



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**TEMA: ANÁLISIS DEL CIRCUITO DE RETORNO EN SISTEMAS
DE INYECCIÓN DIÉSEL COMMON RAIL**

AUTOR: KEVIN FRANCISCO ALCOCER ESPINOZA

DIRECTOR: ING. ERIK PAÚL HERNÁNDEZ RUEDA MSc.

Ibarra, 2024



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

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

1. 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			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	DE	1004700579	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Y	Alcocer Espinoza Kevin Francisco	
DIRECCIÓN:		Otavalo	
EMAIL:		Kfalcocere@utn.edu.ec	
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0983700251

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	ANÁLISIS DEL CIRCUITO DE RETORNO EN SISTEMAS DE INYECCIÓN DIÉSEL COMMON RAIL
AUTOR (ES):	Alcocer Espinoza Kevin Francisco
FECHA: DD/MM/AAAA	29/01/2023
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería Automotriz
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Erik Paul Hernández Rueda 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 30 días del mes de Enero de 2024.

EL AUTOR:

Firma.....
Alcocer Espinoza Kevin Francisco

CERTIFICADO

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

En mi calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniería Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es "ANÁLISIS DEL CIRCUITO DE RETORNO EN SISTEMAS DE INYECCIÓN DIÉSEL COMMON RAIL" presentado por el señor: Alcocer Espinoza Kevin Francisco con número de cédula 1004700579, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 30 días del mes enero del 2024.

Atentamente



Ing. Paul Hernández, MSc

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR

Ibarra, 30 de enero de 2024

Ing. Paul Hernández MSc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERIFIICA:

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.

(f).....

Ing. Paul Hernández MSc.

C.C.:1002978060

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular “análisis del circuito de retorno en sistemas de inyección diésel common rail” elaborado por Alcocer Espinoza Kevin Francisco, previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

(f).....

Ing. Paul Hernández MSc.

C.C.:1002978060

(f).....

Ing. Carlos Mafla MSc.

C.C.:0401447826

Índice de contenidos

Resumen	VII
Abstract.....	VIII
Introducción.....	IX
CAPÍTULO I.....	1
1. Revisión Bibliográfica.....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.1.1 Objetivos.....	1
1.1.1.1 Objetivo General	1
1.1.1.2 Objetivos Específicos.....	1
1.1.2 Justificación	1
1.1.3 Alcance	2
1.1.4 Situación Actual.....	2
1.1.5 Ciclos termodinámicos.....	3
1.1.5.1 Ciclo termodinámico.....	3
1.1.5.2 Ciclo Brayton	3
1.1.5.3 Ciclo Rankine.....	4
1.1.5.4 Ciclo Otto.....	4
1.1.5.5 Ciclo diésel.....	6
1.1.6 Motores de combustión.....	7
1.1.6.1 Motor diésel.....	8
1.1.6.2 Motores diésel electrónico	8
1.1.7 Sistema de inyección electrónica.....	9
1.1.7.1 Sistema CRD-i.....	9
1.1.7.2 Partes del sistema CRD-i.....	11
1.1.8 Tipos de bombas	12
1.1.9 Riel común.....	14
1.1.10 Sistema de retorno.....	15

CAPÍTULO 2	16
2. Materiales y Métodos	16
2.1 Materiales	16
2.1.1 Motor A-2.5 TCI (CRD-i).....	16
2.1.2 Inyectores diésel.....	18
2.1.3 Válvula ZME	19
2.1.4 Probetas de medición de retorno de combustible CRD-i.....	22
2.1.5 Escáner automotriz.....	23
2.1.6 Software estadístico	24
2.2 Metodología	26
2.2.1 Condiciones del estudio	26
2.2.2 Manejo de equipo de pruebas	26
2.3 Preparación del Equipo:	27
2.3.1 Conexión de las Sondas:	27
2.3.2 Verificación de la Conexión:	28
2.3.3 Inicio del Proceso de Prueba:.....	28
2.3.4 Análisis de Datos:	29
2.3.5 Establecimiento de parámetros	30
2.3.6 Inicio de prueba.....	31
2.3.7 Recolección de datos.....	31
2.3.8 Cambio de válvula ZME.....	32
2.3.9 Finalizado de estudio con probetas de medición	33
2.3.10 Inicio de medición con FSA740	34
2.3.11 Selección de datos de recolección.....	35
CAPÍTULO III	37
3. Resultados y análisis.....	37
3.1 Investigación experimental	37
3.2 Valores estándar de retorno de inyectores.....	37
3.3 Valores extraídos de la primera medición.....	39
3.4 Valores extraídos de segunda medición	43
3.5 Valores extraídos de la tercera medición	45
3.6 Análisis de resultados obtenidos	48
3.7 Cálculo de caudal	52
3.8 Análisis de resultados del caudal	56

3.9	Extracción de datos con escáner automotriz	60
3.10	Análisis de graficación de datos de escáner automotriz.....	65
CAPÍTULO IV		66
4.	Conclusiones y recomendaciones	66
4.1	Conclusiones	66
4.2	Recomendaciones.....	68
5.	Referencias bibliográficas	69
6.	Anexos.....	74
6.1	Anexo I.....	74
6.2	Anexo II.....	75

Índice de tablas

Tabla 2.1 Datos del motor A-2.5 TCI (CRD-i).....	17
Tabla 2.2 Datos de inyectores diésel CRD-i.....	19
Tabla 2.3 Datos técnicos de válvula ZME utilizada.....	21
Tabla 2.4 Datos probetas de medición de flujo de retorno de combustible CRD-i.....	23
Tabla 3.1 volumen de retorno de inyectores en la primera válvula ZME ralentí.....	41
Tabla 3.2 volumen de retorno de inyectores en la primera válvula ZME 2500 RPM.....	42
Tabla 3.3 volumen de retorno de inyectores en la segunda válvula ZME ralentí.....	43
Tabla 3.4 volumen de retorno de inyectores en la segunda válvula ZME 2500 RPM.....	44
Tabla 3.5 volumen de retorno de inyectores en la tercera válvula ZME ralentí.....	46
Tabla 3.6 volumen de retorno de inyectores en la tercera válvula ZME 2500 RPM.....	47
Tabla 3.7 Explicación de datos de grafica comparativa de volumen.....	51
Tabla 3.8 Caudal calculado en ralentí.....	53
Tabla 3.9 caudal calculado en 2500 RPM.....	55
Tabla 3.10 Explicación de grafica comparativa de caudal.....	58
Tabla 3.11 Extracción de datos del escáner automotriz en ralentí.....	60
Tabla 3.12 Extracción de datos del escáner automotriz en 2500 RPM.....	61

Índice de figuras

Figura 1.1 Ciclo Otto funcionamiento y tiempos de trabajo	5
Figura 1.2 Ciclo diésel.....	6
Figura 1.3 Sistema CRD-i	10
Figura 1.4 Bomba de alta presión.....	14
Figura 2.1 Motor A-2.5 TCI CRD-i	18
Figura 2.2 Inyector diésel CRD-i	19
Figura 2.3 Válvula ZME.....	21
Figura 2.4 Probetas de medición	23
Figura 2.5 FSA 740	24
Figura 2.6 Conexión de sondas de medición.....	28
Figura 2.7 Inicio de prueba.....	29
Figura 2.8 Establecimiento de parámetros	31
Figura 2.9 Recolección de datos.....	32
Figura 2.10 Válvulas ZME.....	33
Figura 2.11 Selección de datos y recolección	36
Figura 3.1 Comparación de volumen en ralentí	49
Figura 3.2 Comparación de volumen a las 2500RPM.....	50
Figura 3.3 Comparación de volumen general.....	51
Figura 3.4 Comparación de caudal en ralentí.....	56
Figura 3.5 Comparación de caudal en 2500 RPM.....	57
Figura 3.6 Comparación de caudal general	58
Figura 3.7 Comparación de presión de combustible en ralentí	61
Figura 3.8 Comparación de presión de combustible en 2500RPM	62
Figura 3.9 Comparación de cantidad de inyección en ralentí	63

Figura 3.10 Comparación de cantidad de inyección en 2500RPM	63
Figura 3.11 Comparación de válvula de mando de caudal en ralentí.....	64
Figura 3.12 Comparación de válvula de mando de caudal en 2500 RPM	64

Resumen

El exhaustivo estudio del sistema de retorno en motores diésel de inyección directa de riel común (CRD-i) es esencial para comprender y optimizar su eficiencia. La revisión bibliográfica abarca desde ciclos termodinámicos hasta componentes específicos del sistema CRD-i, proporcionando una base sólida. Los objetivos incluyen explorar el funcionamiento y caudal del sistema de retorno diésel, con parámetros de medición para diagnóstico basado en el flujo. La medición en diferentes escenarios y la comparación de resultados revelan la versatilidad del sistema.

El análisis del circuito de retorno mejora la detección de desajustes en el dosado de combustible, contribuyendo a la eficiencia operativa. Las recomendaciones destacan la importancia de un enfoque proactivo en el diagnóstico preventivo, manteniendo actualizada la bibliografía y aplicando métodos preventivos.

En resumen, este estudio aporta una comprensión integral de los sistemas de retorno en motores diésel CRD-i, ofreciendo aplicaciones prácticas para mejorar la eficiencia y confiabilidad en la industria automotriz.

Abstract

The comprehensive study of the return system in common-rail direct injection (CRD-i) diesel engines is essential to understand and optimize its efficiency. The literature review ranges from thermodynamic cycles to specific components of the CRD-i system, providing a solid foundation. The objectives include exploring the performance and flow rate of the diesel return system, with measurement parameters for flow-based diagnostics. Measurement in different scenarios and comparison of results reveal the versatility of the system.

Analysis of the return circuit improves detection of fuel metering mismatches, contributing to operational efficiency. Recommendations highlight the importance of a proactive approach to preventive diagnostics, keeping the literature up to date and applying preventive methods.

In summary, this study provides a comprehensive understanding of CRD-i diesel engine return systems, offering practical applications to improve efficiency and reliability in the automotive industry.

Introducción

La investigación detallada del sistema de retorno en motores diésel de inyección directa de riel común (CRD-i) es esencial para comprender y mejorar la eficiencia de estos motores. Este estudio se sumerge en una revisión bibliográfica exhaustiva, desde los fundamentos de los ciclos termodinámicos hasta los componentes específicos del sistema CRD-i, proporcionando una sólida base para la investigación.

Los objetivos se centran en explorar minuciosamente el funcionamiento y el caudal del sistema de retorno diésel de riel común. Definiendo parámetros de medición para el diagnóstico basado en el flujo del sistema de retorno, se busca evaluar precisamente el rendimiento en diversas condiciones operativas.

Este análisis se extiende a la práctica mediante la medición del sistema de retorno en distintos escenarios y la comparación de resultados, revelando la versatilidad del sistema y su adaptabilidad a condiciones variables.

El estudio destaca la importancia del análisis del circuito de retorno como herramienta valiosa para mejorar la eficacia en la detección de desajustes en el dosado de combustible, contribuyendo a la eficiencia operativa de los motores CRD-i.

En términos de recomendaciones, se subraya la importancia de un enfoque proactivo para la integración de este método en el diagnóstico preventivo en la industria automotriz, con acciones cruciales como mantener actualizada la bibliografía y aplicar métodos de diagnóstico preventivo para garantizar un rendimiento consistente y confiable de los motores diésel CRD-i

CAPÍTULO I

1. Revisión Bibliográfica

1.1 Planteamiento del problema

1.1.1 Objetivos

1.1.1.1 Objetivo General

Analizar el circuito de retorno en sistemas de inyección electrónica diésel de riel común enfocado en el diagnóstico por flujo.

1.1.1.2 Objetivos Específicos

- Investigar bibliográficamente acerca del funcionamiento y caudal de trabajo manejados en el sistema de retorno diésel de riel común.
- Establecer parámetros de medición para diagnóstico en el sistema de riel común en base a flujo del sistema de retorno.
- Medir sistema de retorno a distintos escenarios y verificar posibles cambios de flujo en su sistema.
- Comparar resultados obtenidos para cada problema expuesto en distintos escenarios.

1.1.2 Justificación

Si bien los vehículos de combustión interna actualmente son los más utilizados alrededor del mundo los mismos no están exentos de producir altos niveles de contaminación debido al tipo de combustible que utilizan además, es bien conocido que la eficiencia de los mismos no es la mejor de todas con esto en mente se desarrolla el motor diésel con el objetivo no solo de reducir emisiones que podrían afectar al medio ambiente sino también, de mejorar su eficiencia este tipo de motores logran un menor consumo de combustible gracias a su sistema de inyección mismo que ha ido evolucionando cada vez más dando paso al sistema de riel común, los vehículos diésel se han vuelto cada vez más usados a nivel global por su

bajo consumo esto a su vez demanda una mayor necesidad de información adecuada para poder diagnosticar de forma correcta este sistema que no está exento de sufrir averías o posibles fallos que se pueden ocasionar con el uso del automóvil, con el conocimiento adquirido se pretende lograr reducir los tiempos y complejidad en el diagnóstico de este tipo de sistemas haciendo el proceso más eficiente y confiable.

1.1.3 Alcance

En esta investigación el enfoque se realizó en el sistema más utilizado el cual es la inyección electrónica de riel común pero sobre todo abarcaremos su circuito de retorno el cual se encuentra en el mismo riel común siendo el combustible no utilizado por los inyectores pasando por una válvula de presión el cual por medio de su rango vuelve a redirigir el combustible regresando todo el combustible directo al tanque de combustible y a la bomba de alta presión el cual por medio de valores pre establecidos podemos llegar a un diagnóstico preventivo del motor.

Para el desarrollo de esta investigación propuesta, se verificará mediante presiones y caudales en el sistema de retorno por medio de equipos y su sensor de presión los datos que están establecidos buscando diagnósticos preventivos con respecto al retorno de combustible y fallas que se pueden encontrar mediante su análisis.

1.1.4 Situación Actual

Hoy en día la inyección electrónica de riel común ha pasado a ser el sistema diésel más común en el medio auto motor, dentro del sistema de alimentación se encuentra valores de presión muy elevados que rodean entre 300 a 2500 bares los cuales después de la pulverización de los inyectores tienen un retorno común el cual redirige el combustible no utilizado directo al tanque de combustible y a la bomba alimentadora de alta presión lubricando y generando un mejor manejo del combustible.

De esta forma encontramos que el circuito de retorno en los sistemas de riel común pueden ser una fuente inmensa de datos relevantes para el correcto funcionamiento de los motores, el cual podremos aprovechar dando un diagnóstico a algunos problemas que se pueden suscitar dentro de la inyección del motor.

1.1.5 Ciclos termodinámicos

1.1.5.1 Ciclo termodinámico

Un ciclo termodinámico es un proceso que tiene lugar en un equipo diseñado para extraer trabajo de dos fuentes de calor a diferentes temperaturas o, a la inversa, para transferir calor de una fuente de menor temperatura a otra de mayor temperatura mientras se realiza un trabajo. También, son un conjunto de componentes que transmiten energía unos recolectan el calor producido y lo transforman en energía llamados maquinas térmicas o viceversa, en este caso son las maquinas frigoríficas o bombas de calor (Fusté, ANÁLISIS TERMODINAMICO DE LOS CICLOS DE RANKINE, 2015).

El ciclo termodinámico se refiere a una serie de procesos que se unen y parten de un punto inicial, y a través de la transformación de diferentes magnitudes, logran volver al mismo punto inicial. Dentro de estos ciclos, existen dos tipos principales: los ciclos de refrigeración y los ciclos de potencia. Estos últimos son comunes en motores de combustión interna y máquinas de vapor. Los cuatro ciclos más frecuentes en este contexto son el Ciclo Brayton, el Ciclo Rankine, el Ciclo Otto y el Ciclo Diesel (Erazo & Viteri, 2017).

1.1.5.2 Ciclo Brayton

El ciclo de Brayton, un concepto central en la termodinámica se manifiesta en su configuración más básica mediante tres etapas fundamentales. En primera instancia, experimenta una fase de compresión adiabática, seguida por un periodo de calentamiento isotérmico y culminando con una fase de expansión adiabática. Este ciclo, basado en la dinámica de un fluido termodinámico compresible, destaca como uno de los ciclos termodinámicos más extendidos y aplicados en la práctica.

Su relevancia se evidencia en su eficacia sobresaliente, especialmente notoria en su capacidad para ser implementado de manera altamente eficiente en el proceso de calefacción de edificaciones, la notable eficacia de este ciclo en particular como una forma destacada y eficiente de generar calor para aplicaciones residenciales y comerciales

(Fernandez, 2009).

Es uno de los ciclos termodinámicos más comunes, ya que es la base de los motores de turbina de gas. De acuerdo con Pérez (2019) quien establece que: “Los ciclos pueden ir desde el trabajo mecánico hasta la generación de electricidad en un horno de gas natural” (pág.10). Electricidad u otros usos en hornos de gas natural para generación de energía en la generación de energía y en algunos motores terrestres y marino o para generar empuje en motores aeronáuticos.

1.1.5.3 Ciclo Rankine

El ciclo Rankine es un ciclo de vapor utilizado para producir energía térmica. En este proceso, el agua se calienta en una caldera hasta que se evapora y aumenta la presión del vapor. Se introduce en una turbina, que produce energía cinética por pérdida de presión. El vapor restante se convierte en líquido y se envía a una bomba, que eleva la presión para que pueda regresar a la caldera (Fusté, 2015).

En un ciclo real, la compresión de la bomba y la expansión de la turbina no son isotropas, es decir, no son procesos reversibles son isotropos. Dado que los procesos irreversibles tienen mayor entropía, mayor consumo de la bomba y mayor consumo de la bomba y menor eficiencia global reducción del rendimiento de la turbina se forman gotas de agua en la condensación en la turbina cuando el condensado entra en contacto con los álabes de la turbina, reduce su velocidad, provocando su erosión y se corroe, reduciendo su vida útil (Bianchini & Santana, 2015).

1.1.5.4 Ciclo Otto

El ciclo Otto es el ciclo ideal para los motores de pistón de encendido por chispa, en la mayoría de los motores de encendido por chispa, el pistón realiza cuatro carreras completas en el cilindro, el cigüeñal realiza dos carreras completas en el cilindro y el cigüeñal realiza dos carreras completas en el cilindro estos motores se denominan motores de combustión interna de cuatro tiempos (Rafael & Hernández, 2014).

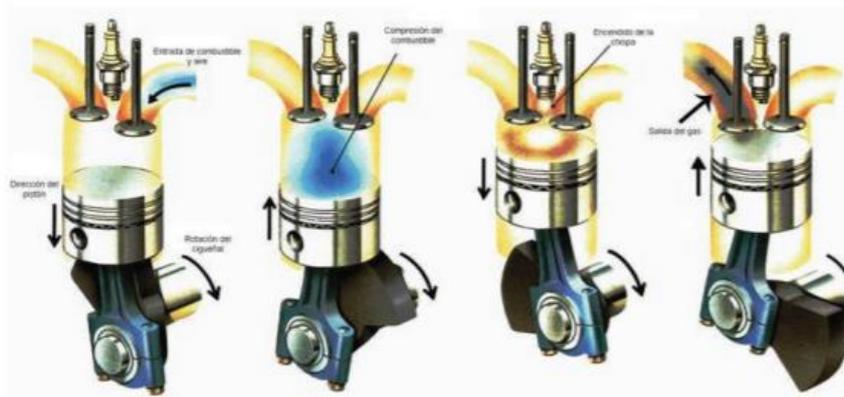


Figura 1.1 Ciclo Otto funcionamiento y tiempos de trabajo

Fuente:(Chica & Rivera, 2015)

Dentro del ciclo termodinámico se observa una serie de alteraciones químicas y físicas como son: compresión, combustión, expansión, generación de calor, desgaste entre algunos más son parte del ciclo del motor. El estudio de estas alteraciones resulta complejo por esto se recurre a simplificaciones en su estudio teórico, se definieron dos ciclos que son el ciclo ideal y el ciclo real (Plaza, 2016).

El motor MCI ocupa el ciclo otto para su funcionamiento utiliza las cuatro fases para completar su ciclo que son admisión, compresión, combustión y escape en el caso de motores a gasolina cuatro tiempos, en la actualidad es el más utilizado dentro del patio automotor mundial siendo la motorización más utilizada (Erazo & Viteri, 2017).

Admisión. -Inicia cuando el pistón se encuentra en el punto muerto superior y comienza a descender la válvula de escape se cierra y la de admisión se abre, el movimiento del pistón crea succión en el cilindro el cigüeñal gira 180 grados mientras el árbol de levas gira la mitad (Plaza, 2016).

Compresión. - Su inicio parte del punto muerto inferior el cual con el ascenso del pistón el árbol de levas sigue girando, completando los 180 grados de giro cerrando la válvula de admisión comprimiendo todo en el interior del cilindro (Plaza, 2016).

Combustión. -Con el ascenso del pistón por completo comprime la mezcla de aire combustible la cual por medio de la chispa genera una explosión que empuja al punto muerto inferior al pistón girando de esta forma el cigüeñal 540 grados de giro y el árbol de levas 240 grados de giro (Plaza, 2016).

Escape. - Parte del pistón en el punto muerto inferior la válvula de escape realiza su apertura y deja salir los gases provocados dentro del cilindro por la explosión en este punto el cigüeñal logro girar sus dos vueltas y el árbol de levas una para completar el ciclo otto de cuatro tiempos (Plaza, 2016).

1.1.5.5 Ciclo diésel

Un motor diésel funciona tomando la mayor cantidad de aire posible y comprime lo suficiente para crear una presión y una temperatura para que pueda producir suficiente potencia cuando se introduce combustible de grano fino. A esta presión y temperatura, el combustible de grano fino se quema rápidamente cuando se introduce, se crea un trabajo mecánico continuo a lo largo del tiempo. Según Sánchez (2021) se conoce que: “El ciclo idealizado del motor diésel de cuatro tiempos es una versión sublimada del esquema de señalización, que omite la fase de regeneración de la masa y supone que el fluido termodinámico es sólo gaseoso, también supone que todos los procesos son idealizados, reversibles y ocurren en el mismo fluido” (pág.14). Esto permite extraer al menos algunas conclusiones cualitativas sobre este tipo de motor, aunque su comportamiento real es un modelo muy aproximado (Morales & Ribadeneira, 2007).

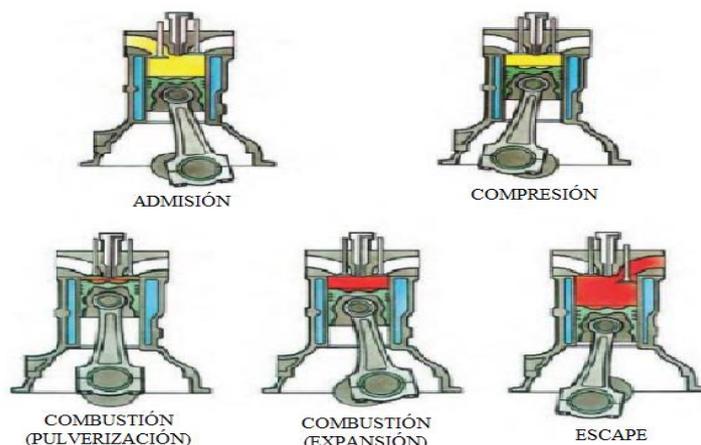


Figura 1.2 Ciclo diésel

Fuente: (Gonçalves, y otros, 2018)

El ciclo Diesel es un proceso termodinámico que se utiliza en los motores de combustión interna para convertir la energía química de los combustibles en energía mecánica. Este proceso fue desarrollado por el ingeniero alemán Rudolf Diesel a finales del siglo XIX y se

ha convertido en una tecnología clave en la industria automotriz y de transporte. El ciclo Diesel real es un proceso que tiene lugar en los motores Diesel y que difiere ligeramente del ciclo Diesel teórico. En el ciclo Diesel teórico, el proceso se divide en cuatro etapas: admisión, compresión, combustión y escape. En la etapa de admisión, el aire es aspirado al cilindro y comprimido en la etapa de compresión. En la etapa de combustión, el combustible se inyecta en el cilindro y se quema, generando energía que se convierte en energía mecánica. Finalmente, en la etapa de escape, los gases de escape se eliminan del cilindro. Sin embargo, en el ciclo Diesel real, este proceso no es tan simple. Durante la etapa de compresión, el aire se calienta y aumenta de presión, lo que puede provocar que se encienda el combustible prematuramente. Este fenómeno se conoce como detonación o autoencendido y puede causar daños en el motor. Para evitar esto, los motores Diesel modernos utilizan un sistema de inyección de combustible que introduce el combustible en el cilindro en pequeñas cantidades y a alta presión para evitar que se encienda prematuramente (Jiménez & Mora, 2019).

Además, en el ciclo Diesel real, la combustión no es instantánea y completa. El proceso de combustión se produce en varias etapas y se produce la formación de productos incompletos de combustión, como el monóxido de carbono y los hidrocarburos no quemados, que se eliminan en la etapa de escape. La eficiencia del proceso también puede verse afectada por pérdidas de calor y fricción en el motor. En comparación con el ciclo Diesel teórico, el ciclo Diesel real tiene una eficiencia ligeramente menor debido a las pérdidas mencionadas anteriormente. Sin embargo, los motores Diesel siguen siendo una opción popular para vehículos y maquinaria que requieren alta potencia y eficiencia en el consumo de combustible. Los motores Diesel modernos también han reducido significativamente las emisiones de gases de escape, lo que los convierte en una opción más respetuosa con el medio ambiente que en el pasado. En conclusión, el ciclo Diesel real es un proceso complejo que difiere ligeramente del ciclo Diesel teórico debido a las condiciones reales del motor. A pesar de tener una eficiencia ligeramente menor, los motores Diesel siguen siendo una opción popular en la industria automotriz y de transporte debido a su alta potencia y eficiencia en el consumo de combustible, así como a su capacidad para reducir las emisiones de gases de escape (García, Chacón, & Chaves, 2013).

1.1.6 Motores de combustión

Los motores de combustión interna son la mayor fuente de energía mecánica dentro de los automotores y la industria. Según Rafael & Hernández (2014) se considera que: “El

funcionamiento del motor de combustión interna parte del uso de combustible, así como la reacción química o la quema de este; el cual libera su energía internamente mediante un cambio térmico que libera energía y se transforma en trabajo útil” (pág.1). Es necesario que se tome en cuenta el aspecto termodinámico para comprender su funcionamiento. El motor de combustión utiliza el calor para producir trabajo, pero esto no sería posible sin los ciclos termodinámicos los cuales dentro del motor a combustión y la máquina a vapor.

Es importante conocer que la termodinámica estudia el calor y su transformación en energía dentro del motor de combustión interna, la energía térmica y mecánica son las fundamentales las cuales son capaces de producir trabajo y calor; de la misma forma el trabajo es la energía que no logra ser almacenada dentro del motor de combustión interna es el desarrollo de un servicio específico para el cual utiliza el motor. El calor es energía térmica que se puede irradiar al medio ambiente por lo general para que exista el calor debe existir una diferencia de temperaturas entre dos distintas superficies (Bianchini & Santana, 2015).

1.1.6.1 Motor diésel

El motor diésel es un tipo de motor de combustión interna que funciona mediante la combustión del combustible diésel dentro de los cilindros del motor. Fue inventado por Rudolf Diesel en el siglo XIX y ha evolucionado mucho desde entonces, con una amplia variedad de aplicaciones en la actualidad (Vaca, 2014).

El motor diésel funciona mediante la introducción de aire comprimido en los cilindros del motor. El aire comprimido se calienta debido a la compresión, lo que hace que se inflame el combustible diésel inyectado en la cámara de combustión. Esto produce una explosión controlada que empuja el pistón hacia abajo y genera energía que se utiliza para mover el vehículo o la máquina. A diferencia de los motores de gasolina, que utilizan una chispa para encender la mezcla aire-combustible en la cámara de combustión, los motores diésel utilizan la compresión del aire para generar suficiente calor para encender el combustible diésel. Esto significa que los motores diésel no tienen un sistema de encendido por chispa, lo que reduce el riesgo de explosiones prematuras y hace que sean más seguros en algunas situaciones (Morales & Ribadeneira, 2007).

1.1.6.2 Motores diésel electrónico

En lugar de tener un inyector de combustible por cilindro como en algunos motores diésel, un motor CRD-i tiene un riel común de alta presión que suministra combustible a

todos los inyectores. En un motor CRD-i, el combustible se almacena en un tanque y se bombea a alta presión a través de un conducto hacia el riel común. Desde allí, cada inyector puede extraer la cantidad necesaria de combustible a través de una válvula solenoide controlada electrónicamente, que se abre y se cierra rápidamente para proporcionar la cantidad precisa de combustible en el momento justo (Gallego, 2009).

Este sistema permite un control muy preciso sobre la cantidad de combustible que se inyecta en cada cilindro, lo que a su vez mejora la eficiencia del motor y reduce las emisiones. Además, el sistema CRD-i también puede optimizar la cantidad de combustible inyectado en respuesta a las diferentes condiciones de conducción, lo que mejora aún más la eficiencia y el rendimiento. El sistema CRD-i es una tecnología avanzada de inyección de combustible que se utiliza en muchos motores diésel modernos para mejorar la eficiencia, el rendimiento y la reducción de emisiones (Aalam, 2016).

1.1.7 Sistema de inyección electrónica

1.1.7.1 Sistema CRD-i

El sistema CRD-i, que significa inyección directa de riel común, es una tecnología de inyección de combustible utilizada en motores diésel. Esta tecnología ha evolucionado significativamente desde su introducción en la década de 1990 y se ha convertido en una parte esencial de muchos motores diésel modernos (Almarza, DESCRIPCIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA COMMON RAIL MONTADO EN EL MOTOR HYUNDAI D4EA., 2018).

El sistema CRD-i funciona mediante la inyección de combustible directamente en los cilindros del motor, en lugar de hacerlo en la cámara de combustión a través de un conducto de admisión. Esto permite una inyección más precisa y controlada de combustible, lo que a su vez mejora la eficiencia y el rendimiento del motor, uno de los principales beneficios del sistema CRD-i es su capacidad para mejorar la eficiencia del combustible, al inyectar combustible directamente en los cilindros, el sistema CRD-i puede controlar con mayor precisión la cantidad de combustible que se introduce en el motor, esto significa que se puede evitar la sobrealimentación y la subalimentación, lo que se traduce en una mejor economía de combustible y una reducción en las emisiones de gases de escape. además de la eficiencia del combustible, el sistema CRD-i también puede mejorar el rendimiento del motor, al proporcionar una inyección precisa de combustible, el sistema puede aumentar la potencia y

el par del motor, esto se debe en parte a la mayor presión de inyección que puede lograrse con el sistema CRD-i, a medida que se aumenta la presión de inyección, se puede lograr una combustión más completa del combustible, lo que se traduce en un mejor rendimiento del motor (Almarza, DESCRIPCIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA COMMON RAIL MONTADO EN EL MOTOR HYUNDAI D4EA., 2018).

El sistema CRD-i tiene la capacidad para reducir las emisiones de gases de escape, al controlar con precisión la cantidad de combustible que se introduce en el motor, el sistema CRD-i puede reducir las emisiones de Óxidos de Nitrógeno (NOx) y partículas finas. Esto es especialmente importante en los motores diésel, que tradicionalmente han sido más propensos a emitir altos niveles de NOx y partículas finas. A pesar de los beneficios del sistema CRD-i, también hay algunas limitaciones y desafíos asociados con su implementación, una de las principales limitaciones es su costo. Debido a la tecnología avanzada y los componentes requeridos para el sistema CRD-i, puede ser más costoso de producir y mantener que otros sistemas de inyección de combustible, otro desafío es la complejidad del sistema CRD-i. La precisión y el control necesarios para la inyección directa de combustible requieren una serie de sensores y componentes electrónicos. Esto significa que puede haber una mayor complejidad y necesidad de mantenimiento en comparación con los sistemas de inyección de combustible más simples (Ortiz, Paucar, & Peñafiel, 2016).

El sistema CRD-i es una tecnología de inyección de combustible avanzado utilizada en motores diésel modernos. Ofrece una mayor eficiencia del combustible, un mejor rendimiento del motor y una reducción en las emisiones de gases de escape (Garrido & Álvarez, 2016).

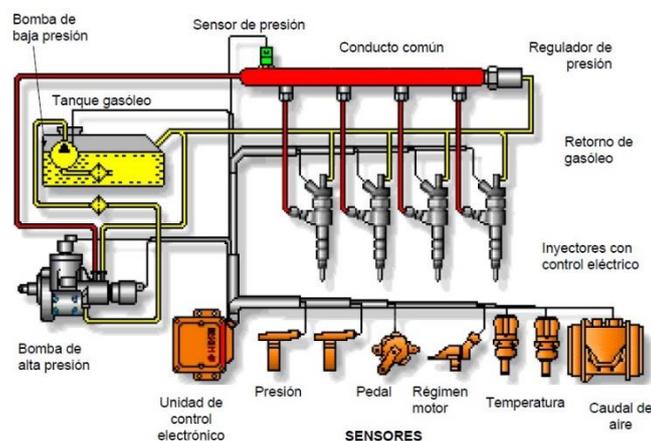


Figura 1.3 Sistema CRD-i

Nota: se muestra cada una de las partes de un sistema CRD-i

Fuente: (Vaca, 2014)

1.1.7.2 Partes del sistema CRD-i

El sistema Common Rail Diesel consta de varias partes importantes, incluyendo el tanque de combustible, la bomba de combustible, el riel común, los inyectores de combustible y la unidad de control del motor. Cada uno de estos componentes juega un papel crucial en el funcionamiento del sistema.

Tanque de combustible. - Es la fuente de combustible del sistema y puede estar hecho de plástico o metal. El combustible se bombea desde el tanque a través de una bomba de combustible eléctrica o mecánica y se envía a través de una línea de combustible hacia el riel común (Gallego, 2009).

Bomba de combustible. - es responsable de aumentar la presión del combustible para que pueda ser inyectado en el motor a alta presión (Garrido & Álvarez, 2016).

Riel común. - Es un componente crítico en el sistema Common Rail Diesel y se encarga de almacenar el combustible a alta presión. Es un tubo de acero que tiene una serie de orificios para conectar los inyectores de combustible. La presión en el riel común se controla mediante una válvula de alivio de presión, que evita que la presión en el sistema aumente demasiado (Bredtmann, 2015).

Inyectores. - Son responsables de inyectar el combustible a alta presión en los cilindros del motor. Estos inyectores son controlados por la unidad de control del motor, que controla la cantidad de combustible que se inyecta y el momento en que se inyecta. La precisión en la inyección de combustible es crucial para maximizar la eficiencia del combustible y reducir las emisiones (Bredtmann, 2015).

Unidad de control del motor. - Es el núcleo del sistema Common Rail Diesel y controla todos los aspectos del motor, incluida la cantidad de combustible que se inyecta, la presión del combustible en el riel común y el tiempo de inyección. Esta unidad utiliza una variedad de sensores para monitorear el funcionamiento del motor y ajustar los parámetros del sistema (Garrido & Álvarez, 2016).

Bomba de alta presión. -Las bombas diésel son un componente clave en los motores diésel, ya que son responsables de enviar combustible en los inyectores del motor en el momento preciso para asegurar una combustión eficiente y controlada. Las bombas diésel han evolucionado a lo largo de los años, desde los diseños más simples hasta los sistemas modernos de alta presión. Las primeras bombas diésel utilizaban un sistema de inyección indirecta, donde el combustible se inyecta en una cámara de pre-combustión antes de entrar en la cámara de combustión principal. Estos sistemas eran menos eficientes que los sistemas de inyección directa, ya que el combustible se enfriaba en la cámara de pre-combustión antes de ingresar a la cámara de combustión principal (Bosch, 2010).

Los sistemas de inyección directa, por otro lado, permiten una dosificación más precisa del combustible directamente en la cámara de combustión. Los sistemas directos más antiguos tenían una bomba mecánica que utilizaba un émbolo para aumentar la presión del combustible antes de inyectarlo en la cámara de combustión. Sin embargo, estos sistemas tenían limitaciones en cuanto a la precisión y la capacidad de respuesta. Con la llegada de la tecnología electrónica, se han desarrollado bombas diésel electrónicas que utilizan un sistema de inyección electrónica controlado por un módulo de control del motor. Estas bombas tienen la capacidad de ajustar la cantidad de combustible inyectado en función de la carga del motor y la velocidad del vehículo. Además, las bombas diésel electrónicas pueden detectar y corregir errores en tiempo real, lo que permite un mayor control y precisión en la inyección de combustible (Vaca, 2014).

Una de las últimas innovaciones en la tecnología de bombas diésel es el sistema de inyección de combustible de riel común. Este sistema de alta presión que suministra combustible a los inyectores de combustible electrónicos controlados por un ECM. Los sistemas de inyección de riel común ofrecen una mayor precisión en la inyección de combustible y reducen el ruido y las emisiones del motor. Las bombas diésel son una parte esencial de los motores diésel y han evolucionado a lo largo de los años para mejorar la eficiencia, el rendimiento y la reducción de emisiones. Las innovaciones en la tecnología de bombas diésel, como las bombas diésel electrónicas y los sistemas de inyección de riel común, han permitido una mayor precisión en la inyección de combustible y una mayor eficiencia en la combustión del motor (Gallego, 2009).

1.1.8 Tipos de bombas

Las bombas diésel son una parte esencial del sistema de inyección de combustible en los motores diésel. Son responsables de suministrar el combustible a los inyectores en el momento preciso y en la cantidad adecuada para garantizar una combustión eficiente y una operación confiable del motor (Bredtmann, 2015).

Bomba Inyectora de Línea. -Esta es la bomba diésel más antigua y sencilla que existe. Se utiliza en motores diésel de baja potencia y consiste en una bomba mecánica que inyecta el combustible directamente en el cilindro del motor. Esta bomba funciona mediante la acción de una leva en el eje de la bomba que hace subir y bajar el pistón de la bomba para presión y suministro del combustible (Bredtmann, 2015).

Bomba rotativa. -La bomba rotativa se utiliza en motores diésel de alta potencia y se caracteriza por su diseño compacto y su alta eficiencia. Esta bomba funciona mediante un rotor que gira dentro de un cuerpo estacionario, creando así una cámara de bombeo que se llena de combustible y lo suministra a los inyectores en el momento adecuado (Bosch, 2010).

Bomba de inyector unitario. -La bomba de inyector unitario es una bomba diésel de alta presión que se utiliza en motores diésel modernos. Esta bomba funciona mediante un solenoide que controla la cantidad de combustible que se inyecta en el cilindro del motor. Esta bomba es muy eficiente y permite una mejor combustión del combustible, lo que reduce las emisiones y aumenta la potencia del motor (Bredtmann, 2015).

Bomba de alta presión -La bomba de alta presión es una bomba diésel de alta presión que se utiliza en motores diésel modernos. Esta bomba se caracteriza por su diseño modular y su capacidad para suministrar combustible a los inyectores a alta presión y en diferentes momentos. La bomba Common Rail utiliza un sistema de raíles comunes para suministrar combustible a los inyectores, lo que permite un control preciso de la inyección de combustible (Bosch, 2010).

Las bombas diésel son una parte esencial del sistema de inyección de combustible en los motores diésel. Existen diferentes tipos de bombas diésel, cada una con sus propias características y beneficios. Es importante seleccionar la bomba diésel adecuada para el motor en el que se va a utilizar para garantizar una operación confiable y eficiente del motor (Bredtmann, 2015).



Figura 1.4 Bomba de alta presión

Nota: se muestra la bomba utilizada en sistemas CRD-i

Fuente: (Bredtmann, 2015)

1.1.9 Riel común

Los sistemas de inyección de combustible en los motores diésel han experimentado una evolución significativa en los últimos años, y entre las tecnologías más destacadas se encuentra el Sistema de Inyección Directa de Riel Común (CRD-i, por sus siglas en inglés). Este sistema revolucionario ha mejorado la eficiencia, el rendimiento y la respuesta del motor diésel, y el componente central que lo hace posible es el riel de combustible. Este ensayo explorará la importancia y el funcionamiento del riel de combustible en los sistemas CRD-i, es una tubería de alta presión que se conecta a los inyectores de combustible y suministra combustible directamente a cada cilindro del motor. Su principal función es almacenar y distribuir el combustible a una presión constante y precisa para asegurar una inyección precisa y controlada en cada ciclo de combustión. Esto permite una mayor eficiencia en la quema de combustible y reduce las emisiones contaminantes. (Almarza, 2018)

El riel de combustible en los sistemas CRD-i está construido con materiales resistentes a la presión y corrosión, como acero inoxidable o aleaciones de aluminio, para garantizar su durabilidad y rendimiento. En su interior, cuenta con un pistón o válvula reguladora de presión que mantiene una presión constante en el riel, independientemente de las

fluctuaciones de demanda de combustible del motor. Esta presión se mide en bar o psi y varía según el diseño y las especificaciones del fabricante, un aspecto crucial del riel de combustible es su capacidad para mantener una presión constante y uniforme en todos los inyectores de combustible. Esto se logra gracias a un sistema de retorno de combustible que recircula el exceso de combustible no utilizado hacia el depósito de combustible, esta recirculación equilibra la presión en el riel y garantiza una inyección precisa en cada cilindro, El riel de combustible desempeña un papel fundamental en los sistemas CRD-i al garantizar una inyección precisa y controlada de combustible en cada cilindro del motor. Su capacidad para mantener una presión constante y uniforme mejora la eficiencia y el rendimiento del motor, al tiempo que reduce las emisiones contaminantes. El ensayo técnico regular del riel de combustible es esencial para mantener su correcto funcionamiento y prevenir posibles fallas. En resumen, el riel de combustible en los sistemas CRD-i es un componente vital que impulsa la eficiencia y el rendimiento de los motores diésel modernos (Trujillo, 2020).

1.1.10 Sistema de retorno

El sistema de retorno de los sistemas diésel CRD-i es crucial para el funcionamiento adecuado de estos motores. Permite la recirculación del combustible no utilizado desde los inyectores de combustible de vuelta al tanque de combustible. Esto ayuda a mantener la presión correcta en el sistema de combustible y evita la acumulación de aire en los conductos, el sistema de retorno consta de una tubería de retorno que conecta los inyectores de combustible con el tanque de combustible. A medida que el combustible es inyectado en los cilindros, una parte de él no se utiliza y es devuelta al tanque a través de esta tubería. Esta recirculación continua garantiza un suministro constante de combustible al sistema y evita la formación de burbujas de aire que podrían afectar el rendimiento del motor (Guerra, Morillo, Guasumba, & Guamán, 2021).

El sistema de retorno también ayuda a enfriar los inyectores de combustible. El combustible que se recircula actúa como un refrigerante al pasar por los inyectores, disipando el calor generado por la combustión. Esto ayuda a evitar el sobrecalentamiento de los inyectores y a mantener su rendimiento óptimo, desempeña un papel crucial en la recirculación del combustible no utilizado, manteniendo la presión adecuada en el sistema de combustible y evitando la acumulación de aire. También ayuda a enfriar los inyectores de combustible, asegurando un rendimiento óptimo del motor (Mora, Altamirano, Guasumba, & Cabascango, 2022).

CAPÍTULO 2

2. Materiales y Métodos

2.1 Materiales

2.1.1 Motor A-2.5 TCI (CRD-i)

El motor diésel CRD-i Common Rail Direct injection (CDRi) ha surgido como un hito tecnológico en la industria automotriz, redefiniendo los estándares de eficiencia y rendimiento. Este sistema de inyección directa de combustible, caracterizado por su alta presión y gestión electrónica precisa, ha desencadenado una revolución en la optimización de la combustión diésel.

Desde una perspectiva técnica, el motor CRD-i destaca por su capacidad para gestionar la inyección de combustible de manera más precisa y controlada. El término "Common Rail" hace referencia a la utilización de un riel común para la distribución del combustible a alta presión a todos los inyectores. Esta disposición permite una atomización óptima del combustible, asegurando que las partículas se dispersen de manera uniforme en la cámara de combustión. La consecuencia directa es una combustión más completa y eficiente, optimizando la relación entre la cantidad de combustible y el oxígeno presente en la cámara de combustión.

La gestión electrónica del sistema CRD-i añade una capa adicional de precisión al proceso de inyección. Los sensores monitorizan constantemente las condiciones de operación del motor, ajustando la duración y el momento de la inyección para adaptarse a las demandas variables. Esto resulta en una respuesta dinámica a diferentes situaciones de conducción, maximizando la eficiencia del combustible y minimizando las emisiones.

En términos de rendimiento, el motor CRD-i sobresale al ofrecer un par superior y un rendimiento potenciado en comparación con los motores diésel convencionales. Este aumento de torque proporciona una aceleración más rápida y una capacidad de remolque mejorada, aspectos cruciales tanto para vehículos de pasajeros como para aplicaciones comerciales.

La eficiencia en la combustión y el control preciso del sistema de inyección no solo mejoran el rendimiento, sino que también conducen a una reducción significativa de las emisiones

contaminantes. Los Óxidos de Nitrógeno (NOx) y las partículas de hollín, que son preocupaciones ambientales asociadas a los motores diésel, se ven considerablemente reducidas gracias a la tecnología avanzada implementada en el sistema CRD-i.

En cuanto a la experiencia del conductor, el motor CRD-i presenta niveles inferiores de ruido y vibración en comparación con sus contrapartes convencionales. Esta mejora en la suavidad de operación no solo contribuye a una conducción más placentera, sino que también eleva los estándares de comodidad para los ocupantes del vehículo.

Desde el punto de vista del diseño y la ingeniería, el motor CRD-i ha sido concebido para reducir el esfuerzo mecánico y mejorar la durabilidad. La gestión electrónica precisa disminuye el estrés en los componentes clave, al tiempo que optimiza la eficiencia del sistema en su conjunto. Este enfoque resulta en una mayor vida útil y en menores requisitos de mantenimiento, contribuyendo a la sostenibilidad operativa a lo largo del tiempo.

En resumen, el motor diésel CRD-i representa un avance tecnológico de considerable envergadura en la industria automotriz. Su capacidad para optimizar la inyección de combustible, mejorar el rendimiento, reducir emisiones y ofrecer una experiencia de conducción más refinada y duradera lo posiciona como un componente integral en la evolución hacia vehículos más eficientes, potentes y respetuosos con el medio ambiente. Este enfoque innovador no solo redefine los estándares de la industria, sino que también demuestra un compromiso con la excelencia técnica y la sostenibilidad a largo plazo. Se utilizó como material de pruebas un motor A-2.5 TCI diésel CRD-i a continuación la tabla 2.1 detalla todas sus características y especificaciones.

Tabla 2.1 Datos del motor A-2.5 TCI (CRD-i).

Motor	4 cilindros
Serie del motor	A-2.5 TCI (CRD-i)
Cilindraje	2.500 cc
Número de motor	D4CB8380053
Número de válvulas	16
Relación de compresión	17,7 a 1
RPM en bajas	2.000 RPM
Sobrealimentación	Turbo compresor
Enfriador	Intercooler

Sistema de control	Electrónico (Bosch) Riel Común
Orden de encendido	1-3-4-2



Figura 2.1 Motor A-2.5 TCI CRD-i

Fuente:(Frías & Guamialamá, 2015)

2.1.2 Inyectores diésel

Los inyectores diésel Bosch 0445110279 han sido objeto de creciente interés y reconocimiento en la industria automotriz debido a su tecnología innovadora y eficiencia en la inyección de combustible. Diseñados y fabricados por Bosch, una empresa líder en sistemas automotrices, estos inyectores han elevado los estándares de rendimiento y han transformado la manera en que los motores diésel operan. En primera instancia, los inyectores Bosch 0445110279 se destacan por su precisión excepcional. A través de un diseño meticulosamente desarrollado y la utilización de materiales de primera calidad, estos inyectores lograron una pulverización del combustible altamente fina y uniforme. Esta característica es esencial, ya que resulta en una mezcla óptima entre el combustible y el aire, mejorando significativamente la combustión y, a su vez, incrementando la potencia del motor y disminuyendo las emisiones contaminantes.

Un aspecto destacado de esta tecnología reside en su capacidad para operar a altas presiones. La ingeniería avanzada de los inyectores 0445110279 permite una atomización más eficiente del diésel, lo cual se traduce en una combustión más completa y una reducción significativa del ruido del motor, contribuyendo a un funcionamiento más suave y silencioso del vehículo además de su eficiencia y precisión, los inyectores diésel Bosch 0445110279 han sido

diseñados para garantizar una vida útil prolongada. La selección meticulosa de materiales de alta calidad y los rigurosos procesos de fabricación aseguran su durabilidad y resistencia ante condiciones adversas. Esta confiabilidad se traduce en menores costos de mantenimiento y mayor satisfacción para los propietarios de vehículos equipados con esta tecnología de inyección otra ventaja significativa radica en la versatilidad de los inyectores Bosch 0445110279, ya que son compatibles con una amplia gama de motores diésel. Su fácil instalación y calibración facilitan su integración en diferentes modelos de vehículos, permitiendo a los fabricantes ofrecer opciones con altos estándares de rendimiento y eficiencia de combustible.

Tabla 2.2 Datos de inyectores diésel CRD-i.

Numero de parte	0445110279
Números reemplazables	0445110186
Descripción	Common Rail Injector
Tipo	CRI2
Fabricante	Bosch

Nota: En la tabla podemos observar el número de parte de la pieza utilizada



Figura 2.2 Inyector diésel CRD-i

Fuente: (Bosch, 2010)

2.1.3 Válvula ZME

La válvula ZME (Electroválvula de Control de Volumen) en el sistema Common Rail Direct Inyección (CRD-i) representa un componente crucial en la gestión del suministro de combustible a los inyectores en motores diésel. Este componente, caracterizado por su naturaleza controlada electrónicamente, desempeña un papel fundamental en la administración de la presión del combustible en el riel común, lo que, a su vez, facilita una inyección precisa y eficiente en la cámara de combustión.

La operación de la válvula ZME se distingue por su capacidad para ajustar la cantidad de combustible inyectado en respuesta a las demandas específicas del motor. Este ajuste dinámico se traduce en una optimización de la eficiencia en el consumo de combustible y una reducción sustancial en las emisiones perjudiciales. La habilidad de la ZME para adaptarse a las variaciones en las condiciones operativas del motor impulsa la eficiencia global del sistema de inyección diésel, contribuyendo así a un rendimiento mejorado y sostenible.

En términos técnicos, la válvula ZME opera en sincronía con el sistema CRD-i, el cual se caracteriza por mantener una presión constante del combustible en el riel común. La capacidad de ajustar esta presión de manera electrónica, en función de las exigencias del motor, permite una respuesta instantánea a cambios en la carga y la velocidad del motor. Esto se traduce en una administración precisa del volumen de combustible inyectado en cada ciclo, maximizando la eficiencia de la combustión y reduciendo las pérdidas energéticas.

La importancia de la válvula ZME radica en su papel en la mejora global del rendimiento del motor. Al adaptar dinámicamente la cantidad de combustible suministrada, se logra una combustión más eficiente y completa, lo que se traduce en un aumento de la potencia del motor. Además, la capacidad de la ZME para ajustarse a condiciones de carga variables y variaciones en la velocidad del motor contribuye a una respuesta instantánea y suave del sistema de inyección.

Desde una perspectiva técnica, la válvula ZME se compone de elementos específicos, como solenoides y elementos de control, que permiten la regulación precisa del flujo de combustible. Los solenoides, en particular, juegan un papel crucial al convertir señales eléctricas en movimientos mecánicos, lo que facilita la apertura y cierre controlados de la válvula. La interacción precisa de estos componentes garantiza una respuesta rápida y precisa a las señales del sistema de gestión del motor.

La eficacia de la válvula ZME se extiende más allá de la mejora del rendimiento del motor. La capacidad de gestionar con precisión la inyección de combustible contribuye directamente a la reducción de emisiones nocivas, cumpliendo con las más estrictas normativas ambientales cada vez. La adaptabilidad de la ZME a diferentes condiciones de operación y la capacidad de modular la inyección de combustible de manera milimétrica la posicionan como un componente esencial para alcanzar estándares más altos de eficiencia y sostenibilidad en los motores diésel modernos.

En resumen, la válvula ZME en sistemas CRD-i no solo es un componente técnico clave en la administración del combustible, sino que también desempeña un papel fundamental en la optimización del rendimiento del motor y la reducción de emisiones. Su capacidad para ajustar la inyección de combustible con precisión milimétrica en respuesta a las demandas cambiantes del motor demuestra su importancia en la evolución continua hacia sistemas de propulsión más eficientes y respetuosos con el medio ambiente.



Figura 2.3 Válvula ZME

Fuente: (Bosch, 2010)

Tabla 2.3 Datos técnicos de válvula ZME utilizada.

Fabricante	Bosch
Marca	Kia
País de origen	Alemania
Numero de pieza del fabricante	0928400652

Nota: En la tabla podemos observar los datos técnicos del material

2.1.4 Probetas de medición de retorno de combustible CRD-i

Los medidores de flujo de retorno de inyectores diésel CRD-i son una herramienta esencial para el diagnóstico y la reparación de los sistemas de inyección de combustible diésel modernos. En los sistemas de inyección diésel CRD-i, se mantiene una presión constante del combustible en una "tubería común" o rail, a través del cual se suministra combustible a cada uno de los inyectores. Cuando un inyector está en funcionamiento, devuelve una cantidad de combustible al rail a través del conducto de retorno de combustible del inyector, y es aquí donde los medidores de flujo de retorno entran en juego, los medidores de flujo de retorno miden la cantidad de combustible que se devuelve al rail desde cada inyector individual, lo que puede ayudar a identificar problemas con un inyector específico, como una fuga o un mal funcionamiento. La cantidad de combustible que se devuelve puede indicar si el inyector está suministrando la cantidad correcta de combustible al motor. Los medidores de flujo de retorno también pueden ser útiles para la calibración y ajuste de los inyectores diésel CRD-i, ya que permiten medir la cantidad exacta de combustible que se devuelve a la tubería común desde cada inyector individual. Esto ayuda a asegurar que cada inyector esté suministrando la cantidad correcta de combustible al motor, lo que puede mejorar la eficiencia del combustible y el rendimiento del motor.

Los medidores de flujo de retorno de inyectores diésel CRD-i son una herramienta valiosa para el diagnóstico y la reparación de los sistemas de inyección de combustible diésel modernos. Al permitir la medición precisa del flujo de combustible que se devuelve desde cada inyector individual, pueden ayudar a identificar y solucionar problemas con los inyectores, y mejorar la eficiencia del combustible y el rendimiento del motor.

El kit de riel común de cilindro está diseñado para medir el flujo de combustible de retorno en vehículos diésel equipados con sistema de inyección de riel común este equipo se utilizó en la investigación para la recolección de datos en la siguiente tabla 1.4 se especifica sus características.



Figura 2.4 Probetas de medición

Fuente: (China Patente nº Kc.0328, 2018)

Tabla 2.4 Datos probetas de medición de flujo de retorno de combustible CRD-i.

Fabricante	Kuangchen
Marca	KUNTEC
Peso	0.634 onzas
Dimensiones	3.94 x 1.97 x 2.36 pulgadas
País de origen	China
Numero de pieza del fabricante	Kc.0328

Nota: En la tabla podemos observar los datos del material de recopilación de datos utilizado.

Fuente: (China Patente nº Kc.0328, 2018)

2.1.5 Escáner automotriz

El escáner automotriz FSA 740 es una herramienta diseñada para detectar y solucionar problemas en vehículos modernos. Desarrollado por una reconocida empresa de tecnología automotriz, este dispositivo ha ganado popularidad en talleres mecánicos, concesionarios y entusiastas del automóvil gracias a sus impresionantes capacidades técnicas y facilidad de uso. FSA 740 se presenta en un formato compacto y robusto, lo que facilita su transporte y manejo en el día a día de un taller mecánico. Su pantalla táctil a color de alta resolución permite una navegación intuitiva a través de su interfaz de usuario, que muestra información detallada y fácilmente comprensible para técnicos y mecánicos.

Una de las características destacadas del FSA 740 es su amplia cobertura de vehículos. Este escáner es compatible con la mayoría de las marcas y modelos de automóviles presentes en

el mercado, lo que lo convierte en una opción versátil para cualquier taller. Además, recibe actualizaciones periódicas que incluyen nuevas funciones y bases de datos actualizadas, lo que garantiza que siempre esté a la vanguardia de los avances tecnológicos y las últimas incorporaciones de vehículos. La funcionalidad del FSA 740 es amplia y abarca diversas áreas del diagnóstico automotriz. Desde leer y borrar códigos de falla hasta acceder a datos en tiempo real y realizar pruebas especiales, este escáner proporciona una amplia gama de información esencial para identificar y resolver problemas mecánicos y electrónicos. Además, su capacidad para realizar ajustes y codificaciones en los sistemas de los vehículos permite una intervención más precisa y profesional.

Aunque el FSA 740 es una herramienta extremadamente útil, es importante destacar que, como cualquier escáner automotriz, requiere un conocimiento sólido de mecánica automotriz y electrónica para utilizarlo adecuadamente. Los técnicos deben comprender los datos que proporciona el escáner y ser capaz de interpretarlos correctamente para tomar decisiones informadas y realizar las reparaciones necesarias.



Figura 2.5 FSA 740

Fuente: (Bosch, 2010)

2.1.6 Software estadístico

La graficación de datos es una parte fundamental del análisis de información en diversos campos, y contar con un software integral es crucial para explorar, interpretar y comunicar eficazmente los resultados. Un ejemplo destacado en este ámbito es la capacidad de aplicar diversos tipos de modelos de regresión para adaptarse a la naturaleza específica de los datos. Este software no se limita a modelos lineales simples, sino que permite la exploración de

modelos más complejos, como regresiones no lineales y ponderadas. Esto posibilita a los usuarios ajustar sus modelos de manera precisa, capturando relaciones más realistas entre las variables.

La realización de pruebas de hipótesis es otro componente clave en el proceso analítico. Este software ofrece la capacidad de llevar a cabo pruebas de significancia estadística, permitiendo a los usuarios evaluar la validez de sus conclusiones y realizar inferencias sobre la población en función de las muestras disponibles. Estas pruebas son fundamentales para la toma de decisiones informadas en diversos entornos, ya sea científico o industrial.

En el análisis de series temporales, el software proporciona herramientas especializadas para descomponer tendencias, estacionalidades y componentes cíclicos en conjuntos de datos temporales. Esto permite a los analistas identificar patrones y comportamientos a lo largo del tiempo, proporcionando una comprensión más profunda de las dinámicas subyacentes.

En situaciones donde múltiples variables interactúan simultáneamente, el enfoque multivariado del software facilita la exploración de relaciones complejas entre diversas variables. Esto es esencial para la identificación de patrones y la toma de decisiones fundamentadas en contextos multidimensionales.

La interfaz de usuario ha sido diseñada para proporcionar una experiencia intuitiva y eficiente. Características como menús desplegables, funciones de arrastrar y soltar, y opciones de personalización permiten a los usuarios realizar análisis detallados de manera eficaz. La generación de informes también se simplifica, lo que facilita la comunicación clara y efectiva de los hallazgos a diferentes audiencias.

En cuanto a la visualización de datos, el software ofrece una amplia variedad de opciones, desde histogramas y diagramas de dispersión hasta gráficos de cajas y bigotes, así como gráficos de control. La capacidad de personalizar la apariencia de los gráficos garantiza que la presentación visual se alinee con los estándares específicos del usuario o la industria.

Este software, versátil y utilizado en una amplia gama de sectores, se destaca por su capacidad para ofrecer análisis avanzados, interpretación de datos y generación de informes efectivos. Su posición como una herramienta esencial radica en su capacidad para explorar la complejidad de los datos y respaldar decisiones en análisis sólidos

2.2 Metodología

2.2.1 Condiciones del estudio

La experimentación fue realizada bajo las siguientes condiciones

- Motor en temperatura de trabajo sobre los 90°
- Límites de pruebas establecidos entre 800 rpm a 2500 rpm
- Un mínimo de 20 muestras por prueba realizada para mayor exactitud de resultados

2.2.2 Manejo de equipo de pruebas

El éxito en la realización de un experimento diseñado para la recolección de datos en inyectores diésel Common Rail Direct Inyección (CRD-i) requiere un nivel profundo de inmersión en la comprensión y manejo preciso del equipo de medición. La fase preliminar de cada prueba conlleva una imperiosa necesidad: que el operador adquiera una comprensión detallada del funcionamiento intrínseco del equipo. Este conocimiento profundo sienta las bases para establecer conexiones metódicas y esenciales en el sistema de inyectores CRD-i, un aspecto de vital importancia para garantizar la integridad y coherencia de los datos que se buscan recopilar. La meticulosidad en la ejecución de cada paso, desde la preparación del equipo hasta la realización de las pruebas, se convierte en un factor determinante para asegurar la validez y fiabilidad de los resultados obtenidos en el proceso experimental.

Dentro del contexto específico de este escenario, la elección de sondas para la medición de flujo se lleva a cabo con un criterio sumamente meticuloso, dando preferencia a aquellas diseñadas de manera específica para inyectores diésel Common Rail Direct Inyección (CRD-i) de la destacada marca KUNTEC. Estas sondas especializadas se integran de manera precisa con el sistema de retorno de cada inyector, lo que posibilita realizar mediciones extremadamente precisas expresadas en unidades de centímetros cúbicos (cm³).

Es imperativo resaltar que cada sonda exhibe una notable capacidad de medición de hasta 600 cm³, confiriendo una versatilidad significativa para abordar una amplia variedad de condiciones experimentales. Esta capacidad extensa proporciona un nivel de detalle y resolución excepcionales, permitiendo que las mediciones se adapten eficazmente a diferentes situaciones y variables presentes en el entorno de estudio. La elección deliberada

de sondas de alta calidad y la atención meticulosa a los detalles técnicos aseguran la fiabilidad y precisión de los datos recopilados durante el proceso experimental.

El protocolo experimental se desenvuelve con una meticulosa planificación que comprende los siguientes pasos:

2.3 Preparación del Equipo:

El proceso comienza con una minuciosa verificación del estado y la calibración del equipo de medición. Esta etapa abarca la confirmación meticulosa de la integridad de las sondas de medición y la precisa calibración del sistema de inyectores CRD-i. Estos aspectos desempeñan un papel crucial y determinante en la calidad y confiabilidad de los datos experimentales recopilados. La atención cuidadosa a estos detalles es fundamental para asegurar resultados precisos y consistentes a lo largo de todo el proceso de medición, proporcionando así una base sólida para el análisis y la interpretación de los resultados obtenidos. Este enfoque riguroso en la verificación y calibración inicial garantiza la robustez y la precisión de la instrumentación utilizada, contribuyendo a la confiabilidad y validez de los datos experimentales generados.

2.3.1 Conexión de las Sondas:

Después de haber preparado con meticulosidad el equipo, el siguiente paso implica la conexión precisa de las sondas de medición de flujo a los sistemas de retorno de los inyectores diésel CRD-i de la reconocida marca KUNTEC. Este proceso se lleva a cabo con sumo cuidado, siguiendo pautas rigurosas para garantizar una interfaz exacta y libre de posibles interferencias externas que podrían comprometer la integridad de los resultados obtenidos. La atención detallada en esta fase no solo busca asegurar la correcta vinculación de las sondas a los inyectores, sino también prevenir cualquier distorsión de los datos experimentales, permitiendo así una captura fidedigna y sin alteraciones de los flujos de retorno en los inyectores diésel CRD-i de la marca KUNTEC. Este enfoque meticuloso en la conexión de las sondas no solo es esencial para mantener la integridad de los datos, sino que también contribuye a la consistencia y fiabilidad de los resultados en cada etapa del proceso experimental.



Figura 2.6 Conexión de sondas de medición.

2.3.2 Verificación de la Conexión:

Una fase crucial del proceso implica llevar a cabo una exhaustiva verificación final para garantizar que todas las conexiones se hayan establecido de manera precisa y fiable. Este paso es fundamental, ya que implica la confirmación de la estanqueidad de todas las conexiones, asegurándose de que no haya ninguna posible fuga que pueda comprometer la integridad de los datos experimentales y, por ende, la interpretación precisa de los resultados obtenidos.

Durante esta etapa de verificación final, se presta especial atención a cada punto de conexión, evaluando la hermeticidad con meticulosidad. Se verifica que no haya escape de fluidos o presiones no deseadas en ninguna de las interfaces del sistema. Esta medida preventiva es esencial para garantizar que el entorno experimental se mantenga controlado y que los datos recopilados sean representativos y confiables.

La ausencia de posibles fugas no solo preserva la integridad del sistema, sino que también fortalece la validez de los resultados al minimizar cualquier factor externo que pueda distorsionar las mediciones. Esta verificación final, realizada con atención y cuidado, constituye una última línea de defensa para asegurar la calidad y fiabilidad de los datos experimentales, proporcionando una base sólida para el análisis posterior y la toma de decisiones informadas.

2.3.3 Inicio del Proceso de Prueba:

Una vez que se ha verificado con éxito la integridad de todas las conexiones, se procede a dar inicio al proceso de prueba. Esta fase implica una activación meticulosa y controlada del sistema de inyectores CRD-i, donde se busca no solo su funcionamiento eficiente, sino también la obtención precisa de datos. Este proceso de activación se lleva a cabo con la finalidad de garantizar un flujo constante y controlado de combustible a través de los inyectores.

Simultáneamente, se inicia la captura y registro de datos de flujo mediante las sondas de medición estratégicamente colocadas. Estas sondas desempeñan un papel crucial al proporcionar mediciones en tiempo real de los flujos de retorno, permitiendo una monitorización detallada y precisa durante todo el proceso de prueba.

La activación controlada del sistema y la captura simultánea de datos aseguran una recopilación de información en condiciones operativas reales, lo que resulta esencial para obtener resultados representativos y aplicables en entornos prácticos. Este enfoque integral no solo valida el rendimiento del sistema de inyectores, sino que también respalda la calidad y confiabilidad de los datos recopilados, sentando así las bases para un análisis exhaustivo y preciso de los resultados experimentales obtenidos.



Figura 2.7 Inicio de prueba

2.3.4 Análisis de Datos:

Posteriormente, se emprende un análisis detallado de los datos recopilados. Este análisis va más allá de una simple interpretación, buscando extraer conclusiones significativas y evaluar el rendimiento del sistema de inyectores bajo diversas condiciones experimentales,

contribuyendo así a una comprensión más profunda y matizada del comportamiento del sistema.

En síntesis, este enfoque experimental meticuloso y técnico se configura como una amalgama de precisión y exhaustividad, garantizando no solo la obtención de resultados robustos y fidedignos, sino también contribuyendo a la expansión del conocimiento en el ámbito de inyectores diésel CRD-i de alta precisión

2.3.5 Establecimiento de parámetros

Antes de proceder a la conexión de las sondas de medición, es imperativo llevar a cabo una meticulosa fase de preparación, la cual engloba la definición y ajuste de los parámetros clave en el contexto del proceso experimental. Inicialmente, se inicia la operación del motor de prueba con una velocidad basal de 800 revoluciones por minuto (rpm), sirviendo este valor como punto de partida para la ejecución de la prueba subsecuente.

Un aspecto cardinal de este proceso es la calibración del tiempo de aceleración específica, el cual determina la variación gradual de la velocidad del motor en concordancia con los requisitos experimentales. La realización de este ajuste exige una precisión meticulosa, siendo esencial para la consecución de resultados fidedignos y representativos.

La fase crítica del procedimiento implica guardar hasta que el motor alcance la temperatura operativa designada, situada en 90 grados Celsius en esta instancia. La consecución de esta temperatura es un requisito fundamental para establecer condiciones térmicas estables y propiciar mediciones consistentes y contextualmente relevantes.

Una vez que se haya logrado la estabilización térmica, se procede con la conexión de los instrumentos de medición, respetando y aplicando rigurosamente los parámetros predefinidos en el diseño experimental. Particular debe ser atención otorgada a variables cruciales, como el número de válvula ZME seleccionada, desde la cual se extraerán los datos pertinentes. Estos parámetros son esenciales para garantizar la coherencia y pertinencia de los resultados obtenidos durante el desarrollo del experimento.

En síntesis, la fase inicial del experimento exige una planificación exhaustiva y la ejecución precisa de procedimientos críticos, desde la puesta en marcha del motor hasta la conexión de los dispositivos de medición. Estos pasos son esenciales para establecer condiciones

controladas y reproducibles, salvaguardando así la validez y robustez de los datos recopilados en el curso del proceso experimental.



Figura 2.8 Establecimiento de parámetros

2.3.6 Inicio de prueba

Con los parámetros previamente definidos, se establece un límite temporal específico de cuatro minutos desde el inicio del encendido para llevar a cabo la medición. Después de transcurrido este intervalo, se procede a la recolección de datos de cada uno de los inyectores. Esta fase implica una revisión minuciosa del caudal obtenido por cada inyector durante el período de tiempo establecido.

Durante el lapso de cuatro minutos después de la activación inicial, se monitorea el funcionamiento de los inyectores y se registra el caudal de combustible liberado por cada uno de ellos. Esta recopilación de datos proporciona información esencial sobre el rendimiento de los inyectores en un marco de tiempo específico, permitiendo así evaluar la consistencia y eficacia del flujo de combustible durante la ventana temporal predeterminada. Este procedimiento es crucial para comprender y analizar el desempeño de los inyectores en el contexto de la operación del sistema, proporcionando datos valiosos para posibles ajustes o mejoras en el funcionamiento del conjunto.

2.3.7 Recolección de datos

Al concluir el periodo de prueba, se emprendió una fase crítica de la investigación: la recolección de datos, fase esencial para llevar a cabo un análisis detallado y riguroso de los resultados obtenidos. En este proceso, se llevó a cabo la extracción precisa del diésel recobrado de cada una de las sondas, transfiriéndolo con meticulosidad a una jarra de

medición con capacidad de mil centímetros cúbicos y una graduación precisa hasta la unidad más ínfima. Este procedimiento se llevó a cabo con una ejecución acorde a un protocolo meticuloso, en el cual se priorizó la precisión y la exactitud en cada etapa del proceso.

La recopilación de datos se ejecutó de manera individualizada para cada prueba, con un registro detallado y minucioso de la cantidad específica de diésel recuperado en cada instancia experimental. Esta metodología se diseñó con la finalidad primordial de información altamente detallada y precisa, condición sine qua non para llevar a cabo un análisis a fondo y una evaluación robusta de los rendimientos obtenidos durante el desarrollo del experimento.

La atención meticulosa a cada detalle en el proceso de recolección de datos no solo garantiza la integridad y confiabilidad de la información recopilada, sino que también sentó las bases para una interpretación precisa y una evaluación fundamentada de los resultados experimentales. La calidad y solidez de estos datos constituyen pilares fundamentales en la construcción del conocimiento técnico derivado del experimento, brindando una base sólida para la toma de decisiones y el avance de la investigación en el ámbito abordado.



Figura 2.9 Recolección de datos

2.3.8 Cambio de válvula ZME

Al concluir la fase inicial de recopilación de datos, se implementó un cambio significativo en la configuración experimental mediante la sustitución de la válvula ZME. Esta

modificación técnica se realizó con el objetivo de introducir una variación controlada en el dosado de combustible, permitiendo así simular condiciones específicas de fallo en el sistema de inyección diésel. Esta decisión se basó en la necesidad de diversificar la variabilidad del proceso experimental, involucrando ahora tres válvulas distintas en el estudio.

La transición entre las tandas de datos y la sustitución de la válvula ZME no solo elevó la complejidad técnica del experimento, sino que también proporcionó la oportunidad de evaluar la respuesta del sistema ante alteraciones simuladas en la dosificación del combustible. Este enfoque fortaleció la robustez de los resultados y permitió explorar detalladamente posibles escenarios de fallo, así como la capacidad de adaptación del equipo de medición ante condiciones variables.

La ejecución meticulosa de este cambio, siguiendo un protocolo técnico riguroso, aseguró la consistencia y fiabilidad de los datos recopilados. Cada etapa del procedimiento, desde la sustitución de la válvula ZME hasta la subsiguiente recopilación de datos, se llevó a cabo con precisión para preservar la integridad de la investigación.

Este ajuste en la metodología no solo incrementó la complejidad técnica del experimento, sino que también brindó una perspectiva más detallada sobre la capacidad de los inyectores y del sistema en general para adaptarse a situaciones variables. La repetición del proceso con distintas válvulas añadió un nivel adicional de detalle a la evaluación del rendimiento, ofreciendo así una visión más holística y detallada del comportamiento del sistema de inyección de combustible diésel en el contexto del estudio técnico.



Figura 2.10 Válvulas ZME

2.3.9 Finalizado de estudio con probetas de medición

Al culminar exitosamente las 60 pruebas inicialmente establecidas, procedemos con el proceso de reensamblaje del sistema de inyección. Este paso es esencial para facilitar la ejecución de las siguientes pruebas, que tienen como objetivo primordial la adquisición de datos precisos y técnicamente relevantes. El reensamblaje se está llevando a cabo bajo estrictas pautas y procedimientos específicos con el propósito de mantener la coherencia y fiabilidad del equipo de medición.

Este proceso no solo asegura la continuidad ininterrumpida del experimento, sino que también contribuye significativamente a la preservación de la integridad de los datos acumulados hasta el momento. La meticulosidad en el reensamblaje es crítica para conservar la consistencia en las condiciones del sistema, permitiendo así confiar en la coherencia de los resultados obtenidos.

Una vez finalizado el reensamblaje, estaremos preparados para avanzar con las siguientes pruebas, las cuales desempeñarán un papel determinante en la obtención de datos adicionales y específicos. Nos comprometemos a seguir con exactitud cada etapa del procedimiento experimental, lo que nos posibilitará la obtención de información detallada y relevante para el análisis y la evaluación técnica de los rendimientos del sistema de inyección diésel en estudio.

2.3.10 Inicio de medición con FSA740

Después de establecer meticulosamente los parámetros predefinidos, avanzamos a la fase crítica de conexión mediante el sistema OBD2 con el escáner FSA740. En esta etapa esencial, nos sumergimos en la interfaz del escáner para seleccionar de manera cuidadosa las características específicas del motor. Esto abarca detalles fundamentales como la marca, el número de VIN, la cilindrada y otros atributos esenciales que garantizan una comunicación precisa con el motor que está siendo analizado.

La elección del sistema de inyección representa la siguiente etapa estratégica antes de iniciar el flujo de datos. Este paso es de vital importancia para obtener información técnica detallada y precisa. Una vez que hemos completado esta configuración, el escáner FSA740 está preparado para capturar una amplia gama de datos relacionados con el rendimiento del motor y los parámetros específicos del sistema de inyección.

Este enfoque técnico es esencial ya que proporciona una visión holística y profunda del estado del motor y su sistema de inyección. La capacidad de seleccionar de manera precisa las características del motor y del sistema de inyección asegura que los datos recopilados sean no solo relevantes, sino también confiables. Con el flujo de datos en curso, estamos listos para un análisis exhaustivo que respalde un diagnóstico preciso y la toma de decisiones informadas en relación con el rendimiento del motor y la eficiencia del sistema de inyección. Este proceso se erige como un pilar fundamental para la evaluación técnica de estos componentes vitales del vehículo.

2.3.11 Selección de datos de recolección

En el marco de nuestro análisis técnico, hemos priorizado la meticulosa recopilación de datos relativos a los parámetros fundamentales del sistema de inyección diésel: dosado, flujo, presión, caudal e inyección total. Este proceso de obtención de datos se llevó a cabo de manera sistemática, manteniendo constantes las condiciones durante un periodo de 4 minutos en cada una de las 10 repeticiones realizadas. La reiteración de estas mediciones, con condiciones controladas, busca garantizar la solidez y fiabilidad de los resultados para cada parámetro analizado.

Posterior a la fase de recopilación de datos, procedimos con una grabación en tiempo real de los resultados obtenidos. Esta estrategia proporciona una visión dinámica y detallada de la evolución de cada parámetro durante el proceso de inyección, permitiendo una comprensión más profunda y una extracción precisa de datos específicos de interés.

La fusión de una recopilación de datos metódica con una grabación en vivo es esencial para la calidad y la integridad de la información recabada. La consistencia en la repetición del proceso y la capacidad de observar en tiempo real los resultados fortalecen la robustez de los datos, posibilitando así un análisis técnico más profundo de cada componente crítico en el sistema de inyección diésel en evaluación. Este enfoque técnico respalda una evaluación exhaustiva y precisa del rendimiento del sistema, proporcionando una base sólida para posteriores análisis y decisiones informadas.



Figura 2.11 Selección de datos y recolección

CAPÍTULO III

3. Resultados y análisis

3.1 Investigación experimental

La investigación experimental es un enfoque científico que se basa en la manipulación deliberada de variables independientes para observar y medir los efectos resultantes sobre variables dependientes, con el objetivo de establecer relaciones de causalidad. Este método implica el diseño y la implementación controlada de experimentos, donde se introducen cambios controlados en las condiciones para evaluar su impacto en fenómenos específicos.

En términos más detallados y técnicos, la investigación experimental sigue un diseño riguroso que incluye la identificación de variables independientes y dependientes, así como la manipulación de las primeras para evaluar su efecto sobre las segundas. Se busca minimizar la influencia de variables extrañas mediante la asignación aleatoria de participantes o unidades experimentales a diferentes condiciones experimentales y la implementación de controles adecuados.

La recopilación de datos se realiza de manera sistemática y cuantitativa, utilizando herramientas y métodos específicos para medir y registrar las observaciones. El análisis estadístico posterior se utiliza para determinar la significancia de las diferencias observadas y para inferir conclusiones sobre las relaciones causales.

3.2 Valores estándar de retorno de inyectores

El caudal de retorno en los inyectores diésel constituye un parámetro de vital importancia en el funcionamiento de los sistemas de inyección, desempeñando un papel crítico en la optimización del rendimiento del motor. Este indicador, expresado en centímetros cúbicos por minuto (cm^3/min), representa la cantidad de combustible que retrocede al tanque después de su paso por los inyectores, sin haber sido inyectado en la cámara de combustión. Su trascendencia radica en la capacidad de mantener una presión constante en el sistema de combustible, lo que, a su vez, contribuye de manera sustancial a la eficiencia operativa del motor.

La estabilidad de la presión en el riel de combustible es esencial para asegurar una inyección precisa y óptima de combustible en la cámara de combustión. El caudal de retorno juega un papel preponderante al facilitar el retorno del excedente de combustible al tanque, previniendo así fluctuaciones indeseadas en la presión del sistema. Este proceso resulta esencial para maximizar la eficiencia del motor y garantizar un desempeño consistente a lo largo del tiempo.

En el contexto de inyectores diésel convencionales, los valores normativos del caudal de retorno generalmente oscilan entre 50 y 200 cm³/min. Sin embargo, estos valores pueden experimentar variaciones debido al desgaste progresivo de los componentes a lo largo de su vida útil. Por lo tanto, la meticulosa medición y monitorización del caudal de retorno se erigen como prácticas ineludibles en el diagnóstico y mantenimiento de los sistemas de inyección diésel.

Las alteraciones significativas en el caudal de retorno pueden actuar como indicadores tempranos de posibles problemas. Estas variaciones pueden ser señales de desgaste acentuado en los inyectores, complicaciones en la presión del riel de combustible o incluso fallos potenciales en la válvula de retorno. La detección precoz de estas irregularidades resulta esencial para prevenir daños mayores en el sistema de inyección y salvar un rendimiento óptimo del motor.

En el ámbito del diagnóstico, la evaluación meticulosa del caudal de retorno se posiciona como una herramienta inestimable. Las fluctuaciones en estos valores ofrecen indicadores precisos sobre la salud y estado de los componentes del sistema de inyección. La implementación de tecnologías avanzadas de medición y monitoreo facilita la identificación temprana de problemas potenciales, permitiendo intervenciones preventivas antes de que impacten negativamente en el rendimiento del motor.

Además, la constante investigación y desarrollo en el campo de los sistemas de inyección diésel buscan perfeccionar la precisión y confiabilidad de las mediciones de caudal de retorno. Esto implica la adopción de sensores más atractivos y sistemas de monitoreo en tiempo real, que posibilitan un control más preciso y una respuesta inmediata ante cualquier anomalía, contribuyendo así a la mejora continua de la eficiencia de los motores diésel.

En síntesis, el caudal de retorno en los inyectores diésel no solo representa la cantidad de combustible que regresa al tanque, sino que ejerce una función esencial en la estabilidad y

eficiencia del sistema de inyección. Su monitorización meticulosa, respaldada por tecnologías avanzadas, se erige como una práctica ineludible para asegurar un rendimiento óptimo del motor y prevenir potenciales problemas en los sistemas de inyección diésel.

La estandarización de los valores de retorno de combustible, que típicamente fluctúan alrededor de 50 a 200 cm³ tomando el valor a la base del tiempo de un minuto, exhibe similitudes con los valores de caudal. Sin embargo, es esencial reconocer que estas cifras son susceptibles a variaciones sustanciales, dependiendo del diámetro del motor, el estado de desgaste de los componentes y la condición específica de los inyectores.

La consideración del diámetro del motor se erige como un factor determinante en la variabilidad de estos valores, ya que motores de diferentes dimensiones pueden manifestar demandas y comportamientos diversos en términos de retorno de combustible. Además, el desgaste progresivo de los componentes a lo largo del tiempo puede influir significativamente en la eficiencia del sistema de inyección, generando variaciones notables en el volumen de retorno.

La condición de los inyectores, siendo componentes críticos en el proceso de inyección de combustible, también juega un papel destacado. Inyectores en óptimas condiciones contribuirán a mantener valores de retorno más consistentes, mientras que inyectores desgastados o con problemas podrían resultar en fluctuaciones más pronunciadas en el volumen de retorno.

3.3 Valores extraídos de la primera medición

La meticulosa evaluación del desempeño de los inyectores diésel mediante la recopilación y análisis de datos derivados de pruebas específicas constituye una etapa crítica en el diagnóstico y mantenimiento de sistemas de inyección. En este contexto, la primera ronda de mediciones llevadas a cabo bajo condiciones específicas, con una válvula ZME en mal estado como punto de partida, ofrece una visión detallada de la interacción entre los inyectores y el sistema de combustible en su conjunto.

La duración de la prueba, establecida en cuatro minutos, y la elección de realizar la evaluación con el motor en ralentí y una temperatura de trabajo óptima, fueron determinadas con precisión para replicar condiciones operativas reales. Este enfoque riguroso proporciona un marco experimental controlado, permitiendo una evaluación más precisa y reproducible de los inyectores diésel.

Los datos recopilados durante la primera ronda se expresan en centímetros cúbicos, ofreciendo una métrica específica diseñada para cuantificar con precisión los resultados del proceso de prueba. Este enfoque métrico facilita una interpretación más detallada de los resultados, al permitir una comparación directa del volumen inyectado por cada inyector.

La meticulosa configuración de estos parámetros busca no solo evaluar la funcionalidad de la válvula ZME, sino también identificar posibles variaciones en el rendimiento de los inyectores. La elección de realizar la prueba con una válvula en mal estado complejidad añade al escenario, ya que simula una condición realista de funcionamiento en la que los inyectores deben adaptarse a una válvula que no opera de manera óptima.

La segunda fase de la evaluación incorpora una modificación temporal, reduciendo el periodo de observación a dos minutos y ajustando la frecuencia de giro del motor a 2500 rpm. Este ajuste estratégico se implementa con el objetivo de explorar el comportamiento de los inyectores bajo condiciones más dinámicas y desafiantes. La decisión de reducir el tiempo de prueba y aumentar la velocidad del motor busca generar resultados que reflejen la respuesta de los inyectores en situaciones que exigen un rendimiento más exigente.

Es crucial destacar que se llevaron a cabo un total de 40 pruebas para cada inyector, generando ochenta conjuntos de datos durante la fase inicial de pruebas. Esta amplitud en la cantidad de pruebas no solo contribuye a la robustez de los resultados, sino que también proporciona una visión integral de la variabilidad en el rendimiento de los inyectores bajo condiciones adversas.

El diseño preciso de este enfoque experimental se orienta hacia la evaluación rigurosa y comparativa del rendimiento de los inyectores. Al introducir variaciones controladas, como la reducción del tiempo y el ajuste en la frecuencia de giro del motor, se busca no solo optimizar la efectividad de la experimentación sino también brindar una visión más profunda de las respuestas del sistema en condiciones variables y desafiantes.

En última instancia, la recopilación de datos detallada y la cuidadosa selección de parámetros proporcionan una base sólida para la interpretación y análisis subsiguientes. Este enfoque sistemático y preciso en la evaluación del sistema no solo contribuye al diagnóstico preciso de posibles problemas, sino que también sienta las bases para estrategias de mantenimiento preventivo y correctivo, contribuyendo así a la mejora continua del rendimiento del motor diésel y la prolongación de su vida útil.

Tabla 3.1 volumen de retorno de inyectores en la primera válvula ZME ralentí

N° DE PRUEBA RALENTÍ MINUTOS ZME MAL ESTADO	INYECTOR 1 cm3	INYECTOR 2 cm3	INYECTOR 3 cm3	INYECTOR 4 cm3
1	55	30	50	110
2	60	30	50	110
3	58	30	55	120
4	62	30	55	120
5	61	28	55	118
6	65	31	58	125
7	66	30	60	130
8	55	30	57	130
9	65	25	56	131
10	65	30	57	128
11	66	30	57	130
12	65	30	56	127
13	58	30	55	120
14	62	28	55	120
15	61	31	55	118
16	65	30	58	125
17	66	30	60	130
18	55	30	57	130
19	65	25	56	131
20	65	30	57	128

Como se observa en la tabla podemos visualizar los datos recolectados en el primer régimen de trabajo establecido en el estado de ralentí mediante las veinte distintas pruebas de manera unitaria por número de inyector en este caso cuatro, todas las unidades se encuentran

expuestas en centímetros cúbicos(cm^3), sus valores de retorno son extraídos para su debido análisis y su comparación.

Tabla 3.2 volumen de retorno de inyectores en la primera válvula ZME 2500 RPM

N° DE PRUEBA	INYECTOR 1	INYECTOR 2	INYECTOR 3	INYECTOR 4
2500RPM	cm3	cm3	cm3	cm3
MINUTOS				
ZME MAL ESTADO				
1	76	90	70	105
2	82	85	75	135
3	85	110	100	135
4	115	165	120	180
5	95	90	90	180
6	90	85	85	180
7	95	105	90	195
8	90	85	85	200
9	87	97	90	180
10	70	75	82	140
11	80	115	80	140
12	75	80	80	165
13	80	90	75	160
14	115	165	120	180
15	95	90	90	180
16	90	85	85	180
17	95	105	90	195
18	90	85	85	200
19	87	97	90	180
20	70	75	82	140

Se registra en la tabla los datos obtenidos en la prueba del segundo régimen de 2500 rpm con la válvula ZME en mal estado se toma los datos de cada uno de los inyectores, todas las

unidades que se registran están expuestas en centímetros cúbicos (cm³), sus valores de retorno son extraídos para su debido análisis y comparación.

3.4 Valores extraídos de segunda medición

La tabla expuesta a continuación detalla los resultados de una serie de experimentos realizados con la variación de parámetros predefinidos. Se enfocó específicamente en el comportamiento del motor, considerando su temperatura operativa, el proceso de arranque en ralentí, así como el estado funcional de la válvula ZME en una fase intermedia de su ciclo de vida.

Durante la ejecución de los experimentos, se establecieron condiciones meticulosamente controladas para garantizar la reproducibilidad y fiabilidad de los resultados. El motor fue sometido a diferentes niveles de temperatura de trabajo, con el objetivo de analizar su desempeño en diversas condiciones térmicas. Además, se evaluó el arranque en ralentí, un momento crítico en el ciclo de operación del motor, para entender cómo responde en situaciones iniciales.

Asimismo, se prestó especial atención al estado de funcionamiento de la válvula ZME, considerando su punto medio de vida útil. Este enfoque permitió obtener una perspectiva detallada sobre cómo la variación en los parámetros mencionados afecta las características operativas del sistema en cuestión.

Los datos recopilados y presentados en la tabla constituyen un valioso conjunto de información que puede servir como base para análisis más profundos y la toma de decisiones informadas en el ámbito de la ingeniería y el rendimiento de sistemas mecánicos.

Tabla 3.3 volumen de retorno de inyectores en la segunda válvula ZME ralentí

N°	DE	INYECTOR 1	INYECTOR 2	INYECTOR 3	INYECTOR 4
PRUEBA	2	cm3	cm3	cm3	cm3
RALENTI	4				
MINUTOS					
ZME MEDIA					
VIDA					
1		35	30	50	100

2	40	25	45	95
3	45	25	45	90
4	50	25	45	96
5	45	25	55	110
6	50	30	46	120
7	50	30	55	125
8	55	32	50	120
9	55	35	55	120
10	50	35	55	120
11	50	30	50	110
12	50	35	50	110
13	50	28	50	115
14	50	25	45	96
15	45	25	55	110
16	50	30	46	120
17	50	30	55	125
18	55	32	50	120
19	55	35	55	120
20	50	35	55	120

En la tabla registrada logramos obtener los resultados de la segunda válvula ZME con el primer régimen el cual es el estado en ralentí mediante las veinte pruebas discernimos uno por uno los datos obtenidos de cada uno de los inyectores en este caso son cuatro inyectores y sus unidades están establecidas en centímetros cúbicos (cm³), sus valores de retorno son extraídos para su debido análisis y comparación.

Tabla 3.4 volumen de retorno de inyectores en la segunda válvula ZME 2500 RPM

N°	DE	INYECTOR 1	INYECTOR 2	INYECTOR 3	INYECTOR 4
PRUEBA	2	cm3	cm3	cm3	cm3
2500RPM	2				
MINUTOS					

ZME MEDIA VIDA				
1	80	80	80	115
2	85	120	80	110
3	90	110	85	140
4	85	110	85	160
5	85	70	90	165
6	85	80	80	160
7	80	80	80	180
8	85	80	80	180
9	80	75	80	180
10	80	80	80	170
11	85	75	80	175
12	80	80	80	175
13	80	75	80	170
14	90	110	85	140
15	85	110	85	160
16	85	70	90	165
17	85	80	80	160
18	80	75	80	180
19	85	80	80	180
20	80	80	80	180

En la tabla logramos visualizar los resultados de la segunda válvula ZME con el segundo régimen el cual es de 2500 rpm mediante las veinte pruebas discernimos uno por uno los datos obtenidos de cada uno de los inyectores en este caso son cuatro inyectores y sus unidades están establecidas en centímetros cúbicos (cm³), sus valores de retorno son extraídos para su debido análisis y comparación.

3.5 Valores extraídos de la tercera medición

La tabla que sigue exhibe de forma sistemática la compilación de datos originados a través de experimentos minuciosamente diseñados, donde se manipularon varios parámetros

preestablecidos. Estos incluyen la temperatura operativa del motor, el proceso de arranque en ralentí, y el estado operativo de la válvula ZME, la cual fue evaluada en condiciones ideales con una válvula recién instalada.

La ejecución de los experimentos se llevó a cabo con precisión, asegurando la uniformidad necesaria para obtener datos confiables y reproducibles. El motor fue sometido a diversas condiciones de temperatura con el fin de analizar su rendimiento en distintos escenarios térmicos. Se otorgó especial atención al arranque en ralentí, un momento crítico en el ciclo operativo del motor, con el propósito de comprender y evaluar su comportamiento en condiciones iniciales.

Adicionalmente, se realizó un análisis detallado del estado operativo de la válvula ZME, considerando su posición en condiciones óptimas de funcionamiento con una válvula nueva. Este enfoque estratégico proporciona una visión integral de la influencia de los parámetros variables en las características operativas del sistema estudiado, específicamente cuando la válvula se encuentra en su estado más eficiente.

Los datos presentados en la tabla representan un conjunto sustancial de información que puede servir como base para análisis más detallados. Este enfoque analítico es esencial para la toma de decisiones informadas en ingeniería, destacando la importancia de entender la interrelación entre los parámetros clave y el rendimiento global del sistema, especialmente al considerar una válvula en condiciones óptimas con una válvula nueva.

Tabla 3.5 volumen de retorno de inyectores en la tercera válvula ZME ralentí

N° DE PRUEBA 3 RALENTI 4 MINUTOS ZME BUEN ESTADO	INYECTOR 1 cm3	INYECTOR 2 cm3	INYECTOR 3 cm3	INYECTOR 4 cm3
1	50	35	45	70
2	45	30	50	70
3	55	30	45	70
4	55	30	50	80
5	55	30	50	80
6	50	30	50	80
7	40	30	55	80

8	70	30	50	85
9	60	30	55	85
10	45	30	50	70
11	55	30	45	70
12	55	30	50	80
13	55	30	50	80
14	50	30	50	80
15	40	30	55	80
16	70	30	50	85
17	50	30	50	80
18	40	30	55	80
19	70	30	50	85
20	60	30	55	85

En la tabla registrada logramos obtener los resultados de la tercera válvula ZME con el primer régimen el cual es el estado en ralentí mediante las veinte pruebas discernimos uno por uno los datos obtenidos de cada uno de los inyectores en este caso son cuatro inyectores y sus unidades están establecidas en centímetros cúbicos (cm³), sus valores de retorno son extraídos para su debido análisis y comparación.

Tabla 3.6 volumen de retorno de inyectores en la tercera válvula ZME 2500 RPM

N°	DE	INYECTOR 1	INYECTOR 2	INYECTOR 3	INYECTOR 4
PRUEBA	3	cm3	cm3	cm3	cm3
2500RPM	2				
MINUTOS					
ZME	BUEN				
ESTADO					
1		70	60	70	135
2		80	75	75	125
3		85	90	85	125
4		90	85	90	140
5		85	75	80	180

6	85	75	80	180
7	80	65	75	170
8	85	75	80	170
9	85	65	75	185
10	90	75	80	190
11	90	80	85	205
12	90	75	80	190
13	85	70	80	190
14	85	70	80	200
15	85	90	85	125
16	90	85	90	140
17	85	75	80	180
18	85	75	80	180
19	80	65	75	170
20	85	75	80	170

En la tabla logramos obtener los resultados de la tercera válvula ZME con el segundo régimen el cual es en 2500 rpm mediante las veinte pruebas discernimos uno por uno los datos obtenidos de cada uno de los inyectores en este caso son cuatro inyectores y sus unidades están establecidas en centímetros cúbicos (cm³), sus valores de retorno son extraídos para su debido análisis y comparación.

3.6 Análisis de resultados obtenidos

El análisis volumétrico derivado de las mediciones efectuadas en las tres válvulas ZME, categorizadas respectivamente como mala, regular y buena, proporciona una representación gráfica que permite discernir el rendimiento de dichas válvulas. La comparativa revela una tendencia marcada de crecimiento y variabilidad pronunciada, dependiendo de la condición de cada válvula. Este fenómeno indica de manera inequívoca una influencia significativa en la eficiencia del sistema, manifestándose de forma discernible en función del estado operativo específico de cada válvula en consideración.

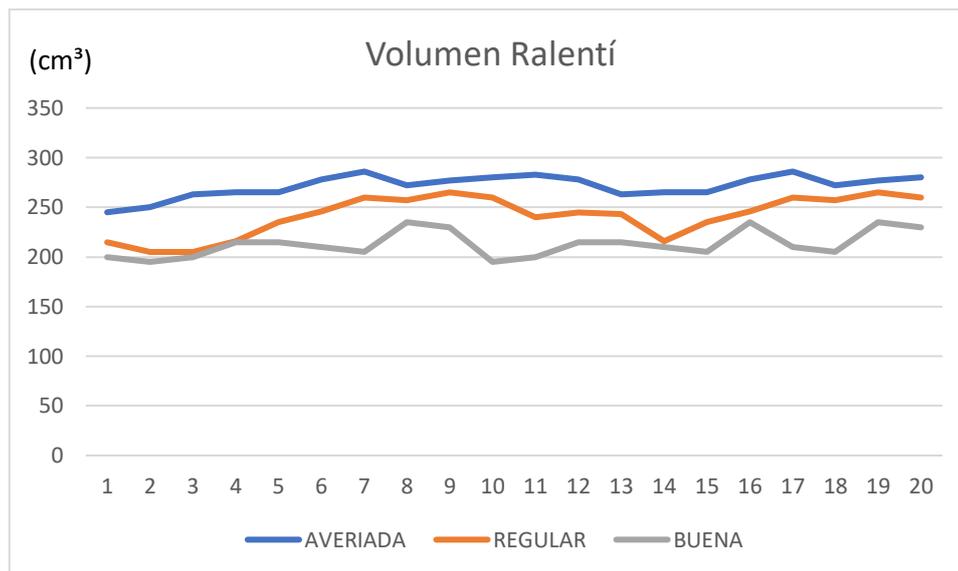


Figura 3.1 Comparación de volumen en ralentí

Observamos el resultado de la medición del retorno de nuestros inyectores en el régimen de ralentí el cual para discernir nuestros datos sumamos el resultado de cada uno de los inyectores según la prueba dándonos un dato total de cada una de las pruebas en sus distintas válvulas arrojándonos valores máximos y mínimos en este caso el valor mínimo en la válvula en mal estado se encuentra en los 245 (cm³) y su valor máximo se encuentra en los 286 (cm³) llegamos a una media con los veinte diferentes datos recolectados arrojándonos un valor de 271,4 (cm³), el cual lo utilizaremos para un análisis comparativo porcentual. De notamos de la misma manera la válvula en estado regular reflejando un retorno de inyectores mínimo de 205 (cm³) y un valor máximo de 265 (cm³) se realizó una media con los veinte diferentes resultados para posterior mente extender a su comparación el cual nos dio el resultado de 241,55 (cm³). Como último punto discernimos los resultados con el cambio de la válvula en óptimas condiciones el que nos arrojó un valor mínimo de 190 (cm³) y un valor máximo de 235 (cm³) se efectuó una media para posterior mente hacer una comparación porcentual con respecto con los datos estandarizados el cual nos dio un valor de 213 (cm³) con los datos ya expuestos logramos detallar ciertos porcentajes de crecimiento con respecto a los valores estándar que en este caso son los 200 (cm³).

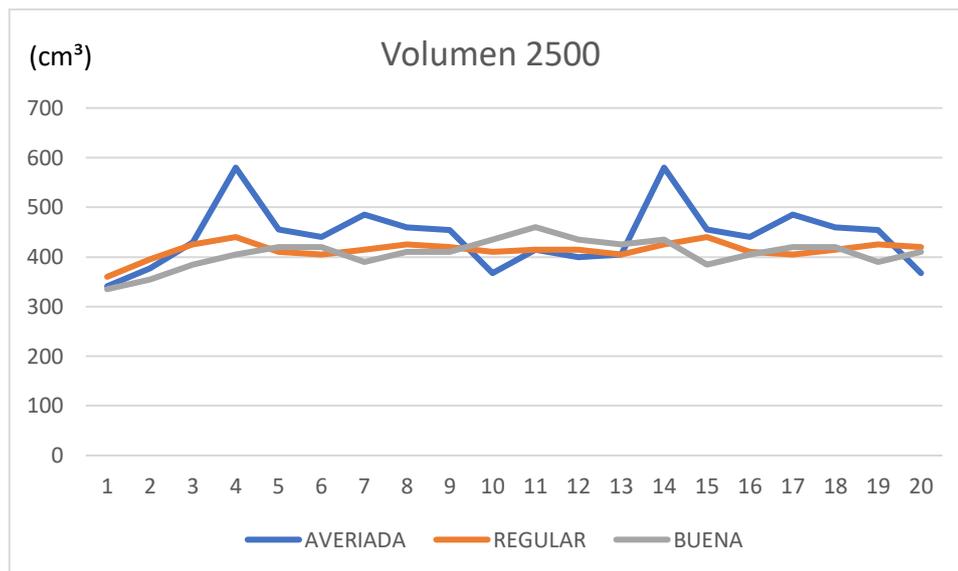


Figura 3.2 Comparación de volumen a las 2500RPM

Observamos el resultado de la medición del retorno de nuestros inyectores en el régimen de 2500 rpm el cual para discernir nuestros datos sumamos el resultado de cada uno de los inyectores según la prueba dándonos un dato total de cada una de las pruebas en sus distintas válvulas arrojándonos valores máximos y mínimos en este caso el valor mínimo en la válvula en mal estado se encuentra en los 341 (cm³) y su valor máximo se encuentra en los 580 (cm³) llegamos a una media con los veinte diferentes datos recolectados arrojándonos un valor de 442,5 (cm³), el cual lo utilizaremos para un análisis comparativo porcentual. De notamos de la misma manera la válvula en estado regular reflejando un retorno de inyectores mínimo de 360 (cm³) y un valor máximo de 440 (cm³) se realizó una media con los veinte diferentes resultados para posterior mente extender a su comparación el cual nos dio el resultado de 414 (cm³). Como último punto discernimos los resultados con el cambio de la válvula en óptimas condiciones el que nos arrojó un valor mínimo de 335 (cm³) y un valor máximo de 460 (cm³) se efectuó una media para posterior mente hacer una comparación porcentual con respecto con los datos estandarizados el cual nos dio un valor de 407,5 (cm³) con los datos ya expuestos logramos detallar ciertos porcentajes de crecimiento con respecto a los valores de la válvula en óptimas condiciones ya que en este caso por el régimen de 2500 rpm no se logró obtener un valor estandarizado para esta prueba realizada en el dicho régimen.

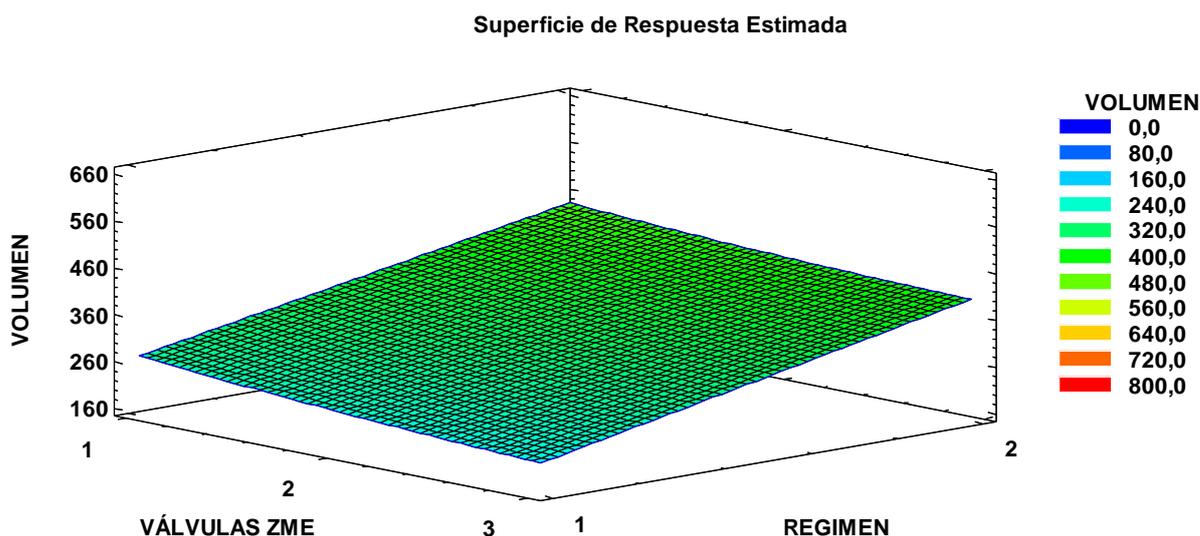


Figura 3.3 Comparación de volumen general

Tabla 3.7 Explicación de datos de grafica comparativa de volumen

Nombre de datos	Unidades expresadas
Volumen	Expresado en centímetros cúbicos
Válvulas ZME	Numero de válvula estudiada
Régimen	Dos tiempos de trabajo estipulados en RPM

Con los datos estandarizados establecidos, hemos obtenido una comparativa detallada del régimen de ralentí, revelando el estado de las diversas válvulas ZME. Se observa un incremento desmesurado en el volumen de retorno en la válvula averiada, indicando un deterioro significativo. Esta anomalía contrasta con la oscilación mantenida dentro de los parámetros estándar de la válvula en buen estado, resaltando la importancia de este comportamiento estable los siguientes datos los cuales nos demuestra que la media del volumen de los inyectores recolectados con las distintas válvulas son los siguientes, válvula en mal estado tiene un promedio de 271,4 (cm³), la válvula en estado regular nos arroja un promedio de retorno en los inyectores de 241,55 (cm³) y la válvula en óptimas condiciones nos da el promedio de volumen de retorno de inyector de 213 (cm³).

De esta manera nos arrojan los resultados de comparación con los datos estandarizados de un aumento notable en el volumen del primer régimen exceptuando la válvula en óptimas

condiciones con la comparativa por el estado del componente de notando un aumento del 35% en la válvula en mal estado y un 20% en la válvula de estado regular.

En el régimen de 2500 rpm recolectamos los siguientes datos del retorno de inyectores los cuales llegamos a una media para su respectiva comparación obteniendo los siguientes datos, la válvula en mal estado nos arrojó un promedio de 442,5 (cm³), la válvula en estado regular nos dio un promedio de 414 (cm³) y la válvula en óptimas condiciones nos dio un promedio de retorno de inyectores de 407,5 (cm³).

De esta manera podemos reflejar los datos para una comparación porcentual la cual nos basamos con los datos de la válvula en óptimas condiciones para poder tener un punto de referencia y mirar el aumento en el retorno de inyectores dando como resultado un aumento del 20% con la válvula en mal estado y un 7% en la válvula de estado regular.

En el gráfico de análisis, se presenta la variación del volumen en relación con el régimen y el estado de la válvula en un sistema mecánico, con enfoque técnico. Se han identificado dos regímenes específicos: ralentí (número uno) y 2500 rpm (número dos), junto con tres condiciones de válvula: defectuosa (número uno), regular (número dos) y óptima (número tres). El análisis detallado destaca alteraciones notables en el volumen, particularmente un pico destacado en la sección correspondiente a la válvula defectuosa.

El estudio detallado revela discrepancias significativas en el comportamiento volumétrico, evidenciando la influencia de los estados de la válvula en el rendimiento del sistema. Tanto en régimen de ralentí (número uno) como en 2500 rpm (número dos), se observan cambios notorios asociados a las condiciones de la válvula. El pico pronunciado en la válvula defectuosa señala claramente una disfunción mecánica que afecta el flujo volumétrico, generando un patrón identificable en la representación gráfica.

Este fenómeno puede atribuirse a una interrupción específica en la válvula defectuosa, impactando negativamente en el flujo de volumen y manifestándose como un pico anómalo en el análisis gráfico. La identificación temprana de tales irregularidades es esencial para implementar acciones correctivas y garantizar el óptimo rendimiento del sistema. Subrayamos la importancia de un monitoreo continuo y la interpretación precisa de los datos para abordar eficientemente problemas mecánicos en esta evaluación técnica.

3.7 Cálculo de caudal

El cálculo del caudal se simplifica al contar con información precisa sobre la cantidad total de fluido que ha atravesado un punto específico durante un intervalo de tiempo definido. El caudal, que indica la cantidad de flujo por unidad de tiempo, es un parámetro fundamental en la descripción de sistemas hidrodinámicos.

Desde un enfoque técnico, este cálculo se realiza mediante la evaluación precisa del volumen total de fluido que ha pasado por un punto en un periodo de tiempo determinado. Al tener conocimiento preciso de estas variables, se obtiene el caudal sin necesidad de recurrir a fórmulas complejas.

Este enfoque técnico facilita una evaluación cuantitativa rigurosa del rendimiento del sistema, proporcionando información valiosa para el diseño, monitoreo y optimización de procesos que implican flujos de fluidos en diversas aplicaciones industriales y científicas.

Q= Caudal

V=volumen

T=tiempo

$$Q = \frac{V}{T}$$

La determinación del caudal se simplifica al tener datos bien definidos, donde el volumen se expresa en centímetros cúbicos (cm³) y el tiempo en minutos.

Esta estandarización permite realizar cálculos de manera rápida, extrayendo los datos de caudal de la tabla presentada. El proceso implica la relación directa entre la cantidad de fluido medida en centímetros cúbicos y el tiempo transcurrido en minutos. Al utilizar estas unidades específicas, se logra una interpretación ágil y precisa de los resultados, facilitando la evaluación de los patrones de flujo en sistemas hidrodinámicos.

Tabla 3.8 Caudal calculado en ralenti

RALENTI		
AVERIADA	REGULAR	BUENA
61,25	53,75	50,00
62,50	51,25	48,75

65,75	51,25	50,00
66,25	54,00	53,75
66,25	58,75	53,75
69,50	61,50	52,50
71,50	65,00	51,25
68,00	64,25	58,75
69,25	66,25	57,50
70,00	65,00	48,75
70,75	60,00	50,00
69,50	61,25	53,75
65,75	60,75	53,75
66,25	54,00	52,50
66,25	58,75	51,25
69,50	61,50	58,75
71,50	65,00	52,50
68,00	64,25	51,25
69,25	66,25	58,75
70,00	65,00	57,50

En la tabla registrada logramos obtener los resultados generales del caudal obtenidos del retorno de los inyectores con el primer régimen el cual es el estado en ralentí mediante las veinte pruebas discernimos uno por uno los datos obtenidos de cada uno de los inyectores en este caso son cuatro inyectores y sus unidades están establecidas en centímetros cúbicos (cm^3/min), sus valores de retorno son extraídos para su debido análisis y comparación.

Tabla 3.9 caudal calculado en 2500 RPM

2500 RPM		
AVERIADA	REGULAR	BUENA
170,50	180,00	167,50
188,50	197,50	177,50
215,00	212,50	192,50
290,00	220,00	202,50
227,50	205,00	210,00
220,00	202,50	210,00
242,50	207,50	195,00
230,00	212,50	205,00
227,00	210,00	205,00
183,50	205,00	217,50
207,50	207,50	230,00
200,00	207,50	217,50
202,50	202,50	212,50
290,00	212,50	217,50
227,50	220,00	192,50
220,00	205,00	202,50
242,50	202,50	210,00
230,00	207,50	210,00
227,00	212,50	195,00
183,50	210,00	205,00

En la tabla registrada logramos obtener los resultados generales del caudal obtenidos del retorno de los inyectores con el segundo régimen el cual es de 2500 rpm mediante las veinte pruebas discernimos uno por uno los datos obtenidos de cada uno de los inyectores en este caso son cuatro inyectores y sus unidades están establecidas en centímetros cúbicos (cm^3/min), sus valores de retorno son extraídos para su debido análisis y comparación.

3.8 Análisis de resultados del caudal

Al realizar un análisis pormenorizado del caudal, expresado en centímetros cúbicos por minuto, se logra captar con mayor detalle la transformación sustancial que experimentan las pruebas al efectuar modificaciones en la válvula ZME bajo tres condiciones específicas. Este cambio significativo se manifiesta de manera más notoria en las representaciones gráficas, revelando una variación apreciable en el caudal entre los diferentes ajustes de cada válvula.

La cuantificación del caudal no solo proporciona un enfoque más refinado para evaluar el rendimiento, sino que también arroja luz sobre las diferencias observadas en el desempeño de las válvulas en diversas situaciones. Este análisis detallado, respaldado por la sólida base técnica del cálculo del caudal, contribuye a una comprensión más profunda de los resultados obtenidos en las pruebas, destacando la relevancia de la modificación de la válvula ZME en el sistema y sus efectos discernibles en el flujo volumétrico.

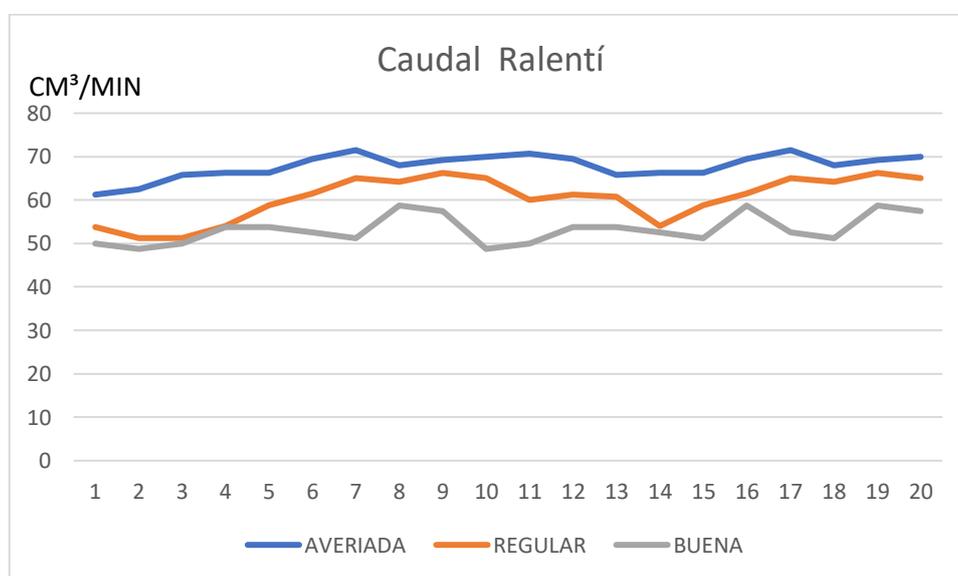


Figura 3.4 Comparación de caudal en ralentí

Observamos el resultado de la medición del caudal mediante el retorno de nuestros inyectores en el régimen de ralentí el cual para discernir nuestros datos sumamos el resultado de cada uno de los inyectores según la prueba dándonos un dato total de cada una de las pruebas en sus distintas válvulas arrojándonos valores máximos y mínimos en este caso el valor mínimo en la válvula en mal estado se encuentra en los 61,25 (cm³/min) y su valor máximo se encuentra en los 71,5 (cm³/min) llegamos a una media con los veinte diferentes datos recolectados arrojándonos un valor de 67,85 (cm³/min), el cual lo utilizaremos para un análisis comparativo porcentual. De notamos de la misma manera la válvula en estado regular reflejando un retorno de inyectores mínimo de 51,25 (cm³/min) y un valor máximo de 66,25 (cm³/min) se realizó una media con los veinte diferentes resultados para posteriormente extender a su comparación el cual nos dio el resultado de 60,38 (cm³/min). Como último punto discernimos los resultados con el cambio de la válvula en óptimas condiciones el que nos arrojó un valor mínimo de 48,75 (cm³/min) y un valor máximo de 58,75 (cm³/min) se efectuó una media para posteriormente hacer una comparación porcentual con respecto con los datos estandarizados el cual nos dio un valor de 53,25 (cm³/min) con los datos ya expuestos logramos detallar ciertos porcentajes de crecimiento con respecto a los valores estándar que en este caso son los 50 (cm³/min).

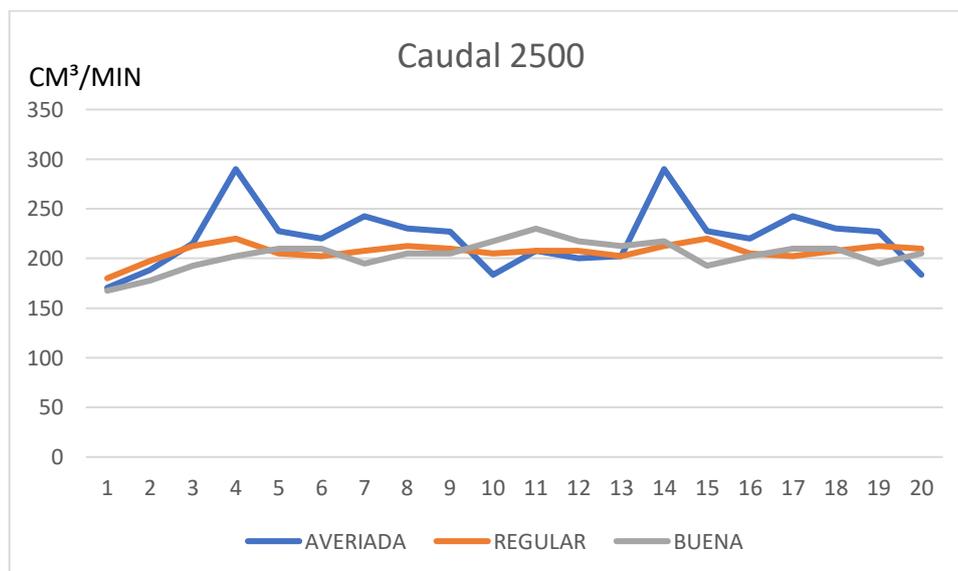


Figura 3.5 Comparación de caudal en 2500 RPM

Observamos el resultado de la medición del caudal mediante el retorno de nuestros inyectores en el régimen de 2500 rpm el cual para discernir nuestros datos sumamos el

resultado de cada uno de los inyectores según la prueba dándonos un dato total de cada una de las pruebas en sus distintas válvulas arrojándonos valores máximos y mínimos en este caso el valor mínimo en la válvula en mal estado se encuentra en los 170 (cm³/min) y su valor máximo se encuentra en los 290 (cm³/min) llegamos a una media con los veinte diferentes datos recolectados arrojándonos un valor de 221,5 (cm³/min), el cual lo utilizaremos para un análisis comparativo porcentual. De notamos de la misma manera la válvula en estado regular reflejando un retorno de inyectores mínimo de 180 (cm³/min) y un valor máximo de 220 (cm³/min) se realizó una media con los veinte diferentes resultados para posterior mente extender a su comparación el cual nos dio el resultado de 207 (cm³/min). Como último punto discernimos los resultados con el cambio de la válvula en óptimas condiciones el que nos arrojó un valor mínimo de 167,5 (cm³/min) y un valor máximo de 230 (cm³/min) se efectuó una media para posterior mente hacer una comparación porcentual con respecto con los datos estandarizados el cual nos dio un valor de 203,75 (cm³/min) con los datos ya expuestos logramos detallar ciertos porcentajes de crecimiento que relacionamos con los resultados de la válvula en óptimas condiciones.

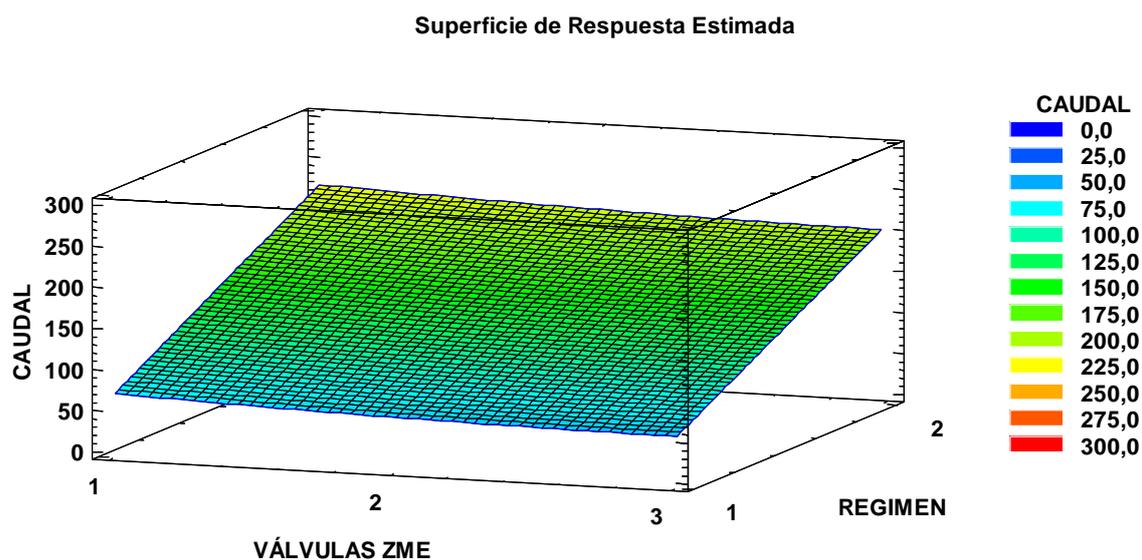


Figura 3.6 Comparación de caudal general

Tabla 3.10 Explicación de grafica comparativa de caudal

Nombre de datos	Unidades expresadas
-----------------	---------------------

Caudal	Expresado en centímetros cúbicos sobre minuto
Válvulas ZME	Numero de válvula estudiada
Régimen	Dos tiempos de trabajo estipulados en RPM

Con los datos estandarizados establecidos, hemos obtenido una comparativa detallada del régimen de ralentí, revelando el estado de las diversas válvulas ZME. Se observa un incremento desmesurado en el caudal de retorno en la válvula averiada, indicando un deterioro significativo. Esta anomalía contrasta con la oscilación mantenida dentro de los parámetros estándar de la válvula en buen estado, resaltando la importancia de este comportamiento estable los siguientes datos los cuales nos demuestra que la media del volumen de los inyectores recolectados con las distintas válvulas son los siguientes, válvula en mal estado tiene un promedio de 67,85 (cm³/min), la válvula en estado regular nos arroja un promedio de retorno en los inyectores de 60,38 (cm³/min) y la válvula en óptimas condiciones nos da el promedio de volumen de retorno de inyectores de 53,25 (cm³).

De esta manera nos arrojan los resultados de comparación con los datos estandarizados de un aumento notable en el volumen del primer régimen exceptuando la válvula en óptimas condiciones con la comparativa por el estado del componente de notando un aumento del 25% en la válvula en mal estado y un 20% en la válvula de estado regular.

En el régimen de 2500 rpm recolectamos los siguientes datos del retorno de inyectores los cuales llegamos a una media para su respectiva comparación obteniendo los siguientes datos, la válvula en mal estado nos arrojó un promedio de 221,5 (cm³/min), la válvula en estado regular nos dio un promedio de 207 (cm³/min) y la válvula en óptimas condiciones nos dio un promedio de retorno de inyectores de 203,75 (cm³/min).

De esta manera podemos reflejar los datos para una comparación porcentual la cual nos basamos con los datos de la válvula en óptimas condiciones para poder tener un punto de referencia y mirar el aumento en el retorno de inyectores dando como resultado un aumento del 10% con la válvula en mal estado y un 4% en la válvula de estado regular.

Estos resultados adquieren una relevancia significativa al proporcionar información crucial para la identificación de posibles daños y la formulación de un diagnóstico preventivo. La discrepancia observada en los comportamientos de caudal entre las válvulas subraya la

importancia de abordar proactivamente el mantenimiento y posible sustitución de válvulas en mal estado, minimizando así posibles consecuencias adversas en el rendimiento del sistema. Este enfoque analítico robusto se traduce en una mayor confiabilidad operativa y eficiencia del equipo en el contexto de aplicaciones industriales o de ingeniería donde la precisión en el control del caudal es esencial.

3.9 Extracción de datos con escáner automatizado

La fase de recopilación de datos se focalizó en la obtención de información crítica respecto a tres parámetros fundamentales en el contexto del sistema de inyección de combustible de estudio. Estos parámetros son la presión de inyección del combustible, la cantidad de inyección del combustible y el porcentaje de apertura de la válvula de control del caudal de combustible.

Durante este proceso, se llevó a cabo la recolección de datos en un total de 30 instancias distintas. Cada una de estas instancias comprendió la variación de tres tipos de válvulas y se ejecutó en dos condiciones de régimen de operación específicas: ralentí y 2500 RPM.

Posteriormente, se procedió a la construcción de una gráfica comparativa, la cual sirvió como herramienta visual para destacar y analizar las variaciones observadas en cada uno de los puntos críticos mencionados anteriormente.

Tabla 3.11 Extracción de datos del escáner automatizado en ralentí

Ralentí								
Presión de combustible			Cantidad de inyección de combustible			válvula de mando de caudal de combustible		
válvula mala	válvula regular	válvula buena	válvula mala	válvula regular	válvula buena	válvula mala	válvula regular	válvula buena
320	323	322	0	4	5	22	22	21
323	323	322	0	0	5	22	22	21
323	324	322	0	4	5	22	22	21
323	323	322	4	4	5	22	22	21
323	323	322	3	4	5	22	22	21

La tabla nos muestra los resultados extraídos del escáner automotriz en tres diferentes pruebas las cuales son de presión cantidad y caudal de combustible de inyección de combustible todo expuesto en el primer régimen establecido en ralentí.

Tabla 3.12 Extracción de datos del escáner automotriz en 2500 RPM

2500rpm								
Presión de combustible			Cantidad de inyección de combustible			válvula de mando de caudal de combustible		
válvula mala	válvula regular	válvula buena	válvula mala	válvula regular	válvula buena	válvula mala	válvula regular	válvula buena
598	588	666	6	6	8	33	32	33
598	588	666	6	6	8	31	32	33
588	607	666	5	6	8	31	32	33
588	598	666	5	6	8	31	32	33
598	607	666	6	4	8	32	32	33

La tabla nos muestra los resultados extraídos del escáner automotriz en tres diferentes pruebas las cuales son de presión cantidad y caudal de combustible de inyección de combustible todo expuesto en el segundo régimen establecido en 2500 rpm.

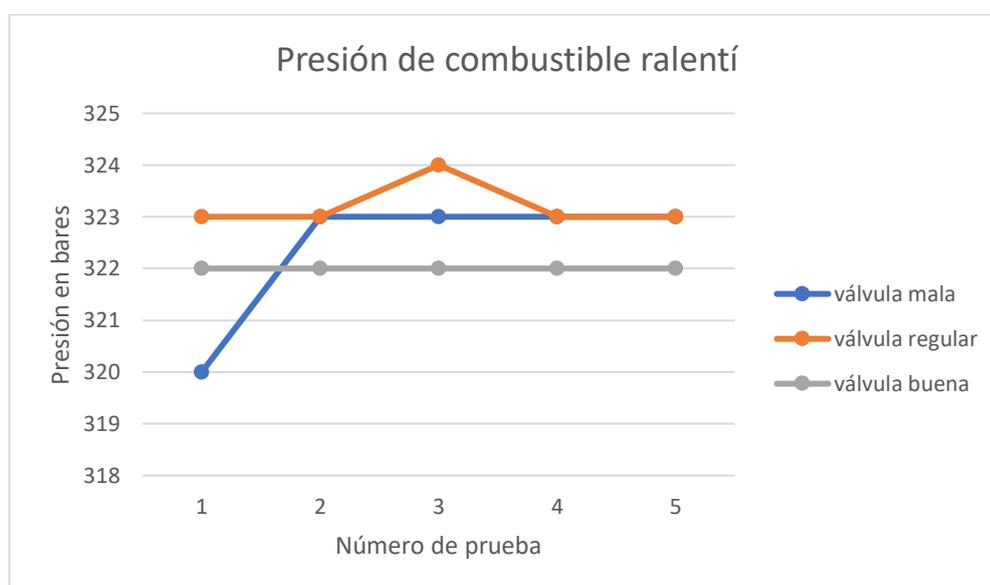


Figura 3.7 Comparación de presión de combustible en ralentí

Los resultados arrojados nos muestran que la presión en ralentí con la válvula en óptimas condiciones no tiene ninguna variación manteniéndose en 322 bares mientras con la válvula en mal estado tiene un mínimo de 320 bares y un máximo de 323 bares mientras la válvula regular tiene un mínimo de 323 bares y un máximo de 324 bares.

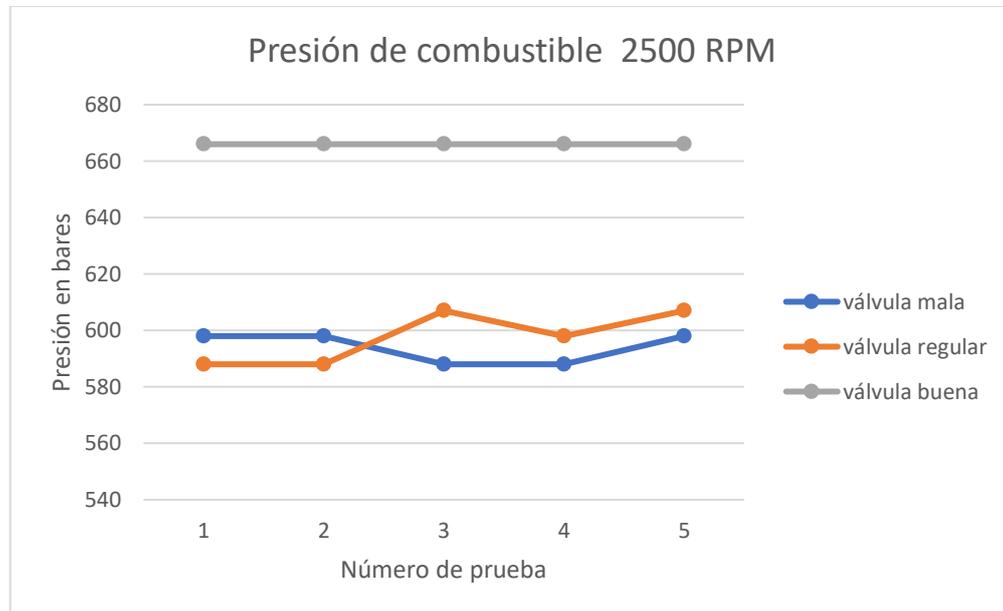


Figura 3.8 Comparación de presión de combustible en 2500RPM

Los resultados arrojados nos muestran que la presión en 2500 rpm con la válvula en óptimas condiciones no tiene ninguna variación manteniéndose en 666 bares mientras con la válvula en mal estado tiene un mínimo de 588 bares y un máximo de 598 bares mientras la válvula regular tiene un mínimo de 588 bares y un máximo de 607 bares.

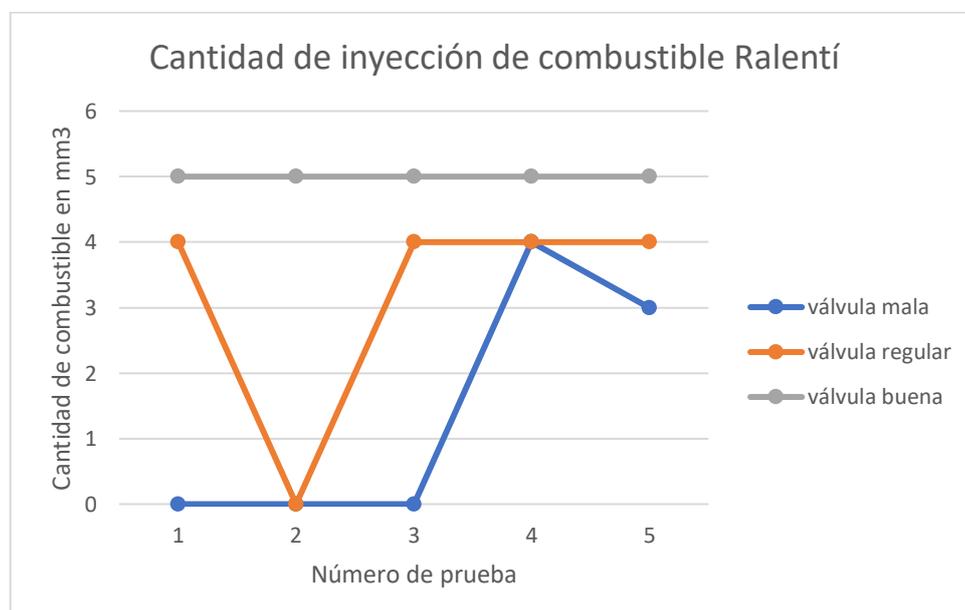


Figura 3.9 Comparación de cantidad de inyección en ralentí

Los resultados arrojados nos muestran que la cantidad de inyección en ralentí con la válvula en óptimas condiciones no tiene ninguna variación manteniéndose en 5 mm^3 mientras con la válvula en mal estado tiene un mínimo de 0 mm^3 y un máximo de 4 mm^3 mientras la válvula regular tiene un mínimo de 0 mm^3 y un máximo de 4 mm^3 .

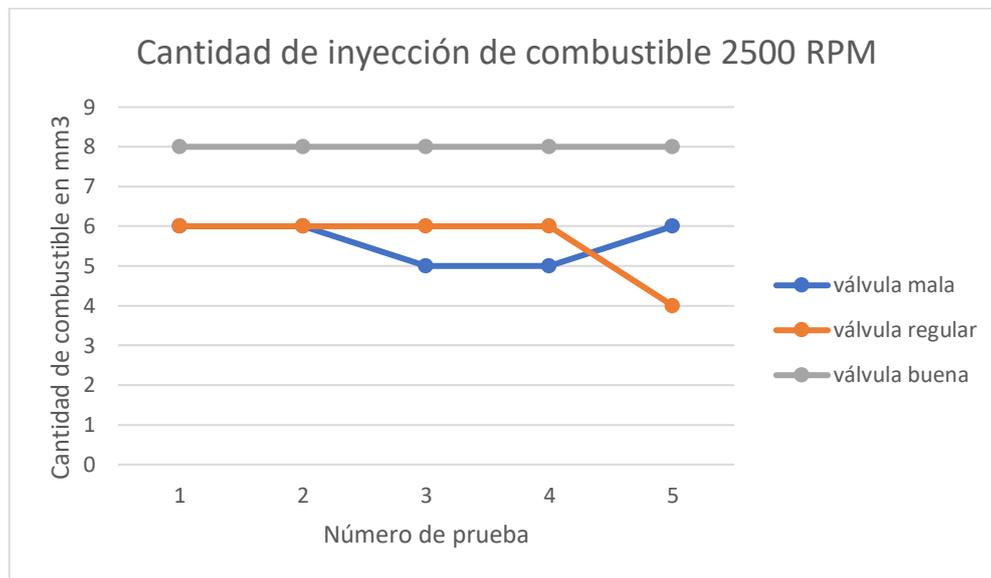


Figura 3.10 Comparación de cantidad de inyección en 2500RPM

Los resultados arrojados nos muestran que la cantidad de inyección en 2500 rpm con la válvula en óptimas condiciones no tiene ninguna variación manteniéndose en 8 mm^3 mientras con la válvula en mal estado tiene un mínimo de 5 mm^3 y un máximo de 6 mm^3 mientras la válvula regular tiene un mínimo de 4 mm^3 y un máximo de 6 mm^3 .

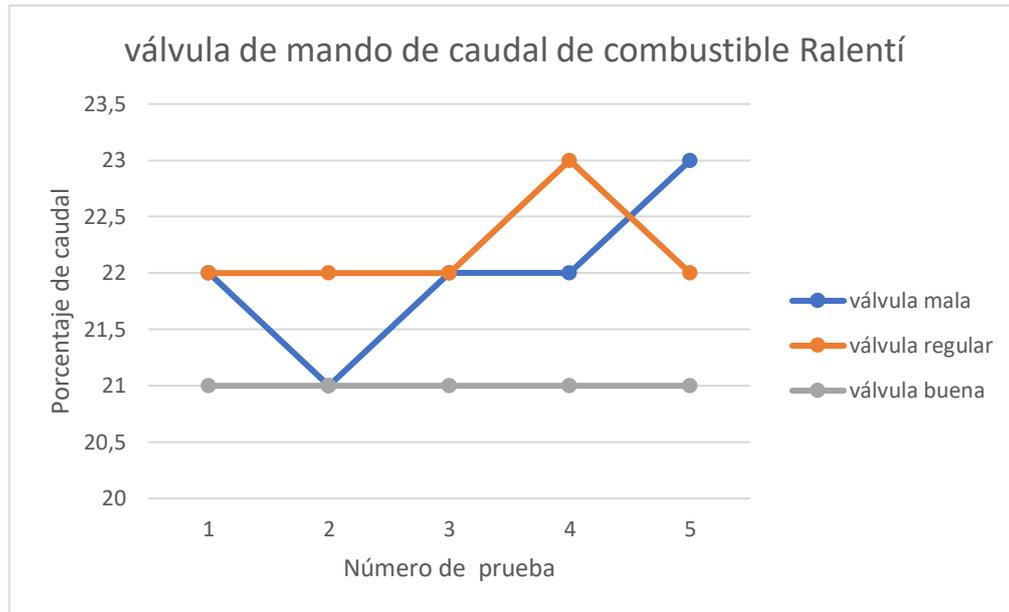


Figura 3.11 Comparación de válvula de mando de caudal en ralentí

Los resultados arrojados nos muestran que el caudal de inyección en ralentí con la válvula en óptimas condiciones no tiene ninguna variación manteniéndose en 21% mientras con la válvula en mal estado tiene un mínimo de 22% y un máximo de 23% mientras la válvula regular tiene un mínimo de 21% y un máximo de 23%.

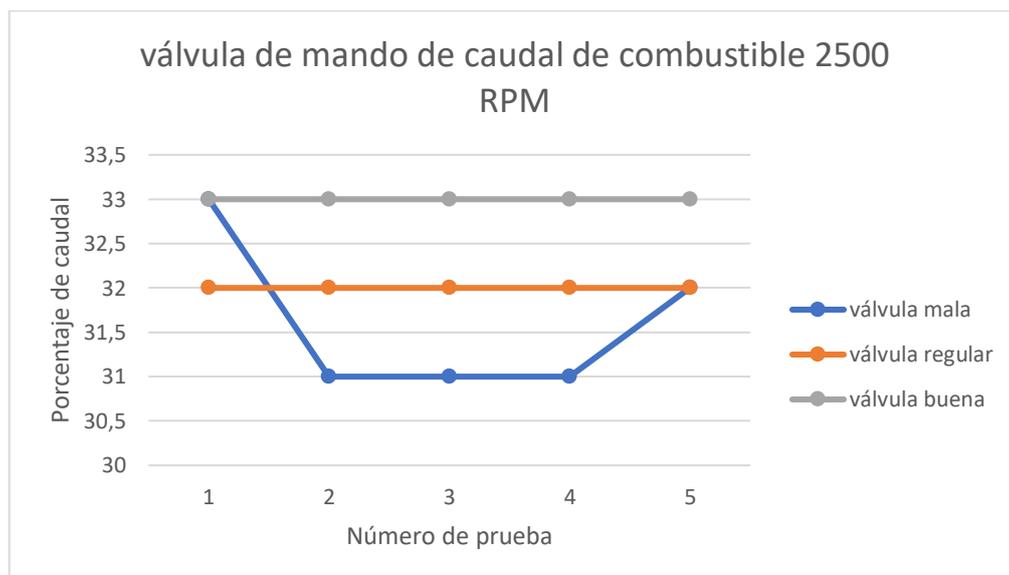


Figura 3.12 Comparación de válvula de mando de caudal en 2500 RPM

Los resultados arrojados nos muestran que el caudal de inyección en 2500rpm con la válvula en óptimas condiciones no tiene ninguna variación manteniéndose en 33% mientras con la válvula en mal estado tiene un mínimo de 31% y un máximo de 33% mientras la válvula regular no tiene ningún tipo de cambio manteniéndose en el 32%.

3.10 Análisis de graficación de datos de escáner automotriz

En el análisis detallado, se destacan notables observaciones en los datos, específicamente en relación con la variabilidad observada en cada prueba. Se observa una constante en la válvula en buen estado, evidenciando una ausencia de variaciones significativas en comparación con las demás válvulas. En contraste, las demás válvulas exhiben cambios sustanciales de una prueba a otra, indicando una marcada alteración en el estado de dichas válvulas.

Es importante resaltar que la válvula en buen estado se mantiene consistente en todas las pruebas, sugiriendo una estabilidad inherente y la ausencia de fluctuaciones notables. Esta observación puede interpretarse como un patrón revelador que podría servir como base para un diagnóstico preventivo. La falta de variaciones significativas en la válvula en buen estado se presenta como un indicador potencialmente valioso para anticipar posibles fallos futuros en el sistema.

En consecuencia, esta prueba se posiciona como una herramienta sumamente útil para la identificación temprana de irregularidades y la formulación de estrategias de mantenimiento preventivo.

CAPÍTULO IV

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

- La revisión bibliográfica sobre los sistemas de retorno diésel de riel común (CRD-i) destaca la importancia crítica de la gestión técnica precisa en motores pequeños que implementan esta avanzada tecnología de inyección de combustible. En particular, el caudal de retorno, situado típicamente entre 50 y 200 centímetros cúbicos por minuto (cm^3/min), emerge como un factor esencial para garantizar una recirculación eficiente del combustible y prevenir posibles complicaciones, como la formación de burbujas de aire.
- Se identifico parámetros clave para un diagnóstico efectivo del sistema de riel común, basados en el flujo del sistema de retorno. La presión de inyección, la duración y frecuencia de la inyección, la temperatura del combustible, la regulación de la presión del riel y la eficiencia volumétrica se presentan como indicadores fundamentales, cuyas mediciones y ajustes deben ser gestionados de manera precisa. Los datos ya establecidos se radican en 50 (cm^3/min) en el caso del caudal y 50 (cm^3) en el caso del volumen.
- La evaluación del sistema de retorno en diversos escenarios ha proporcionado una visión detallada de las variaciones en el flujo, centrando la atención particular en el retorno de los inyectores con una influencia sustancial de la modificación de la válvula ZME. Los resultados obtenidos revelan que en el caudal en el régimen en ralentí se tiene un aumento del 25% en la válvula en mal estado y un 20% en la válvula de estado regular a comparación de la media preestablecida como dato estandarizado de 50 (cm^3/min), Mientras en el segundo régimen de notamos que el aumento en el retorno de inyectores dando como resultado un aumento del 10% con la válvula en mal estado y un 4% en la válvula de estado regular comparando con los datos obtenidos en el retorno de inyectores de 203,75 (cm^3/min). Estos hallazgos no solo proporcionan una comprensión más profunda de la dinámica del sistema de retorno, sino que también sugieren posibles estrategias de ajuste que podrían

potenciar el rendimiento en entornos específicos. Esta investigación técnica sienta las bases para futuras mejoras.

- Con relación al volumen del retorno de inyectores que en régimen en estado de ralentí se observó un aumento del 35% en la válvula en mal estado y un 20% en la válvula de estado regular comparándolo con los datos estandarizados establecidos en 200(cm³). Con el cambio al segundo régimen en este caso de 2500 rpm observamos un aumento del 20% con la válvula en mal estado y un 7% en la válvula de estado regular esto realizando una comparación con el retorno de inyectores en óptimas condiciones el cual tiene un valor de 407,5 (cm³). La amplitud significativa observada en estos resultados sugiere un método altamente eficaz para establecer un diagnóstico preventivo, especialmente valioso en el contexto de la fluctuación de valores de volumen y caudal. El análisis detallado revela que la variabilidad extrema en estos parámetros puede atribuirse de manera directa a desajustes en el dosado del combustible, resaltando la utilidad inherente de este enfoque experimental para detectar anomalías.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda mantener una actualización bibliográfica constante para enriquecer los conocimientos y permanecer al tanto de las últimas investigaciones y descubrimientos. Esta práctica no solo amplía la comprensión, sino que también fortalece la base de conocimientos. Esta recomendación se presenta con especial énfasis en el contexto del sistema de retorno CRD-i, donde la constante actualización adquiere una importancia crucial para aprovechar las innovaciones y mejoras en este campo específico.
- Se sugiere verificar cuidadosamente y mantener en condiciones óptimas todo el material de estudio empleado, con el objetivo de garantizar la máxima exactitud en los resultados.
- Es aconsejable realizar revisiones periódicas para asegurar la integridad de los recursos utilizados en investigaciones o estudios. La confiabilidad de los datos obtenidos está intrínsecamente ligada al estado del material, por lo que se sugiere una gestión cuidadosa, incluyendo el mantenimiento adecuado y la sustitución oportuna de cualquier elemento que pueda afectar la calidad de los resultados.
- La recomendación sugerida sería la integración de este método en la práctica de diagnóstico preventivo para mejorar la eficacia y la precisión en la detección de desajustes en el dosado de combustible. La experimentación exhaustiva demuestra ser valiosa al identificar la válvula ZME como la causa de disparidades, respaldando así su papel como herramienta de diagnóstico avanzado.

5. Referencias bibliográficas

1. Aalam, C. S. (2016). *Impact of high fuel injection pressure on the characteristics of CRDI diesel engine powered by mahua methyl ester blend*. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com>:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359431116308559>
2. Alarcón Solís, C. P. (2007, Noviembre). *Universidad Politecnica Salesiana*. Retrieved from Guía para el diagnóstico del sistema de inyección CRDi Bosch:
<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1126>
3. Almarza, D. (2018). *DESCRIPCIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA COMMON RAIL MONTADO EN EL MOTOR HYUNDAI D4EA*. Retrieved from <https://repositorio.usm.cl>:
<https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/42436/3560901544198UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
4. Almarza, D. (2018). *DESCRIPCIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA COMMON RAIL MONTADO EN EL MOTOR HYUNDAI D4EA*. Retrieved from <https://repositorio.usm.cl>:
<https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/42436/3560901544198UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
5. Automoviles, B. d. (2011, Junio 06). *Blogdeautomoviles*. Retrieved from Common Rail: Válvula reguladora de la presión: <https://blogdeautomoviles.com/common-rail-valvula-reguladora-de-la-presion/>
6. Avance, A. (2013, Mayo 29). *Auto avance blog tecnico automotriz*. Retrieved from Valvula Reguladora de Presion Sistemas Diesel Common Rail: <https://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/147-valvula-reguladora-de-presion-sistemas-diesel-common-rail/>

7. Avance, A. (2019, Octubre 02). *Auto avance blog tecnico automotriz*. Retrieved from El Inyector Common Rail: <https://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/100-el-inyector-common-rail/>
8. Avance, A. (2019, Septiembre 28). *Auto Avance blog tecnico automotriz*. Retrieved from Fallas en Inyectores Diesel: <https://www.autoavance.co/blog-tecnico-automotriz/fallas-inyectores-diesel/>
9. Bianchini, J., & Santana, F. (2015). *Mayor Eficiencia Energética con Menos Combustible Ciclo Rankine x Ciclo Rankine Regenerativo*. Retrieved from <https://www.atamexico.com.mx: https://www.atamexico.com.mx/wp-content/uploads/2017/11/10-F%C3%81BRICA-2015.pdf>
10. Bosch, R. (2010). *BOSCH*. Retrieved from Sistema de inyección diesel: <file:///C:/Users/59398/Downloads/sistemasdeinyecciondieselbosch-120610113707-phpapp01.pdf>
11. Bredtmann, N. (2015). *Fundamento Teórico y Aplicación de la Bomba del Sistema Diésel*. Retrieved from https://repositorio.uisek.edu.ec: https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/1570/1/Tesis_Nicolas_Pancho.pdf
12. Carrera Bastidas Jordy Fabian, F. V. (2023). *Repositorio UIDE*. Retrieved from Estudio del desgaste en los elementos internos de los inyectores CRDI: <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/5965>
13. Chica, J., & Rivera, N. (2015, Diciembre 14). *Estudio del comportamiento de un motor ciclo Otto de inyección electrónica respecto de la estequiometría de la mezcla y del adelanto al encendido para la ciudad de Cuenca*. Retrieved from <https://bibdigital.epn.edu.ec: https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/12459>
14. Coslada, E. (2016, Julio 20). *Diesel y accesorios Electroinyeccion Coslada*. Retrieved from El sistema de inyección Common Rail: <https://www.tallerdemecanica.com/blog/66-el-sistema-de-inyeccion-common-rail->
15. Erazo, D., & Viteri, A. (2017, Agosto). *Análisis Termodinámico de los Parámetros indicados de un motor de ciclo OTTO aspiración natural con sistema de inyección electrónica en función de la altitud sobre el nivel del mar*. Retrieved from

- <https://bibdigital.epn.edu.ec>:
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19868/1/CD-9281.pdf>
16. Fernandez, J. (2009, Mayo). *CICLO BRAYTON TURBINAS A GAS* . Retrieved from <http://www.edutecne.utn.edu.ar/>:
http://www.edutecne.utn.edu.ar/maquinas_termicas/03-turbina_a_gas.pdf
 17. Finders, R. (2020, Febrero 15). *Motor CRDI*. Retrieved from <https://rentingfinders.com/glosario/motor-crdi/>
 18. Frías, J., & Guamialamá, K. (2015). *GUÍA DE REPARACIÓN DE UN MOTOR ELECTRÓNICO DIÉSEL KIA SORENTO* . Retrieved from <http://repositorio.utn.edu.ec>:
<http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/4927/1/05%20FECYT%202476%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
 19. Fusté, S. (2015, Abril 8). *ANÁLISIS TERMODINAMICO DE LOS CICLOS*. Retrieved from <https://upcommons.upc.edu>:
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/25938/TFG%20Sergi%20Fuste.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
 20. Fusté, S. (2015, Abril 08). *ANÁLISIS TERMODINAMICO DE LOS CICLOS DE RANKINE*. Retrieved from <https://upcommons.upc.edu>:
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/25938/TFG%20Sergi%20Fuste.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
 21. Gallego, M. (2009, Enero). *Sistema TDI*. Retrieved from wordpress.com:
<https://mgallegosantos.files.wordpress.com/2009/01/bosch-ve.pdf>
 22. García, F., Chacón, J., & Chaves, A. (2013). <https://www.redalyc.org>. Retrieved from *Modelado de la combustión en motores Diésel*:
<https://www.redalyc.org/pdf/3420/342030287005.pdf>
 23. Garrido, D., & Álvarez, V. (2016, Diciembre). *Estudio de la Evolución de los CRDI (Common Rail Direct Inyection) en Función del Combustible en Sudamérica*. Retrieved from <https://repositorio.uide.edu.ec>:
<https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/1766/1/T-UIDE-1313.pdf>

24. Gonçalves, E., Poltronieri, F. G., Cassaro, G., Araldi, L. F., Pulga, R. R., & Visoli, C. (2018). *ANÁLISE DA INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA DE SOBREALIMENTAÇÃO EM UM MOTOR CICLO DIESEL*. Retrieved from <https://uceff.edu.br:https://uceff.edu.br/anais/index.php/engmec/article/view/209/201>
25. Guerra, J., Morillo, A., Guasumba, J., & Guamán, J. (2021, Agosto 10). *La gestión de la inyección electrónica de combustible para los motores de encendido por compresión modernos (CRDI)*. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es:https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8094439.pdf>
26. Ing. Luis Mena Navarrete, I. S. (2016, Diciembre 09). *Universidad de las Fuerzas Armadas*. Retrieved from <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/11844/1/AC-ESPEL-MAI-0566.pdf>
27. Jiménez, R., & Mora, M. (2019). <https://www.academia.edu/>. Retrieved from Ciclo Diésel: https://www.academia.edu/40417077/Ciclo_diesel
28. Kuangchen. (2018). *China Patent No. Kc.0328*.
29. Mogul, F. (2018). *Todo sobre bujias de encendido*. Retrieved from www.fmcat.eu
30. Mora, C., Altamirano, D., Guasumba, J., & Cabascango, C. (2022, Abril 1). *Características de los sistemas de inyección . Una revisión bibliográfica*. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es:https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8482966.pdf>
31. Morales, D., & Ribadeneira, A. (2007, AGOSTO). *DIMENSIONES DE UN BANCO DE PRUEBAS DE MOTORES DIESEL*. Retrieved from <https://bibdigital.epn.edu.ec:https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/579/1/CD-0872.pdf>
32. Ortiz, J., Paucar, H., & Peñafiel, D. (2016). *Sistema CRDi Bosch*. Retrieved from <https://es.scribd.com/:https://es.scribd.com/doc/300360795/Sistema-Crdi-Bosch>
33. Pérez, B. (2019, Enero). *Ciclo Brayton*. Retrieved from https://www.uaeh.edu.mx/:https://www.uaeh.edu.mx/docencia/P_Presentaciones/Sahagun/industrial/2019/Ciclo-Brayton.pdf
34. Plaza, D. (2016). *El ciclo Otto: motores de dos y cuatro tiempos*. Retrieved from <https://www.motor.es/:https://www.motor.es/que-es/ciclo-otto>

35. Rafael, M., & Hernández, A. (2014). *CARACTERIZACIÓN DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA CON DOS TIPOS DE COMBUSTIBLE*. Retrieved from <https://www.imt.mx>:
<https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt417.pdf>
36. Sánchez, C. (2021, Junio 30). <https://static1.squarespace.com>. Retrieved from *MODELACIÓN DEL PROCESO DE COMBUSTIÓN INTERNA EMPLEANDO:*
https://static1.squarespace.com/static/55564587e4b0d1d3fb1eda6b/t/622bdabd15b8c2139fec1a06/1647041219814/4-1-3+Tesis_S%C3%A1nchez_P%C3%A9rez_Carlos.pdf
37. Solutions, E. A. (2019). *GUÍA DE VÁLVULAS DE CONTROL*. Retrieved from <https://www.emerson.com/documents/automation/gu%EDa-de-v%E1lvulas-de%20control-control-valve-handbook-spanish-es-5459932.pdf>
38. Trujillo, A. (2020, Junio 23). *Sistema de inyección de combustible common rail y detección de averías en los motores MAN 7L48/60CR*. Retrieved from <https://riull.ull.es>:
<https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/22479/Sistema%20de%20inyeccion%20de%20combustible%20common%20rail%20y%20deteccion%20de%20averias%20en%20los%20motores%20MAN%207L4860CR.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
39. Vaca, E. (2014). <https://www.academia.edu>. Retrieved from Sistema de inyección de motores diesel:
https://www.academia.edu/10353992/Informe_sistemas_de_inyeccion_de_motores_DIESEL
40. Viláñez Ponce, B. R. (2017, Mayo). *Repositorio UIDE*. Retrieved from Estudio de los inyectores CRDI (Common Rail Direct Inyection) Bosch en el Ecuador, Mantenimiento preventivo y correctivo:
<https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/2132>

6. Anexos

6.1 Anexo I

Metodología



AI1: Desconexión del circuito de retorno



AI2: Sondas conectadas en el motor



AI3: Motor inicio de prueba

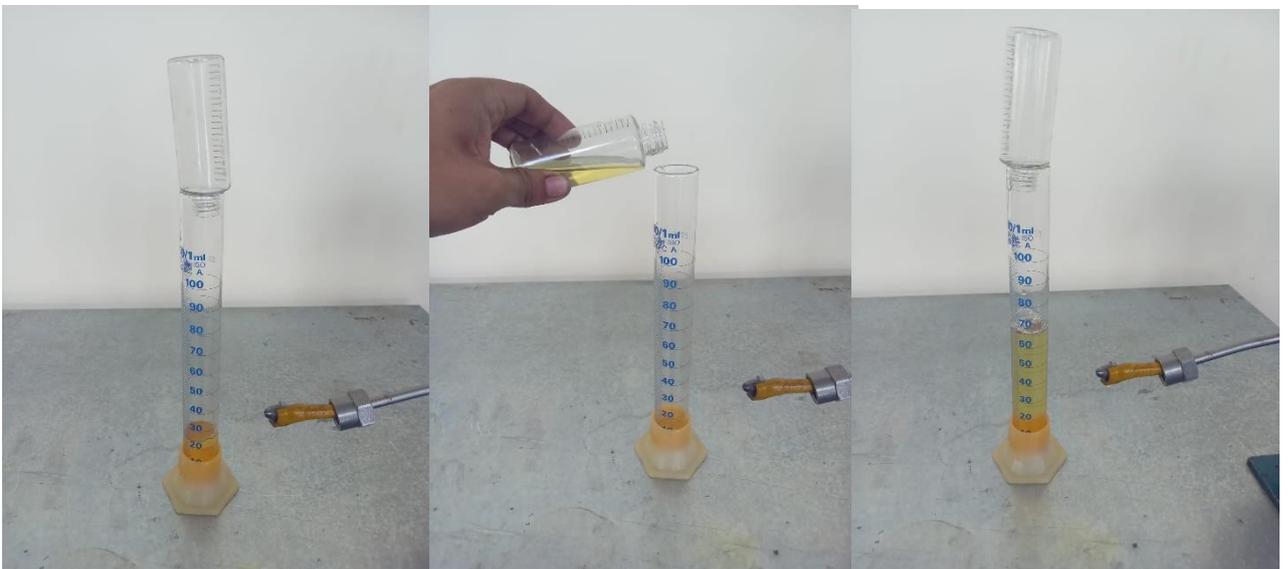
6.2 Anexo II



AII1: Recolección de datos



AII2: Medición de datos



AII3: Extracción de datos con probeta

