tablero", es una interfaz de comunicación bidireccional indispensable para la reparación y el mantenimiento

predictivo de los vehículos modernos.

2.9.1 Principio de funcionamiento

El funcionamiento del escáner se basa en un protocolo de comunicación digital estandarizado [42]:

Enlace de datos: Se establece una conexión física y digital entre el procesador del escáner y la red multiplexada del vehículo (generalmente bajo el protocolo CAN Bus).

Petición de información (Request): El escáner envía comandos específicos solicitando datos a la ECU.

Procesamiento e Interpretación: La ECU responde enviando cadenas de datos binarios. El software del escáner decodifica estos bytes de información y los traduce a un lenguaje comprensible para el técnico (textos, gráficos y valores numéricos).

2.9.2 El Estándar OBD II (On-Board Diagnostics)

Antes de la década de 1990, cada fabricante de autos diseñaba su propio conector y sus propios códigos de falla (época del OBD I), obligando a los talleres a comprar decenas de adaptadores. Para solucionar esto, en 1996 se estandarizó en Norteamérica (y posteriormente en Europa como EOBD) el sistema OBD II. Este estándar introdujo [42]:

- El Conector DLC Unificado: Un puerto trapezoidal de 16 pines que se ubica obligatoriamente a no más de un metro del volante del conductor (habitualmente debajo del tablero).
- Protocolos universales: Reglas de comunicación universales para que cualquier escáner genérico pueda leer los datos de emisiones de cualquier marca de vehículo.

2.9.3 Lectura e Interpretación de Códigos DTC

Cuando la ECU detecta que un sensor envía una señal fuera de sus rangos de tolerancia durante un tiempo determinado, enciende la luz de alerta en el tablero (Check Engine) y almacena un DTC (Diagnostic Trouble Code o Código de Falla). Los códigos OBD II están estandarizados bajo una estructura alfanumérica de 5 dígitos que permite descifrar

el origen del problema a simple vista [42]:

P0302

Primera letra (Sistema):

- P (Powertrain): Motor y Transmisión.
- B (Body): Carrocería, aire acondicionado, airbags.
- C (Chassis): Frenos, dirección, suspensión.
- U (Network): Errores de comunicación entre computadoras.

Segundo Dígito (Origen): El 0 indica un código universal SAE (válido para cualquier marca); el 1 indica un código específico del fabricante.

Tercer dígito (Subsistema): Por ejemplo, el 3 indica fallas en el sistema de encendido o fallas de encendido (misfire).

Cuarto y quinto dígito: Identifican la sección específica de la avería (en el ejemplo 02 se refiere al cilindro número 2).

Un DTC no le dice al técnico qué pieza exacta debe cambiar; le indica en qué circuito o sistema hay una lectura anormal. Por ejemplo, un código de sensor de oxígeno bajo puede deberse al sensor roto, a un cable cortado o a una entrada de aire pirata en el motor.

2.9.4 Análisis de parámetros en tiempo real (Data Stream)

Esta es la función más potente del escáner para diagnosticar fallas intermitentes o complejas. Permite visualizar el comportamiento dinámico de los componentes mecánicos y electrónicos con el motor en marcha. Los parámetros en tiempo real más críticos que un técnico debe monitorear incluyen [42]:

- **RPM del motor:** Permite evaluar la estabilidad de la marcha mínima (ralentí).
- **STFT y LTFT** (Ajustes de Combustible a Corto y Largo Plazo): Indican en porcentaje (%) si la ECU está agregando o quitando gasolina para compensar deficiencias de aire o combustible. Si están muy alejados de 0%, hay un problema de mezcla.
- **Temperatura del refrigerante (ECT):** Esencial para verificar el correcto rango

de trabajo térmico y la activación de los electroventiladores.

- **Masa de Aire (MAF) / Presión de Admisión (MAP):** Muestra el volumen real de aire que ingresa a los cilindros, parámetro fundamental para validar la eficiencia volumétrica.
- **Voltaje de los sensores de oxígeno:** En motores de gasolina, debe oscilar rápidamente entre 0.1V (mezcla pobre) y 0.9V (mezcla rica). Una línea plana delata un componente defectuoso o una falla grave en la combustión.

2.10 El osciloscopio automotriz

Un osciloscopio automotriz es un instrumento de medición y diagnóstico electrónico de alta velocidad que captura las señales eléctricas de un vehículo y las representa gráficamente en tiempo real en una pantalla bidimensional [43].

A diferencia del multímetro convencional que solo muestra un promedio numérico lento de la tensión, el osciloscopio actúa como una cámara de alta velocidad para la electricidad. Permite al técnico visualizar la variación exacta del voltaje (eje vertical Y) a lo largo del tiempo (eje horizontal X), lo que lo convierte en la herramienta definitiva para detectar fallas intermitentes, caídas microscópicas de tensión y anomalías electrónicas que ocurren en millonésimas de segundo [43].

2.10.1 Principio de funcionamiento

El osciloscopio automotriz opera recolectando señales analógicas de los circuitos del vehículo y procesándolas digitalmente para su análisis [43]:

- **Muestreo (Sampling Rate):** El equipo toma fotografías del voltaje a una velocidad de millones de veces por segundo (Megamuestras por segundo o MS/s). Esto garantiza que no se pierda ningún evento transitorio o pico de interferencia.
- **El Sistema de disparo (Trigger):** Es el corazón lógico del osciloscopio. El trigger actúa como un estabilizador de imagen; le indica al equipo a partir de qué voltaje exacto (positivo o negativo) debe comenzar a dibujar la señal en la pantalla. Sin un disparo bien configurado, la gráfica se movería caóticamente de un lado a otro, imposibilitando su lectura.

- **Sondas de medición (Atenuadores):** Las puntas de prueba se conectan a los cables de señal de los componentes. En circuitos de alta tensión o picos inductivos (como bobinas o inyectores), se utilizan atenuadores (ej. 10:1 o 20:1) para reducir el voltaje de entrada y proteger los circuitos internos del osciloscopio.

2.10.2 Interpretación de señales

Para leer correctamente una onda en la pantalla, el técnico debe dominar tres variables fundamentales:

- **Amplitud (Voltaje):** Medido verticalmente. Determina la fuerza de la señal. Si un sensor debe emitir 5V y la cresta de la gráfica llega solo a 3.2V, hay una resistencia interna o una falla de alimentación.
- **Frecuencia / Período:** Medido horizontalmente. El período es el tiempo que tarda en completarse un ciclo completo de la onda, y la frecuencia es cuántas veces se repite ese ciclo en un segundo (Hz). Al acelerar el motor, las ondas deben comprimirse horizontalmente (mayor frecuencia).
- **Ancho de Pulso / Ciclo de Trabajo (Duty Cycle):** Indica el porcentaje de tiempo (%) que un componente permanece activado (conectado a masa o a positivo) dentro de un ciclo. Es vital para diagnosticar actuadores controlados por modulación de ancho de pulso (PWM).

2.11 Análisis de componentes críticos con osciloscopio

A. Sensores de Posición del Cigüeñal (CKP) y Árbol de levas (CMP)

Estos sensores informan a la ECU la velocidad del motor y la posición exacta de los pistones y válvulas para sincronizar la inyección y el encendido. Según su tecnología, generan dos tipos de ondas:

- **Sensores inductivos (Magnéticos):** Generan su propio voltaje alterno (VA) mediante un imán y una bobina. Su señal en el osciloscopio es una onda sinusoidal (análoga). La amplitud y la frecuencia de las curvas crecen a medida que el motor gira más rápido. Una interrupción en los dientes de la rueda fónica (espacio en blanco) se visualiza como un salto largo en la onda, que la ECU usa como punto

de referencia estructural.

- **Sensores de efecto hall:** Requieren alimentación externa (ej. 5V o 12V) y un cable de masa. Su señal es una onda cuadrada digital (cambios limpios entre 0V y el voltaje de alimentación). El osciloscopio permite verificar que las esquinas de los cuadrados sean perfectamente verticales; si lucen redondeadas o tienen ruido, el sensor o el cableado están defectuosos.

Diagnóstico avanzado de sincronización: Al colocar el CKP en el Canal 1 y el CMP en el Canal 2, se puede realizar una prueba de correlación. Si los dientes de ambas gráficas no se alinean exactamente como dicta el manual del fabricante, se confirma un estiramiento de la cadena de distribución o un desfase en la correa sin necesidad de desarmar el motor [44]:

B. Inyectores diésel (Common Rail)

Los inyectores de un sistema Common Rail operan bajo presiones hidráulicas extremas, por lo que exigen estrategias de activación eléctrica sumamente rápidas y complejas por parte de la ECU. Su señal es radicalmente distinta a la de un inyector de gasolina.

- **Fase de apertura (Pico de Corriente/Voltaje):** Para vencer la enorme presión del riel y levantar la aguja del inyector, la ECU envía un pulso inicial de voltaje muy elevado (que puede oscilar entre 80V y más de 150V, dependiendo de si el inyector es electromagnético de alta eficiencia o piezoeléctrico). Esto se observa en el osciloscopio como una línea vertical balística y repentina.
- **Fase de retención:** Una vez abierto el inyector, la ECU reduce el voltaje a un nivel de mantenimiento para evitar quemar la bobina o el elemento piezoeléctrico. En la pantalla, esto se grafica como una sección modulada (PWM) en forma de sierra o escalón.
- **Fase de cierre y pulso múltiple:** Al cortarse la energía, la aguja cae. Debido a la velocidad del osciloscopio, en un solo ciclo de combustión (una sola carrera del pistón) se pueden observar claramente las etapas fraccionadas: la pre-inyección (un pulso pequeño inicial), la inyección principal (el pulso más ancho) y, en ocasiones, la post-inyección. Cualquier deformación en el ancho de estos pulsos delata un fallo directo en los controladores internos de la ECU o un corto circuito en las líneas.

2.12 Gestión electrónica: Sensores y actuadores en motores diésel

La Unidad de Control Electrónica (ECU) depende de una red de componentes analógicos y digitales para gobernar la combustión con precisión milimétrica. Estos componentes se dividen en sensores (encargados de medir magnitudes físicas y transformarlas en señales eléctricas) y actuadores (los elementos mecánicos o hidráulicos que ejecutan las órdenes de la ECU) [45].

2.12.1 Sensores de posición y sincronización

A. Sensor de Posición del Cigüeñal (CKP - Crankshaft Position Sensor)

Mide las revoluciones por minuto (rpm) del motor y la posición exacta de los pistones en su carrera cilíndrica. Generalmente montado en el bloque del motor, apuntando hacia una rueda fónica dentada solidaria al cigüeñal o al volante de inercia. Es el sensor primario de encendido. Si el CKP falla o se desconecta, la ECU pierde la noción del movimiento del motor y, por seguridad, apaga los inyectores de inmediato, imposibilitando el arranque[46].

B. Sensor de posición del árbol de Levas (CMP - Camshaft Position Sensor)

Identifica cuál de los cilindros se encuentra específicamente en su carrera de compresión (fase de ciclo de cuatro tiempos). Instalado en la culata o cabezote, enfrentado a una sección relactora del árbol de levas de admisión o escape. Trabaja en estrecha correlación con el CKP. Mientras el CKP dice en qué posición están los pistones, el CMP le aclara a la ECU cuál de ellos está listo para recibir la inyección de combustible (sincronización secuencial) [46].

C. Sensor de presión absoluta del múltiple (MAP - Manifold Absolute Pressure)

Mide la presión del aire dentro del colector de admisión. En motores diésel turboalimentados, este sensor cuantifica la presión de sobrealimentación generada por el turbocompresor. Conectado directamente al múltiple de admisión, posterior al intercooler. Permite que la ECU conozca con cuánta fuerza se está introduciendo el aire a los cilindros. Si el MAP registra una lectura baja (por ejemplo, por una manguera rota del turbo), la computadora reduce preventivamente la inyección para evitar exceso de

humo negro por falta de oxígeno [46].

D. Sensor de Masa de Flujo de Aire (MAF - Mass Air Flow)

Mide la cantidad física (masa en gramos por segundo) y la temperatura del aire que ingresa al sistema de inducción, instalado en el conducto de entrada de aire, inmediatamente después del filtro de aire y antes de la entrada al turbocompresor. Utiliza un hilo o película caliente que se enfría proporcionalmente al caudal de aire que lo atraviesa. Proporciona el dato exacto del volumen de oxígeno disponible para calcular el mapa de inyección base y para monitorear el correcto funcionamiento del sistema EGR[46].

E. Sensor del Riel de Combustible (RPS - Rail Pressure Sensor)

Monitorea de manera ininterrumpida la presión del combustible acumulado dentro del riel común de alta presión, roscado directamente en uno de los extremos del tubo del riel común. Es un componente piezo-resistivo que opera bajo rangos extremos (enviando señales analógicas de voltaje de entre 0.5V y 4.5V proporcionalmente a presiones que superan los 2,000 bares). La ECU utiliza su lectura en un lazo de retroalimentación cerrado: Si la presión real medida por el RPS difiere de la presión ideal programada, la ECU ajusta la válvula de dosificación de la bomba de alta presión para corregirla inmediatamente [46].

F. Válvula de Recirculación de Gases de Escape (EGR - Exhaust Gas Recirculation)

Reducir las emisiones contaminantes de Óxidos de Nitrógeno (NO_x). Lo logra reintroduciendo una cantidad controlada de gases de escape residuales (quemados y enfriados) de vuelta al múltiple de admisión. Los gases de escape actúan como un gas inerte dentro de la cámara, desplazando parte del oxígeno y disminuyendo la temperatura pico de la combustión. Dado que los NO_x solo se forman a temperaturas extremadamente altas (superiores a los 1,370°C), la activación controlada de la EGR frena su aparición química. Es un actuador comandado por la ECU mediante señales de modulación por ancho de pulso (PWM) que abren o cierran una compuerta interna según la carga del motor [46].

G. Inyectores diésel

Dosificar y pulverizar el combustible diésel a presiones críticas directamente dentro de la cámara de combustión. Actúan como electroválvulas de velocidad ultra alta. Reciben pulsos de corriente de alta intensidad controlados por la ECU que rompen el equilibrio hidráulico en sus cámaras internas, permitiendo que la aguja del inyector se levante por fracciones de milisegundo. Son los actuadores más rápidos de la mecánica. Tienen la capacidad de abrirse y cerrarse múltiples veces dentro de una sola carrera de potencia del pistón, ejecutando con precisión milimétrica las etapas de pre-inyección, inyección principal y post-inyección indispensables para la suavidad de marcha y el rendimiento térmico del motor [46].

2.13 Diagnóstico de fallas mecánicas vs. electrónicas

El diagnóstico en los motores modernos exige comprender la delgada línea que separa los componentes puramente mecánicos de la gestión electrónica (Tabla 2). Aunque un fallo en cualquiera de las dos áreas puede provocar el mismo síntoma final (como la pérdida de potencia), la metodología para descubrir la causa raíz es radicalmente opuesta [47].

Tabla 2. Fallas mecánicas y electrónicas

Característica	Fallas mecánicas	Fallas electrónicas
Naturaleza	Desgaste físico, rotura, deformación o falta de estanqueidad en componentes cinemáticos o hidráulicos.	Cortocircuitos, líneas abiertas, fallas de software o sensores/actuadores dañados.
Monitoreo por ECU	Generalmente **no** son detectadas de forma directa por la computadora. No generan un código de error específico inmediato.	Son detectadas de forma instantánea. La ECU registra un código DTC y enciende un testigo en el tablero.
Herramientas de Medición	Manómetros, vacuómetros, micrómetros, calibradores, estetoscopios mecánicos.	Escáner automotriz (OBD II), multímetro, osciloscopio, punta lógica.
Comportamiento	Suelen ser progresivas (el desgaste aumenta con el tiempo y el uso).	Suelen ser súbitas o intermitentes (un cable suelto puede fallar solo con las vibraciones).

Tomado de: Cahueñas, Fallas en MCI, 2024 [32].

2.13.1 Síntomas comunes y su orientación

Aprender a interpretar los síntomas ayuda a clasificar el problema desde la recepción del vehículo [47]:

2.13.1.1 Síntomas de orientación mecánica

- **Ruidos metálicos estructurales:** Golpeteos en el cárter (bielas/bancada) o soplidos rítmicos en la culata (asiento de válvulas).
- **Humo persistente por el escape:** Humo azul (paso de aceite por anillos o sellos de válvula) o humo blanco denso constante (paso de refrigerante por empaque soplado).
- **Pérdida de fluidos o sobrecalentamiento:** Fugas físicas de aceite, refrigerante o combustible que alteran la presión interna del sistema.
- **Falta de fuerza constante acompañada de soplido:** Manguera del intercooler rota o fisura en el colector de admisión.

2.13.1.2 Síntomas de orientación electrónica

- **Luz de check engine activada:** Presencia de códigos de error activos o en memoria en la ECU.
- **Apagado repentino e intermitente:** El motor se apaga por completo como si se cortara la llave, y vuelve a encender tras unos minutos (clásico fallo térmico en sensores CKP).
- **Modo de emergencia (Limp Mode):** El vehículo limita las revoluciones (usualmente a 2,500 rpm) y anula el turbo de forma electrónica para proteger el motor debido a una lectura peligrosa detectada por un sensor.
- **Lecturas erráticas en el tablero:** Agujas que saltan, variaciones de voltaje o fallos en múltiples accesorios al mismo tiempo (problemas de masas o redes CAN Bus).

2.14 Procedimiento correcto de diagnóstico (Paso a paso)

Para evitar el error común de reemplazar componentes al azar ("adivinar"), se debe aplicar un método científico estricto [47]:

Paso 1: Recepción e interrogatorio técnico (Anamnesis)

Consiste en recopilar el historial clínico de la falla hablando con el conductor:

- ¿En qué condiciones exactas se presenta la falla? (¿En frío, en caliente, al acelerar a fondo, al pasar un bache?).
- ¿Se le ha realizado algún mantenimiento o reparación mecánica o eléctrica recientemente?

Paso 2: Inspección visual y sensorial preliminar

Antes de conectar cualquier equipo, realice una revisión ocular del motor:

- Verifique el estado y la tensión de las correas, el nivel y estado de los fluidos (aceite y refrigerante).
- Revise que los bornes de la batería estén limpios y ajustados.
- Busque cables pelados, conectores flojos, mangueras de vacío agrietadas o tubos de admisión sueltos.

Paso 3: Diagnóstico electrónico inicial (Fase digital)

Conecte el escáner automotriz en el puerto OBD II:

1. **Lectura de DTC:** Documente todos los códigos presentes (activos y pendientes).

2. Cuadro congelado (Freeze frame): Analice los datos guardados en el momento exacto en que ocurrió la falla (temperatura, rpm, velocidad) para recrear el escenario del problema.

2. **Flujo de Datos:** Monitoree los parámetros vivos (voltaje de batería, masa de aire, presión de combustible) para identificar incongruencias.

Paso 4: Diagnóstico mecánico y pruebas especializadas (Fase física)

Si el escáner acusa fallas de mezcla o de combustión, pero no hay códigos concluyentes sobre un componente electrónico, se pasa a verificar la integridad de los metales:

- **Prueba de compresión:** Mida la presión cilindro por cilindro para descartar problemas de anillos o válvulas.

- **Prueba de vacío / Presión de admisión:** Valide que el motor aspire el aire de manera uniforme o que el turbo sople a la presión indicada por catálogo.
- **Medición de Presiones Hidráulicas:** Use manómetros físicos para constatar la presión real de la bomba de aceite o del circuito de baja presión de combustible.

Paso 5: Correlación de datos y aislamiento de la falla

Cruce los resultados del escáner con las mediciones físicas.

Ejemplo: Si el escáner reporta un código de baja presión en el riel de combustible, pero al medir con el manómetro físico en la línea de alimentación la presión es excelente, el fallo es puramente electrónico: El sensor RPS está descalibrado o su cableado tiene una alta resistencia. Si ambas presiones son bajas, el fallo es mecánico/hidráulico (bomba de alta presión desgastada o inyector con excesivo retorno).

Paso 6: Reparación, borrado de memoria y prueba de ruta

Una vez corregido el daño (mecánico o electrónico):

- Borre la memoria de averías de la ECU con el escáner.
- Realice un ciclo de conducción por carretera (prueba de ruta) simulando las condiciones originales de la falla para certificar que los monitores internos de la computadora se completen con éxito y la anomalía quede resuelta definitivamente.

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Enfoque y tipo de investigación

La presente investigación se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo, debido a que se fundamenta en la medición objetiva y el análisis de variables mecánicas y electrónicas relacionadas con el funcionamiento de los motores diésel Mazda. Este enfoque permite obtener información mediante la recolección de datos numéricos provenientes de equipos de diagnóstico automotriz, facilitando la comparación de los valores obtenidos con las especificaciones técnicas establecidas por el fabricante.

Durante el desarrollo de la investigación se analizarán variables cuantificables como la presión de compresión del motor, la presión del combustible en el riel Common Rail, los voltajes de alimentación y señal de los sensores, la frecuencia de las señales generadas por los sensores de posición del cigüeñal (CKP) y del árbol de levas (CMP), así como el ancho de pulso de los inyectores y actuadores electrónicos. Estos parámetros serán registrados mediante equipos de diagnóstico especializados y posteriormente comparados con los valores de referencia establecidos en el manual de servicio de Mazda.

El uso de información cuantificable permitirá establecer criterios técnicos para determinar el estado de funcionamiento del motor y diferenciar con mayor precisión las fallas de origen mecánico y electrónico.

3.2 Materiales

3.2.1 Motor diésel Mazda

El motor diésel Mazda constituye el objeto de estudio de la presente investigación. Se trata de un motor de encendido por compresión equipado con sistema de inyección electrónica Common Rail, diseñado para ofrecer mayor eficiencia energética, menor consumo de combustible y reducción de emisiones contaminantes [11].

Figura 5. Banco experimental



Tabla 3. Ficha técnica motor Mazda

Característica	Especificación
Motor	Mazda Diésel Common Rail
Combustible	Diésel
Sistema de inyección	Common Rail
Número de cilindros	4 en línea
Refrigeración	Líquida
Tipo de encendido	Compresión

3.2.2 Escáner automotriz

El escáner automotriz es un equipo electrónico utilizado para comunicarse con la unidad de control del motor (ECU), permitiendo leer códigos de falla, visualizar parámetros en tiempo real y realizar pruebas funcionales sobre sensores y actuadores [22].

Figura 6. Escáner automotriz



Tabla 4. Ficha técnica escáner

Característica	Especificación
Equipo	Escáner OBD-II
Alimentación	12 V
Comunicación	CAN, ISO, K-Line
Funciones	Lectura DTC, datos en vivo, borrado de códigos

3.2.2 Osciloscopio automotriz

El osciloscopio automotriz permite visualizar las señales eléctricas producidas por sensores y actuadores del motor, facilitando la detección de fallas que no pueden identificarse únicamente mediante el escáner [23].

Figura 7. Osciloscopio



Tabla 5. Ficha técnica osciloscopio

Característica	Especificación
Equipo	Osciloscopio automotriz
Canales	2 o 4
Voltaje máximo	±100 V
Aplicación	Diagnóstico electrónico

3.2.3 Medidor de compresión

El medidor de compresión es el instrumento empleado para determinar la presión desarrollada en cada cilindro durante la carrera de compresión, permitiendo evaluar el estado mecánico del motor [10].

Figura 8. Medidor de compresión



Tabla 6. Ficha técnica medidora de compresión

Característica	Especificación
Equipo	Compresímetro para diésel
Escala	0–1000 psi
Unidad	psi / bar
Aplicación	Medición de la compresión

3.3 Método

3.3.1 Procedimiento metodológico

Este diagrama de flujo es una representación metodológica del protocolo estandarizado que debe seguir un técnico para encontrar fallas en un vehículo. En resumen, trata de estructurar el diagnóstico para no "adivinar" averías, mostrando un camino lógico que va desde lo más básico hasta el análisis electrónico complejo. Se divide en estas etapas principales:

- **Fase preparatoria y física:** Comienza con la revisión de la literatura (manuales del fabricante), la selección del vehículo, la inspección visual (buscar fugas, cables sueltos) y las pruebas mecánicas fundamentales, como la prueba de compresión de los cilindros.
- **Fase de diagnóstico electrónico avanzado:** Una vez descartado lo físico, se procede a conectar el escáner al puerto OBD-II para leer la computadora del auto y al uso del osciloscopio para revisar las señales de los sensores.
- **Fase analítica y veredicto final:** Todo lo medido se registra y se compara con los parámetros ideales u oficiales del fabricante. Con esa información, el técnico analiza los resultados y emite las conclusiones o el reporte final de reparación.

Figura 9. Diagrama de flujo



Tomado de: Elaboración propia, asistido por herramienta de Inteligencia Artificial, 2026.

Explicación del procedimiento

Paso 1. Revisión bibliográfica

Se recopilará información técnica relacionada con motores diésel Mazda, sistemas Common Rail y procedimientos de diagnóstico para establecer los fundamentos teóricos de la investigación.

Paso 2. Selección de los vehículos

Se seleccionarán los 5 vehículos Mazda diésel que conforman la muestra de estudio, verificando que presenten condiciones adecuadas para la aplicación de las pruebas de diagnóstico.

Paso 3. Inspección visual

Se verificará el estado general del motor, revisando posibles fugas, conexiones eléctricas, filtros y componentes visibles antes de iniciar las pruebas.

Figura 10. Inspección visual

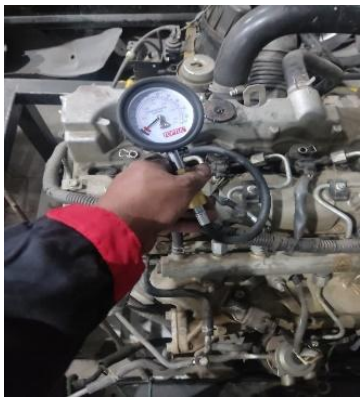


Paso 4. Prueba de compresión

La prueba de compresión es una evaluación mecánica fundamental para determinar la salud interna del motor. Consiste en medir la capacidad que tiene cada cilindro para sellar herméticamente y comprimir el aire en su interior. En los motores diésel esta prueba es crítica, ya que estos vehículos no utilizan chispa; dependen exclusivamente de la altísima presión para calentar el aire y lograr que el combustible explote.

Para ejecutarla, se conecta un manómetro especializado (medidor de compresión) en la entrada de los cilindros y se hace girar el motor. Los valores máximos de presión (medidos en PSI o Bares) se registrarán cuidadosamente. Si la prueba arroja presiones bajas, significa que el aire se está fugando (ya sea por desgaste en los anillos del pistón, válvulas que no cierran bien o empaques dañados). Estos datos físicos serán vitales para compararlos posteriormente con el manual del fabricante.

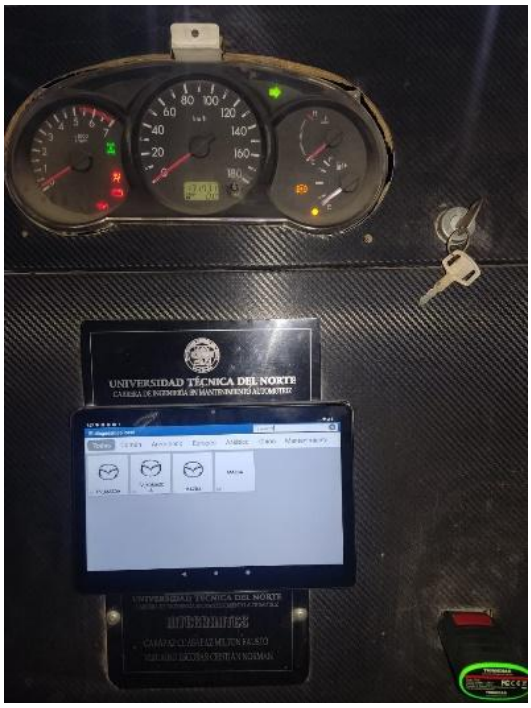
Figura 11. Prueba de compresión



Paso 5. Diagnóstico mediante escáner

El diagnóstico mediante escáner consiste en conectar un equipo de diagnóstico al puerto OBD-II del vehículo para comunicarse con las unidades de control electrónico. Este procedimiento permite leer códigos de falla, monitorear parámetros en tiempo real y verificar el funcionamiento de sensores y actuadores, facilitando la identificación precisa de averías y reduciendo el tiempo necesario para la reparación.

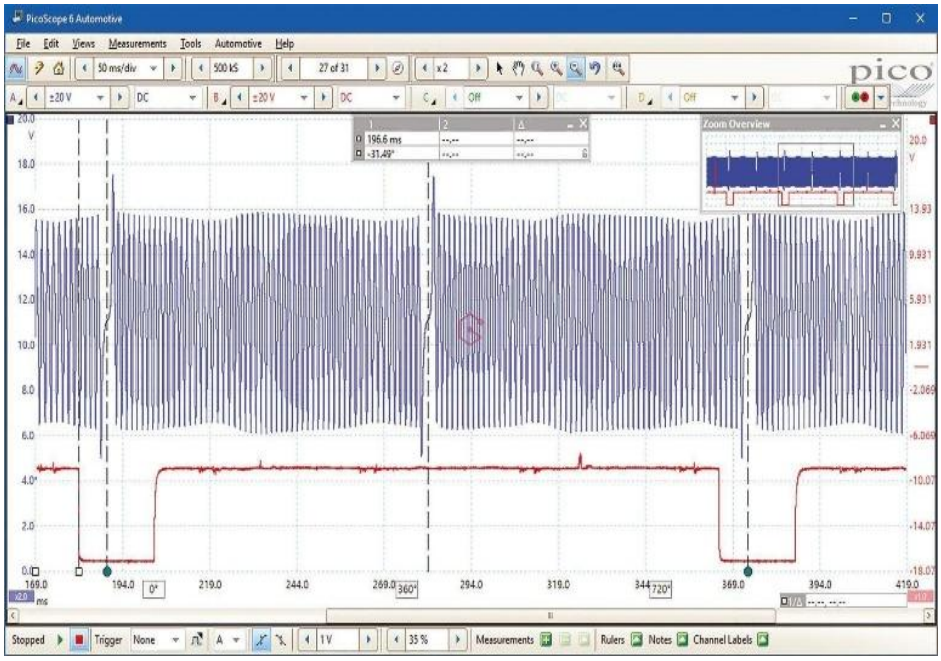
Figura 12. Escáner automotriz



Paso 6. Análisis con osciloscopio

El análisis con osciloscopio permite evaluar las señales eléctricas generadas por sensores, actuadores y módulos electrónicos del vehículo en tiempo real. Mediante la observación de la forma de onda, frecuencia, amplitud y tiempo de respuesta, es posible detectar fallas que un escáner no identifica, proporcionando un diagnóstico más preciso del funcionamiento de los sistemas electrónicos del motor.

Figura 13. Osciloscopio



Paso 7. Registro y análisis de datos

Los resultados obtenidos se organizarán en tablas y gráficos para comparar los valores medidos con las especificaciones técnicas del fabricante y determinar la influencia de los parámetros de puesta a punto en la precisión del diagnóstico.

Paso 8. Comparación con parámetros del fabricante

Se contrastarán los valores cuantitativos y las gráficas registradas en el paso anterior directamente con las especificaciones técnicas oficiales establecidas en los manuales de taller de Mazda. Este paso es crucial para identificar desviaciones, tolerancias excedidas o señales fuera de rango.

Paso 9. Análisis del técnico (Análisis de resultados)

Se evaluará toda la información recopilada mediante criterio técnico especializado. En esta etapa, el especialista correlacionará los datos mecánicos y electrónicos para interpretar las discrepancias encontradas, determinando así la causa raíz de la falla y cómo afecta la puesta a punto del motor.

3.3.2 Matriz de operacionalización de variables

Con el propósito de establecer un nexo metodológico sólido entre los fundamentos teóricos de la investigación y la fase de experimentación empírica, se procedió al desarrollo de la matriz de operacionalización de variables. Este proceso consiste en la descomposición sistemática de las variables de estudio en elementos mínimos medibles, permitiendo transformar conceptos abstractos y complejos en magnitudes concretas, observables y verificables en el entorno técnico y mecánico.

La desagregación de las variables en dimensiones e indicadores específicos garantiza la validez, replicabilidad y fiabilidad de los datos recolectados durante los ensayos diagnósticos aplicados a los motores diésel de la muestra. Asimismo, este ordenamiento metodológico delimita con precisión las técnicas analíticas y los instrumentos tecnológicos de medición tales como el manómetro de compresión analógico, el escáner de diagnóstico a bordo (OBD-II) y el osciloscopio digital de automoción que se requieren para auditar las magnitudes físicas y electrónicas del sistema.

En la Tabla 7 se despliega de forma pormenorizada la estructura de la matriz de operacionalización, la cual es como la guía analítica rectora para el levantamiento de datos en el taller y la posterior interpretación de resultados frente a las tolerancias exigidas por el fabricante.

Tabla 7. Matriz de operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Técnica	Instrumento	Escala de medición
Variable Independiente: Parámetros de puesta a punto	Conjunto de parámetros mecánicos y electrónicos que deben verificarse para garantizar el correcto funcionamiento del motor diésel antes de realizar un diagnóstico.	Se evaluarán los parámetros de puesta a punto mediante pruebas técnicas utilizando un medidor de compresión, escáner automotriz y osciloscopio.	Compresión del motor	Presión de compresión por cilindro	Observación técnica	Compresímetro	PSI o bar
			Sistema de inyección	Presión del riel Common Rail	Diagnóstico electrónico	Escáner automotriz	MPa, bar, ms
				Tiempo de inyección			
				Estado de los inyectores			
			Sincronización	Sincronización CKP-CMP	Diagnóstico electrónico	Osciloscopio	Conforme / No conforme
			Sensores y actuadores	Señales CKP, CMP, MAP, MAF, sensor del riel	Observación técnica	Osciloscopio y escáner	Voltios (V), frecuencia (Hz), forma de onda
Variable Dependiente: Precisión del diagnóstico de fallas mecánicas y electrónicas	Capacidad para identificar correctamente la causa de una avería mediante la evaluación de los parámetros de puesta a punto.	Se determinará mediante el análisis de los resultados obtenidos en las pruebas de diagnóstico mecánico y electrónico realizadas al motor.	Diagnóstico mecánico	Identificación de desgaste interno, fugas de compresión y estado del motor	Observación técnica	Ficha de observación	Correcto / Incorrecto
			Diagnóstico electrónico	Interpretación de códigos DTC, parámetros en tiempo real y señales de sensores	Diagnóstico electrónico	Escáner automotriz	Correcto / Incorrecto
			Eficiencia del diagnóstico	Tiempo de diagnóstico	Registro técnico	Hoja de registro	Minutos, porcentaje (%)
				Precisión en la identificación de la falla			
				Reducción del reemplazo innecesario de componentes			

3.3.3 Procedimiento y análisis de datos

El procedimiento de la investigación se desarrollará de manera secuencial, iniciando con la recopilación de información bibliográfica relacionada con los motores diésel Mazda, los sistemas de inyección Common Rail y los parámetros de puesta a punto, con el propósito de establecer los fundamentos teóricos que sustenten el estudio. Posteriormente, se seleccionarán los vehículos que cumplan con los criterios establecidos para la investigación y se realizará una inspección visual con el fin de verificar el estado general del motor y de sus principales componentes.

Una vez concluida la inspección inicial, se efectuará la medición de la compresión de los cilindros utilizando un medidor de compresión para motores diésel, registrando los valores obtenidos en una ficha técnica diseñada para la investigación. Posteriormente, mediante un escáner automotriz se realizará la lectura de códigos de diagnóstico (DTC) y de los parámetros de funcionamiento en tiempo real, permitiendo identificar posibles anomalías en el sistema electrónico del motor.

Como complemento del diagnóstico, se empleará un osciloscopio automotriz para analizar las señales generadas por los principales sensores y actuadores del sistema de inyección Common Rail, tales como el sensor de posición del cigüeñal (CKP), el sensor de posición del árbol de levas (CMP), el sensor de presión del riel y los inyectores. Las formas de onda obtenidas serán comparadas con los valores de referencia establecidos por el fabricante y con la información técnica consultada durante la revisión bibliográfica.

Los datos recopilados serán organizados en tablas y matrices de registro para facilitar su procesamiento y análisis. Posteriormente, se realizará un análisis descriptivo de la información mediante la comparación de los parámetros medidos con los valores técnicos recomendados por el fabricante, permitiendo determinar si existen desviaciones que afecten el funcionamiento del motor y la precisión del diagnóstico.

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 Resultados obtenidos

La investigación se desarrolló sobre una muestra censal de 5 vehículos Mazda con motor diésel equipados con sistema de inyección Common Rail. En cada vehículo se efectuó una inspección técnica mediante la medición de la compresión de los cilindros, la lectura de parámetros con escáner automotriz y el análisis de señales eléctricas utilizando un osciloscopio.

Los resultados obtenidos en las pruebas de compresión evidenciaron que la mayoría de los vehículos presentaron valores dentro de los rangos establecidos por el fabricante, indicando un adecuado estado mecánico del motor. Sin embargo, en algunos casos se identificaron diferencias entre cilindros y valores inferiores a los recomendados, lo que permitió detectar posibles pérdidas de compresión asociadas al desgaste de componentes internos.

Mediante el escáner automotriz fue posible identificar códigos de diagnóstico (DTC) relacionados principalmente con el sistema de alimentación de combustible y los sensores del motor. La información obtenida permitió complementar el diagnóstico mecánico y facilitar la localización de posibles anomalías en el sistema de inyección electrónica.

El análisis realizado con el osciloscopio permitió verificar el comportamiento de las señales emitidas por los sensores CKP, CMP, MAP y los inyectores Common Rail. La comparación de las formas de onda obtenidas con los parámetros técnicos de referencia permitió identificar irregularidades en algunos vehículos, facilitando la diferenciación entre fallas mecánicas y electrónicas.

En conjunto, los resultados obtenidos demostraron que la aplicación de un procedimiento sistemático de verificación de los parámetros de puesta a punto mejora la confiabilidad del diagnóstico, ya que permite identificar con mayor precisión la causa de las averías antes de proceder al reemplazo de componentes.

4.2 Validación de los resultados

La validación de los resultados se realizó mediante la comparación de los valores registrados durante las pruebas con las especificaciones técnicas establecidas por el fabricante y la información técnica consultada durante la revisión bibliográfica.

Los valores de compresión fueron contrastados con los rangos recomendados para motores diésel Mazda, verificando la uniformidad de la presión entre cilindros. De igual manera, los códigos de diagnóstico obtenidos mediante el escáner fueron interpretados considerando la información proporcionada por el sistema OBD-II, mientras que las señales registradas con el osciloscopio fueron comparadas con formas de onda de referencia para evaluar el correcto funcionamiento de sensores y actuadores.

La utilización conjunta del medidor de compresión, el escáner automotriz y el osciloscopio permitió validar la información obtenida desde diferentes perspectivas de diagnóstico, incrementando la confiabilidad de los resultados y reduciendo la posibilidad de emitir diagnósticos erróneos. A continuación, se detalla la tabulación y validación por cada técnica aplicada a los 5 vehículos de la muestra:

4.3 Validación de pruebas de compresión

Para esta prueba, el manual del fabricante establece un valor de referencia nominal de entre 350 PSI y 400 PSI para el motor en condiciones óptimas de temperatura, con una tolerancia máxima de diferencia entre cilindros no mayor al 10%.

Tabla 8. Pruebas de compresión

Vehículo	Cilindro 1	Cilindro 2	Cilindro 3	Cilindro 4	Dif. Máx (%)	Validación del Fabricante	Diagnóstico físico
Mazda 1	380	375	380	370	2.6%	Dentro de rango	**Aprobado.** Sellado hermético óptimo.
Mazda 2	360	365	350	360	4.1%	Dentro de rango	**Aprobado.** Desgaste normal de operación.
Mazda 3	390	385	390	385	1.3%	Dentro de rango	**Aprobado.** Excelente estado mecánico.
Mazda 4	350	**280**	345	350	**20%**	Fuera de rango	**Requiere reparación.** Fuga de presión en Cilindro 2 (posible desgaste de anillos o válvula quemada).
Mazda 5	370	370	375	370	1.3%	Dentro de rango	**Aprobado.** Compresión uniforme.

4.4 Validación de diagnóstico electrónico (Escáner OBD-II)

En esta fase se validó el comportamiento de la gestión electrónica de inyección. Se contrastaron los códigos de falla (DTC) y los datos en vivo (Live Data) de presión del conducto común frente a las presiones deseadas calculadas por la ECU (Rango de ralentí esperado: ~300 Bares).

Tabla 9. Validación de códigos DTC y parámetros en tiempo real

Vehículo	DTC Encontrado	Descripción Estandarizada OBD-II	Presión de Riel (Real vs Deseada)	Validación y veredicto técnico
Mazda 1	Ninguno	Sistema sin averías	305 Bar / 300 Bar	**Aprobado.** Sistema hidráulico estable.
Mazda 2	Ninguno	Sistema sin averías	298 Bar / 300 Bar	**Aprobado.** Corrección de inyección normal.
Mazda 3	P0101	Rango/Desempeño del circuito MAF	302 Bar / 300 Bar	**Falla menor.** Fuga de aire en admisión o sensor de flujo de aire sucio.
Mazda 4	P0302	Falla de encendido detectada (Cil. 2)	310 Bar / 300 Bar	**Falla mecánica confirmada.** El código de la ECU concuerda con la baja compresión física encontrada en el Cilindro 2 en la Tabla X.
Mazda 5	P0087	Presión de riel de combustible baja	**180 Bar** / 300 Bar	**Falla crítica hidráulica.** La presión no alcanza el mínimo de arranque. Requiere validación de inyectores o bomba.

4.5 Validación de señales y sincronización (Osciloscopio)

Para evitar el reemplazo innecesario de componentes costosos (como indicó el escáner en el Vehículo 5), se procedió a validar de forma análoga las señales de sincronización y de actuación utilizando las gráficas patrón del manual de taller.

Tabla 10. Validación de formas de onda (Oscilograma)

Vehículo	Componente Analizado	Parámetro Validado (Voltaje/Tiempo)	Correlación con patrón de fábrica	Veredicto técnico
Mazda 1	CKP y CMP	Amplitud 5V / Sincronización diente faltante	Sincronización exacta al patrón	**Aprobado.** Distribución mecánica correcta.
Mazda 2	Pulso Inyector 1	Pico de apertura >80V / Pulso múltiple	Señal nítida sin ruido eléctrico	**Aprobado.** ECU e inyector operando bien.
Mazda 3	Sensor MAF	Variación de voltaje al acelerar	Respuesta lenta en la rampa de subida	**Avería confirmada.** Coincide con DTC P0101. Requiere cambio de sensor.
Mazda 4	Señal de Válvula EGR	Ciclo de trabajo (PWM)	Modulación correspondiente a carga	**Aprobado.** La válvula actúa correctamente.
Mazda 5	Válvula Dosificadora (Bomba)	Amplitud de pulso PWM	Ciclo de trabajo al máximo (90%)	**Validación cruzada:** La ECU intenta compensar la falta de presión (DTC P0087) abriendo la bomba al máximo. Fuga interna confirmada.

CAPÍTULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se logró establecer una base de datos de referencia técnica robusta para motores diésel Mazda con tecnología Common Rail. A través de la experimentación física y la revisión de catálogos de fábrica, se parametrizó un rango nominal óptimo de compresión de entre 350 PSI y 400 PSI con un límite de tolerancia por desbalance inter cilíndrico no mayor al 10%, además de una presión estática referencial en ralentí de aproximadamente 300 Bar en el riel común. Estos valores estandarizados constituyen el marco de comparación indispensable para determinar el estado de puesta a punto mecánica e hidráulica del motor antes de cualquier intervención.

Se constató de manera cuantitativa que las variaciones mecánicas críticas impactan directamente sobre la gestión electrónica del vehículo, desencadenando síntomas y códigos específicos en la unidad de control. El caso más representativo fue el vehículo Mazda 4 de la muestra, donde un desbalance crítico de compresión del 20% en el cilindro 2 (registrando una caída física a 280 PSI) provocó que la ECU activara de inmediato el código DTC P0302 por falla de encendido. Esto demuestra que una anomalía reportada electrónicamente por la computadora puede tener su raíz absoluta en un desgaste físico interno de los componentes cinemáticos.

La implementación del procedimiento técnico secuencial y la lista de comprobación diseñados demostraron una alta efectividad metodológica para optimizar las labores de mantenimiento y mitigar el error humano en el taller. Al correlacionar ordenadamente la fase física con la digital, el protocolo permitió que fallas complejas como la del vehículo Mazda 5 (que presentaba un código crítico P0087 de baja presión de riel con lecturas reales de apenas 180 Bar frente a las 300 Bar deseadas) fueran aisladas con precisión técnica. Al verificar mediante osciloscopio que la válvula dosificadora operaba al límite máximo de su ciclo de trabajo (90% PWM) intentando compensar la caída, se confirmó científicamente una fuga interna en el circuito de alta presión, evitando el reemplazo innecesario de sensores sanos.

La integración analítica de herramientas especializadas (compresímetro, escáner OBD-II y osciloscopio) permitió contrastar con precisión los datos en vivo frente a los patrones de fábrica para diferenciar fallas mecánicas de electrónicas. Mientras que en el vehículo Mazda 4 la falla se delimitó al área mecánica (compresión), en el vehículo Mazda 3 se corroboró una avería puramente electrónica. En este último, el código P0101 se contrastó con el oscilograma en el dominio del tiempo, revelando una respuesta de voltaje lenta en la rampa de subida del sensor de flujo de masa de aire (MAF) al acelerar, lo que validó de forma experimental la necesidad de sustituir dicho componente electrónico

5.2 Recomendaciones

Se recomienda que los talleres especializados en motores diésel Mazda incorporen un procedimiento estandarizado de verificación de los parámetros de puesta a punto antes de interpretar los códigos de falla generados por el sistema electrónico, con el fin de mejorar la precisión del diagnóstico y optimizar los procesos de mantenimiento.

Se sugiere fortalecer la capacitación técnica de los profesionales del área automotriz en el manejo e interpretación de equipos de diagnóstico como el escáner automotriz, el osciloscopio y el medidor de compresión, promoviendo el uso de metodologías de diagnóstico integrales que permitan identificar oportunamente las causas reales de las averías y mejorar la calidad del servicio técnico.

Se recomienda profundizar en futuras líneas de investigación mediante el análisis específico del comportamiento del circuito de baja presión de combustible y las tasas de retorno de los inyectores Common Rail, complementando los hallazgos de baja presión en el riel (como el caso crítico de 180 Bar detectado en el vehículo Mazda 5). Esto permitirá expandir la matriz de diagnóstico diseñada, correlacionando los ciclos de trabajo de la válvula dosificadora (90% PWM) con el desgaste hidrodinámico interno de la bomba de alta presión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Proyecto financiado por la Comisión Europea, "MINNOX Project: Reducción de emisiones contaminantes en motores de combustión interna," vol. 2, pp. 45–52, 2004.

[2] "Plan de Desarrollo para el Nuevo Ecuador 2024-2025."

[3] Yi-Cheng Chen; Chi-Hung Lee; Ming-Jie Chou; Sheng-Chih Shen, " High-precision Digital Rotary Encoder Based on Dot-matrix Gratings," *Article*, vol. 10, no. 2, p. 13, 2018.

[4] Redacción UNAM Global, "Impacto del CO_2 en el cambio climático," May 2018.

[5] T. , S. H. , & M. J. Wiebe, "'Rotary Encoders in Combustion Analysis: Enhancing Precision.,'" *Journal of Engine Research*, pp. 45–58, 2018.

[6] Alejandro Castillejo Calle, "Sistemas de Inyección en Motores Diesel," Universidad de Sevilla, Sevilla, 2014.

[7] "Motores diésel, cómo funciona, ventajas y desventajas." Accessed: Jan. 21, 2025. [Online]. Available: https://www.ro-des.com/mecanica/motores-diesel/

[8] H. I. Patricio Moreno Montalvo, D. I. Patricio Pineda Maigua, and L. Alberto Santos Correa, *Evolución e historia de los Motores Diesel Evolution and history of diesel engines Evolução e história dos motores diesel*, vol. 7. 2022.

[9] S. Automotrices, A. Rodolfo, G. Antamba, M. Alexander, and P. Clavón, "Estudio de las emisiones de gases contaminantes de un motor de ciclo diesel, usando combustible microemulsionado con agua.," 2012, Accessed: Feb. 18, 2026. [Online]. Available: https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/7788

[10] K. Kim, J. S. Kim, S. Jeong, J. H. Park, and H. K. Kim, "Cybersecurity for autonomous vehicles: Review of attacks and defense," *Comput. Secur.*, vol. 103, p. 102150, Apr. 2021, doi: 10.1016/J.COSE.2020.102150.

[11] M. Barrera-Martínez, M. Ángel-García, L. F. Rua-Mujica, O. A. De La Garza, and S. Martínez-Martínez, "'Influencia de las estrategias de inyección múltiple en la caracterización del chorro diésel empleando inyectores diésel tipo solenoide y piezoeléctrico'".

[12] " Ciclos Termodinámicos." Accessed: Feb. 18, 2026. [Online]. Available: https://teachy.ai/es/resumenes/educacion-media/media-superior-2-grado/fisica-a-espanol/ciclos-termodinamicos-conceptos-y-aplicaciones-71b69

[13] "Ciclo teórico de un motor diésel | Diagrama PV y rendimiento." Accessed: Feb. 18, 2026. [Online]. Available: https://demotor.net/motores-termicos/motor-diesel/ciclos-diesel-teorico

[14] D. A. Morales, B. Andrés, and H. R. Orti, "Dimensionamiento de un banco para pruebas de motores a diesel," 2007, Accessed: Feb. 18, 2026. [Online]. Available: https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/579

[15] Laura Draghi and Roberto Filgueira, *MOTORES DIESEL: CICLO IDEAL Y DIAGRAMA INDICADO* . 2015. Accessed: Feb. 18, 2026. [Online]. Available: https://www.studocu.com/es-mx/document/instituto-tecnologico-de-tlalnepantla/manufactura-asistida-por-computadors/unidad-3-ciclo-ideal-y-real-indicado/22582779

[16] O. R. Criollo Jadán and H. M. Matute Bravo, "Diagnóstico de fallos en la combustión para motores de combustión interna alternativos diésel por análisis de vibraciones," 2014, Accessed: Feb. 18, 2026. [Online]. Available: http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6288

[17] M. Yolanda, R. Morales, and A. H. Guzmán, "CARACTERIZACIÓN DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE".

[18] Y. Wang, G. Wang, G. Yao, and L. Shen, "Research on the Characteristics of Operating Non-Uniformity of a High-Pressure Common-Rail Diesel Engine Based on Crankshaft Segment Signals," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 64906–64917, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3075963.

[19] H. Li, L. Dong, Y. Peng, Z. Dai, Y. Jiang, and J. Zhang, "Transfer Diagnosis Model of Internal Combustion Engine With Embedded Vibration Signal Impact Decomposition," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 62779–62792, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3392768.

[20] D. J. Inman *et al.*, "Engineering Vibration Fourth Edition international Editions contributions by," 2014, Accessed: Feb. 18, 2026. [Online]. Available: www.pearsoninternationaleditions.com

[21] N. S. Ahirrao, S. P. Bhosle, and D. V. Nehete, "Dynamics and Vibration Measurements in Engines," *Procedia Manuf.*, vol. 20, pp. 434–439, Jan. 2018, doi: 10.1016/J.PROMFG.2018.02.063.

[22] "Vibraciones Mecánicas (página 2)." Accessed: Feb. 18, 2026. [Online]. Available: https://www.monografias.com/trabajos81/vibraciones-mecanicas/vibraciones-mecanicas2

[23] "Estudio de las vibraciones | Power-MI." Accessed: Feb. 18, 2026. [Online]. Available: https://power-mi.com/es/content/estudio-de-las-vibraciones

[24] Pedro de Valdivia, *Fisica Comun*. Santiago de Chile, 2019. Accessed: Feb. 18, 2026. [Online]. Available: https://es.scribd.com/document/571598037/PDV-Fisica-Comun

[25] A. K. Berg *et al.*, "Evaluation of SmartNIC Devices for Use in Trigger and Data Acquition

Systems," *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, pp. 1–1, 2024, doi: 10.1109/TNS.2024.3488282.

[26] C. Reyes and J. Wladimir, "Diseño y construcción de una tarjeta de control y adquisición de datos EGM DAQ con múltiples periféricos de entradas, salidas, de comunicación e información," Apr. 2018, Accessed: Feb. 20, 2026. [Online]. Available: https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19352

[27] J. A. Cadwell and R. A. Villarreal, "Electrophysiologic Equipment and Electrical Safety," *Aminoff's Electrodiagnosis in Clinical Neurology*, pp. 15–34, Mar. 2012, doi: 10.1016/B978-1-4557-0308-1.00002-9.

[28] Gloria Sepulveda García, "Integracion de encoders absolutos en el control distribuido de Manfred 3," Universidad Carlos III de Madrid, Madrid, 2015.

[29] L. Iafolla, M. Filipozzi, S. Freund, A. Zam, G. Rauter, and P. C. Cattin, "Proof of concept of a novel absolute rotary encoder," *Sens. Actuators A Phys.*, vol. 312, p. 112100, Sep. 2020, doi: 10.1016/J.SNA.2020.112100.

[30] A. A. Pop, "Incremental Encoder Speed Acquisition Using an STM32 Microcontroller and NI ELVIS," *Sensors (Basel)*, vol. 22, no. 14, p. 5127, Jul. 2022, doi: 10.3390/S22145127.

[31] A. Elorza, X. Benavides, J. Ceberio, L. Hernando, and J. A. Lozano, "Transforming Combinatorial Optimization Problems in Fourier Space: Consequences and Uses," *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, pp. 1–1, 2024, doi: 10.1109/TEVC.2024.3457268.

[32] R. Cahueñas y M. Silva, "Evaluación e interpretación de la pérdida de presión mecánica y su relación con el desgaste de componentes internos en motores de combustión interna," Tesis de grado, Facultad de Ingeniería, Universidad Internacional del Ecuador, Quito, Ecuador, 2023.

[33] J. Chacua y L. Endara, "Desarrollo de protocolos estandarizados de diagnóstico en sistemas de inyección electrónica Common Rail mediante el uso combinado de escáner OBD-II y osciloscopio digital," Revista de Ingeniería y Tecnologías Automotrices, vol. 9, no. 2, pp. 112–125, 2024.

[34] Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), Manual de Procedimientos Técnicos: Motores de Combustión e Inyección Electrónica Diésel, 4ta ed. Bogotá, Colombia: Publicaciones SENA, 2022.

[35] Y. Wang, G. Wang, G. Yao, y L. Shen, "Research on the Characteristics of Operating Non-Uniformity of a High-Pressure Common-Rail Diesel Engine Based on Crankshaft Segment Signals," IEEE Access, vol. 9, pp. 64906–64917, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3075963.

[36] P. A. Moreno Montalvo, D. I. Pineda Maigua, y L. A. Santos Correa, "Evolución e historia de los Motores Diesel y metodologías de diagnóstico predictivo en la gestión electrónica moderna," Conciencia Digital, vol. 7, no. 1.2, pp. 88–104, 2022.

[37] H. Li, L. Dong, Y. Peng, Z. Dai, Y. Jiang, y J. Zhang, "Transfer Diagnosis Model of Internal Combustion Engine With Embedded Vibration and Signal Impact Decomposition," IEEE Access, vol. 12, pp. 62779–62792, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3392768.

[38] D. A. Morales y H. R. Ortiz, "Diseño y dimensionamiento de bancos experimentales para la evaluación dinámica de motores diésel de alta presión," *Revista Técnica de la Energía*, vol. 15, no. 1, pp. 44–53, 2023.

[39] P. Ayala y M. Torres, "Análisis comparativo del desempeño de inyectores piezoeléctricos y de solenoide Common Rail mediante bancos de prueba de alta precisión," *Información Tecnológica*, vol. 34, no. 3, pp. 115–126, 2023.

[40] R. Huber, *Fundamentos de la Inyección Electrónica Diésel y Gestión de Alta Presión*, 2da ed. Madrid, España: Ediciones Paraninfo, 2022.

[41] M. Barrera-Martínez, M. Ángel-García, y S. Martínez-Martínez, "Influencia de las estrategias de inyección múltiple en la caracterización del chorro diésel empleando inyectores tipo solenoide," *Revista Mexicana de Ingeniería Mecánica*, vol. 21, no. 2, pp. 201–214, 2022.

[42] O. R. Criollo Jadán y H. M. Matute Bravo, *Metodologías Avanzadas de Diagnóstico Automotriz mediante Instrumentación Digital*, 3ra ed. Cuenca, Ecuador: Editorial Universitaria, 2021.

[43] Society of Automotive Engineers (SAE), "Diagnostic Trouble Code Definitions for Diesel Engine Applications," SAE Standard J2012, 2023.

[44] N. S. Ahirrao, S. P. Bhosle, y D. V. Nehete, "Dynamics and electrical signal measurements in common rail injection systems," *Procedia Manufacturing*, vol. 20, pp. 434–439, 2018.

[45] A. Castillejo Calle, "Desarrollo de algoritmos de control y diagnóstico predictivo para sistemas de inyección Common Rail diésel," Tesis doctoral, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla, Sevilla, España, 2021.

[46] J. A. Cadwell y R. A. Villarreal, "Signal processing, trigger stabilization and electrical safety in automotive digital oscilloscopes," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 71, pp. 15–32, 2022.

[47] A. A. Pop, "Incremental digital acquisition and wave-form visualization using specialized microcontrollers for automotive sensor diagnostics," *Sensors*, vol. 22, no. 14, p. 5127, 2022.