



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ

**TEMA: EVALUACIÓN A BASE DE PRESIONES DE BOMBAS DE
ALTA PRESIÓN EN SISTEMAS COMMON RAIL.**

AUTORES:

GUEVARA RODRÍGUEZ WILLIAM NICOLÁS

BECERRA TAPIA CRISTOPHER JAVIER

DIRECTOR:

ING. MAFLA YÉPEZ CARLOS NOLASCO, MSc.

Ibarra, 2022

CERTIFICADO

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

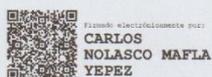
En mi calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es "EVALUACIÓN A BASE DE PRESIONES DE BOMBAS DE ALTA PRESIÓN EN SISTEMAS COMMON RAIL", presentado por los señores: GUEVARA RODRÍGUEZ WILLIAM NICOLÁS con número de cédula 100351167-0 y BECERRA TAPIA CRISTOPHER JAVIER con número de cédula 100375696-0, 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 10 días del mes de noviembre del 2021.

Atentamente:



Ing. Carlos Mafla, MSc.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO



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:	1003511670		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Guevara Rodríguez William Nicolás		
DIRECCIÓN:	Natabuela, barrio Los óvalos alto. Miguel ángel de la fuente y panamericana antigua		
EMAIL:	wnguevarar@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	062 535 232	TELÉFONO MÓVIL:	0983608715

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003511670		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Becerra Tapia Cristopher Javier		
DIRECCIÓN:	Av. El Retorno y Princesa Paccha 30-05		
EMAIL:	cjbecerrat@utn.ed.ec		
TELÉFONO FIJO:	062 650 981	TELÉFONO MÓVIL:	0963709379

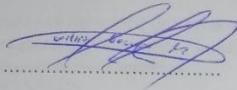
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	"EVALUACIÓN A BASE DE PRESIONES DE BOMBAS DE ALTA PRESIÓN EN SISTEMAS COMMON RAIL",
AUTOR (ES):	Guevara Rodríguez William Nicolás Becerra Tapia Cristopher Javier
FECHA: DD/MM/AAAA	26-01-2022
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	PREGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERIA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Carlos Mafla, MSc.

2. CONSTANCIAS

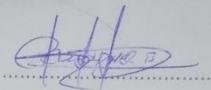
Los autores manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 26 días del mes de enero de 2022

LOS AUTORES:



Guevara Rodríguez William Nicolás



Becerra Tapia Cristopher Javier

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a:

Mis padres quienes con su dedicación y esfuerzo me han permitido cumplir mis sueños y objetivos. A ellos le doy infinitas gracias por poner toda su confianza en mí, y de igual manera les agradezco por inculcarme buenos valores, ya que por esto estoy seguro de que formaron una persona de bien y que en un futuro será de ayuda para la sociedad.

A mis hermanos que estuvieron apoyándome de una u otra manera en los momentos más difíciles de este proceso con sus consejos y buenos deseos.

A Dios por guiarme por el camino del bien y no desviarme en el proceso, ya que estoy seguro de que el intercedió por mí en las pruebas más fuertes y difíciles de mi vida.

De igual manera dedico con todo mi corazón a mi madre, pues sin ella no lo habría logrado ya que gracias a su apoyo pude cumplir mis objetivos y mis sueños, por su constancia y dedicación al educar a un hijo más.

A mis abuelos que siempre me guiaron por el camino del bien, gracias a sus consejos sabios que me ayudaron a mantenerme en el camino correcto y cada día ser una mejor persona, dedicada y responsable.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, doy gracias a Dios por permitirme cumplir mis metas dándome salud y sabiduría, gracias a mi universidad por darme la oportunidad de convertirme en un buen profesional en el área que tanto me apasiona. Gracias a cada docente que hizo parte de este gran proceso de formación que deja como producto terminado este grupo de graduados.

Mi más sincero agradecimiento a mis docentes y al personal que conforman la carrera de Ingeniería en Manteniendo Automotriz. Por brindarme su confianza y apertura para poder realizar todo el proceso estudiantil e investigativo dentro de sus instalaciones.

De igual manera mis más sinceros agradecimientos al MSc Carlos Nolasco Mafla Yépez quien nos colaboró durante todo este proceso con sus enseñanzas y conocimientos para que este proyecto de tesis sea una realidad.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1 OBJETIVOS	1
1.1.1 Objetivo general	1
1.1.2 Objetivos específicos	1
1.2 JUSTIFICACIÓN	1
1.3 ALCANCE	2
1.4 ANTECEDENTES	3
1.5 EL MOTOR DIÉSEL	5
1.5.1 Ciclo diésel	5
1.5.2 Proceso de combustión en un motor diésel	6
1.6 ELECTRÓNICA DEL MOTOR DIÉSEL	8
1.6.1 Sistemas de inyección diésel electrónicos	9
1.6.2 Bloques del sistema de regulación electrónico diésel	9
1.6.3 Beneficios de la gestión electrónica diésel	10
1.7 SISTEMAS DE INYECCIÓN DIÉSEL CRDi	11
1.7.1 Características	12
1.7.2 Funcionamiento	13
1.7.3 Componentes del sistema	14
1.7.4 Ventajas del sistema CRDi	15
1.7.5 Comparación entre sistemas electrónicos y mecánicos	15
1.8 BOMBAS DE ALTA PRESIÓN	16
1.8.1 Funcionamiento	17
1.8.2 Componentes	18
1.8.3 Clasificación según presiones de trabajo	19

2. MATERIALES Y MÉTODOS	22
2.1 DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	22
2.2 MATERIALES	22
2.2.1 Bomba de inyección de alta presión	23
2.2.2 Fuente de voltaje variable	24
2.2.3 Válvula DRV	25
2.2.4 Manómetros	25
2.2.5 Riel de combustible	26
2.2.6 Cañerías de alta presión	27
2.3 MÉTODO	28
2.3.1 MONTAJE EN EL BANCO	28
2.3.2 CONDICIONES DE PRUEBA	32
2.4 PRUEBAS DE LA BOMBA CP1 EN BUEN ESTADO	33
2.4.1 Registro de valores a 300 RPM CP1	35
2.4.2 Registro de valores a 400 RPM CP1	36
2.4.3 Registro de valores a 500 RPM CP1	38
2.4.4 Registro de valores a 600 RPM CP1	39
2.4.5 Presión de la bomba de transferencia CP1	41
2.5 PRUEBAS DE LA BOMBA CP1 - FALLA 1	42
2.5.1 Registro de valores a 300 RPM CP1-F1	42
2.5.2 Registro de valores a 400 RPM CP1-F1	43
2.5.3 Registro de valores a 500 RPM CP1-F1	45
2.5.4 Registro de valores a 600 RPM CP1-F1	46
2.5.5 Presión de la bomba de transferencia CP1-F1	48
2.6 PRUEBAS DE LA BOMBA CP1 – FALLA 2	49
2.6.1 Registro de valores a 300 RPM CP1-F2	49
2.6.2 Registro de valores a 400 RPM CP1-F2	50
2.6.3 Registro de valores a 500 RPM CP1-F2	52
2.6.4 Registro de valores a 600 RPM CP1-F2	53
2.6.5 Presión de la bomba de transferencia CP1-F2	55

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	57
3.1 INTRODUCCIÓN	57
3.2 ANÁLISIS DE LA PRESIÓN DE ENTRADA EN LA BOMBA DE TRANSFERENCIA	57
3.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS A 300 RPM	58
3.3.1 Variación de voltaje de la DRV-300 RPM	58
3.3.2 Variación de corriente de la DRV-300 RPM	59
3.4 COMPARACIÓN DE RESULTADOS A 400 RPM	60
3.4.1 Variación de voltaje de la DRV-400 RPM	60
3.4.2 Variación de corriente de la DRV-400 RPM	61
3.5 COMPARACIÓN DE RESULTADOS A 500 RPM	62
3.5.1 Variación de voltaje de la DRV-500 RPM	62
3.5.2 Variación de corriente de la DRV-500 RPM	63
3.6 COMPARACION DE RESULTADOS A 600 RPM	63
3.6.1 Variación de voltaje de la DRV-600 RPM	63
3.6.2 Variación de corriente de la DRV-600 RPM	64
3.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS	65
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
4.1 CONCLUSIONES	67
4.2 RECOMENDACIONES	68
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
ANEXOS	74

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA NÚM.	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
1.1	Ciclo del motor diésel	6
1.2	Diagrama de tasa de liberación de calor frente a tasa de inyección.	7
1.3	Diagrama de la secuencia de procesos durante el proceso de inyección-combustión	8
1.4	Bloques del sistema electrónico	10
1.5	Esquema del sistema Common Rail	12
1.7	Esquema de operación de la bomba de alta presión	17
1.8	Esquema de la bomba de alta presión	18
1.9	Esquema válvula reguladora de presión	19
1.10	Tipos de bombas de alta presión	21
2.1	Equipo de diagnóstico de bombas de alta presión	23
2.2	Bomba de alta presión	23
2.3	Fuente de voltaje variable	24
2.4	Válvula reguladora de presión DRV	25
2.5	Manómetro de baja presión	26
2.6	Manómetro de alta presión	26
2.7	Acumulador de alta presión	27
2.8	Cañerías de alta presión	27
2.9	Componentes del banco de pruebas de bombas de alta presión	29
2.10	Orden de instalación del banco de pruebas	29
2.11	Componentes del banco de pruebas de bombas de alta presión	30
2.12	Instalación manómetro de baja presión	30
2.13	Instalación de riel común y cañerías de combustible	30
2.14	Instalación de riel común y cañerías de combustible	31
2.15	Conexión eléctrica válvula DRV	31
2.16	Conexión eléctrica válvula DRV	31
2.17	Instalación completa del equipo	32
2.18	Procedimiento de preparación del banco de pruebas	33
2.19	Equipos controladores de inyectores y válvula DRV	34
2.20	Módulo de control del banco de pruebas	34
2.21	Inicio de giro de la bomba de inyección.	34

2.22	Variación de voltaje a 300 RPM CP1.	36
2.23	Variación de corriente a 300 RPM CP1.	36
2.24	Variación de voltaje a 400 RPM CP1.	37
2.25	Variación de corriente a 400 RPM CP1.	38
2.26	Variación de voltaje a 500 RPM CP1.	39
2.27	Variación de corriente a 500 RPM CP1.	39
2.28	Variación de voltaje a 600 RPM CP1.	40
2.29	Variación de corriente a 600 RPM CP1.	41
2.30	Variación de voltaje a 600 RPM CP1.	42
2.31	Variación de voltaje a 300 RPM CP1-F1.	43
2.32	Variación de corriente a 300 RPM CP1-F1.	43
2.33	Variación de voltaje a 400 RPM CP1-F1.	44
2.34	Variación de corriente a 400 RPM CP1-F1.	45
2.35	Variación de voltaje a 500 RPM CP1-F1.	46
2.36	Variación de corriente a 500 RPM CP1-F1.	46
2.37	Variación de voltaje a 600 RPM CP1-F1.	47
2.38	Variación de corriente a 600 RPM CP1-F1.	48
2.39	Variación de voltaje a 600 RPM CP1-F1.	49
2.40	Variación de voltaje a 300 RPM CP1-F2.	50
2.41	Variación de corriente a 300 RPM CP1-F2.	50
2.42	Variación de voltaje a 400 RPM CP1-F2.	51
2.43	Variación de corriente a 400 RPM CP1-F2.	52
2.44	Variación de voltaje a 500 RPM CP1-F2.	53
2.45	Variación de corriente a 500 RPM CP1-F2.	53
2.46	Variación de voltaje a 600 RPM CP1-F2.	54
2.47	Variación de corriente a 600 RPM CP1-F2.	55
2.48	Variación de voltaje a 600 RPM CP1-F2.	56
3.1	Variación de presiones en la bomba de transferencia.	58
3.2	Resultados de voltaje a 300 RPM.	59
3.3	Resultados de corriente a 300 RPM.	60
3.4	Resultados de voltaje a 400 RPM.	61
3.5	Resultados de corriente a 400 RPM.	61
3.6	Resultados de voltaje a 500 RPM.	62
3.7	Resultados de corriente a 500 RPM.	63
3.8	Resultados de voltaje a 600 RPM.	64
3.9	Resultados de corriente a 600 RPM.	65

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA NÚM.	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
1.1	Propiedades y datos característicos de los sistemas de inyección diésel	16
1.2.	Clasificación de bombas de alta presión	20
2.1.	Equipos y accesorios de diagnóstico de bombas de alta presión	22
2.2.	Características fuente de voltaje variable	24
2.3.	Características válvula DRV	25
2.4.	Características líquido viscoso 1487 Aw/2	32
2.5.	Condiciones de RPM y alta presión	33
2.6.	Registro de valores a 300 RPM CP1	35
2.7.	Registro de valores a 400 RPM CP1	37
2.8.	Registro de valores a 500 RPM CP1	38
2.9.	Registro de valores a 600 RPM CP1	40
2.10.	Presión bomba de transferencia CP1	41
2.11.	Registro de valores a 300 RPM CP1-F1	42
2.12.	Registro de valores a 400 RPM CP1-F1	44
2.13.	Registro de valores a 500 RPM CP1-F1	45
2.14.	Registro de valores a 600 RPM CP1-F1	47
2.15.	Presión bomba de transferencia CP1-F1	48
2.16.	Registro de valores a 300 RPM CP1-F2	49
2.17.	Registro de valores a 400 RPM CP1-F2	51
2.18.	Registro de valores a 500 RPM CP1-F2	52
2.19.	Registro de valores a 600 RPM CP1-F2	54
2.20.	Presión bomba de transferencia CP1-F2	55
3.1.	Resultados de voltaje y corriente de las bombas CRDi	66

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo diagnosticar el estado de bombas de inyección de alta presión en motores diésel CRDi, mediante la realización de un estudio de presiones a diferentes revoluciones con la finalidad de obtener los rangos de presiones idóneos de bombas de inyección de alta presión CRDi para su correcto funcionamiento. Para ello se realizó un análisis comparativo de los valores obtenidos en las pruebas realizadas a la bomba de alta presión nueva, con los obtenidos con una bomba de inyección defectuosa y en mal funcionamiento. En la investigación se utilizó el método práctico de medición de datos con el que se obtiene los valores de voltaje y corriente de la DRV en bombas de alta presión tipo CP1 a presiones de entre 100 bares y 700 bares, en diferentes regímenes de funcionamiento (300, 400, 500 y 600 RPM) y con el método de análisis de datos se determinó el estado de los diferentes componentes de la bomba de alta presión en prueba sobre el banco de calibración. En los resultados se obtiene que en la bomba CP1 nueva a 300 RPM, los valores de voltaje y corriente aplicados a la válvula reguladora de presión DRV oscilan de entre 0.96V a 2.8V y 0.245A a 0.658A; a 400 RPM de 0.92V a 2.9V y 0.230A a 0.697A; a 500 RPM de 1.03V a 2.68V y 0.247A a 0.634A; a 600 RPM de 1.19V a 2.8V y 0.282A a 0.673A, a medida que la presión en el riel incrementa de 100 bares a 700 bares. La bomba CP1-F1 con 3 bares de presión en la bomba de transferencia se observa que el valor de voltaje y corriente aumentan en su valor con respecto a los obtenidos en la bomba CP1. A bajas RPM sus valores incrementan a 1.04V y 0.255A en 100 bares de presión, mientras que a 500 bares existe un incremento a 2.48V y 0.608A, con lo que se evidencia un aumento de aproximadamente 6.1% y 15.4% respectivamente. En la bomba CP1-F2 con 2 bares de presión de transferencia a bajas RPM se identifica un aumento de voltaje y corriente aplicado a la DRV; sus valores incrementan a 1.12V y 0.280A en 100 bares de presión, mientras que a 500 bares existe un incremento a 3.05V y 0.750A, con lo que se evidencia un aumento de aproximadamente 8.7% y 33.8% respectivamente. De los resultados obtenidos se concluye que una baja presión en la bomba de transferencia provoca que el voltaje y corriente aplicados a la válvula DRV incrementen en su valor, comparados con los obtenidos como referencia con la bomba CP1 nueva. El aumento en los valores de estas variables ocurre por la mayor corriente que necesita el electroimán de la DRV para ejercer fuerza y cerrar el paso de combustible para ajustar y mantener la presión en el riel de inyectores.

ABSTRACT

The objective of this work is to diagnose the status of high-pressure injection pumps in CRDi diesel engines, by conducting a pressure study at different revolutions in order to obtain the ideal pressure ranges for CRDi high pressure injection pumps for its correct operation. To do this, a comparative analysis was carried out of the values obtained in the tests carried out on the new high-pressure pump, with those obtained with a faulty and malfunctioning injection pump. The research used the practical data measurement method with which the voltage and current values of the DRV are obtained in high pressure pumps type CP1 at pressures between 100 bar and 700 bar, in different operating regimes (300, 400, 500 and 600 RPM) and with the data analysis method the state of the different components of the high-pressure pump under test was determined on the calibration bench. The results show that in the new CP1 pump at 300 RPM, the voltage and current values applied to the DRV pressure regulating valve range from 0.96V to 2.8V and 0.245A to 0.658A; at 400 RPM from 0.92V to 2.9V and 0.230A to 0.697A; at 500 RPM from 1.03V to 2.68V and 0.247A to 0.634A; at 600 RPM from 1.19V to 2.8V and 0.282A to 0.673A, as the pressure in the rail increases from 100 bar to 700 bar. The CP1-F1 pump with 3 bars of pressure in the transfer pump, it is observed that the voltage and current values increase in value with respect to those obtained in the CP1 pump. At low RPM its values increase to 1.04V and 0.255A in 100 bars of pressure, while at 500 bars there is an increase at 2.48V and 0.608A, which shows an increase of approximately 6.1% and 15.4% respectively. In the CP1-F2 pump with 2 bar transfer pressure at low RPM, an increase in voltage and current applied to the DRV is identified; their values increase to 1.12V and 0.280A in 100 bars of pressure, while at 500 bars there is an increase at 3.05V and 0.750A, which shows an increase of approximately 8.7% and 33.8% respectively. From the results obtained, it is concluded that a low pressure in the transfer pump causes the voltage and current applied to the DRV valve to increase in value, compared to those obtained as a reference with the new CP1 pump. The increase in the values of these variables occurs due to the greater current that the DRV electromagnet needs to exert force and close the fuel passage to adjust and maintain the pressure in the injector rail.

INTRODUCCIÓN

En nuestro país en la actualidad encontramos un sinnúmero de vehículos que poseen sistemas CRDi con los que se obtiene buenos resultados de eficiencia y economía al momento de hablar del consumo de combustible. En nuestro país y de forma específica en la provincia de Imbabura, no existe personal realmente capacitado en la manipulación de estos sistemas, por lo que es muy importante contribuir con información sobre los sistemas CRDi, su funcionamiento y su importancia en la reducción de la contaminación ambiental.

En el presente proyecto se realizará un diagnóstico del estado de bombas de inyección en motores diésel CRDi a través del desarrollo de un estudio de presiones manteniendo diferentes revoluciones, con lo que se pretende obtener los rangos aptos de presiones en este tipo de bombas de alta presión CRDi. El proyecto se divide en cuatro capítulos detallados a continuación:

El primer capítulo detalla el objetivo principal y los específicos, la justificación y alcance de la investigación, así como el marco contextual del problema, conceptos, funcionamiento y elementos constitutivos de las bombas de inyección de alta presión CRDi.

En el segundo capítulo se describe la metodología aplicada en el desarrollo de la investigación, así como los equipos utilizados para su ejecución y el procedimiento seguido para la obtención de los valores de voltaje y corriente aplicada a la válvula reguladora de presión DRV para mantener cierta presión en el riel a las RPM establecidas en las condiciones de prueba.

En el tercer capítulo se realiza la comparación de los resultados obtenidos con una bomba de inyección en buen estado y otras que se encuentran en malas condiciones de funcionamiento. De esta forma se identifica la tendencia en la variación del voltaje y corriente aplicados a la válvula DRV cuando la presión de entrada en la bomba de transferencia es menor a la indicada por el fabricante. Este análisis permitirá realizar un diagnóstico de funcionamiento de diferentes bombas CRDi.

Finalmente, en el cuarto capítulo se detalla las conclusiones y recomendaciones del proyecto realizado, con relación al análisis y diagnóstico de bombas de inyección en sistemas common rail.

CAPÍTULO I

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GENERAL

- Diagnosticar el estado de bombas de inyección en motores diésel CRDi mediante la realización de un estudio de presiones a diferentes revoluciones, y obtener los rangos idóneos de presiones de bombas de inyección de alta presión CRDi.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar bibliográficamente las presiones de las bombas de alta presión.
- Analizar los diferentes tipos de bombas de inyección Common rail.
- Desarrollar una guía de diagnóstico de bombas de alta presión a base de presiones.
- Pruebas a las bombas de alta presión de los bancos de motores diésel de la carrera.

1.2 JUSTIFICACIÓN

En nuestro país en la actualidad encontramos un sinnúmero de vehículos que poseen sistemas CRDi, por ende, esto se deriva a que alrededor del mundo se han implementado estos sistemas con los que se obtiene buenos resultados de eficiencia y economía al momento de hablar del consumo de combustible. Al momento en nuestro país y de forma específica en la provincia de Imbabura, no existe personal realmente capacitado en la manipulación de estos sistemas, por lo que la presente investigación es muy importante ya que se puede contribuir con información sobre los sistemas CRDi, su funcionamiento y su importancia en la reducción de la contaminación ambiental.

De igual manera se aportan conocimientos para los profesionales en el área de mecánica automotriz sobre los sistemas de control electrónico en motores diésel, y de esta forma se encuentren actualizados en estos temas. Con la investigación se pretende lograr que el diagnóstico de estos sistemas se realice de forma rápida y a un menor costo, ya que al

momento es todo lo contrario y un diagnóstico de motores con sistema CRDi es muy costoso en cualquier lugar de nuestra provincia.

Lo mencionado anteriormente se sustenta con lo que indica el Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021-Toda una Vida, que en el objetivo 3 establece garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones, mencionando las siguientes políticas:

- 3.3 Precautelar el cuidado del patrimonio natural y la vida humana por sobre el uso y aprovechamiento de recursos naturales no renovables.
- 3.4 Promover buenas prácticas que aporten a la reducción de la contaminación, la conservación, la mitigación y la adaptación a los efectos del cambio climático, e impulsar las mismas en el ámbito global.
- 3.9 Liderar una diplomacia verde y una voz propositiva por la justicia ambiental, en defensa de los derechos de la naturaleza.

De la igual manera menciona sus metas:

- Evitar que la brecha entre Huella Ecológica y Biocapacidad sea menor a 0,35 hectáreas globales per cápita hasta 2021.
- Mantener el 16% de territorio nacional bajo conservación o manejo ambiental a 2021.
- Incrementar del 70,3% al 80% los residuos sólidos no peligrosos con disposición final adecuada a 2021.
- Incrementar la utilidad de las maquinarias, equipos y tecnologías productivas considerando criterios de obsolescencia programática a 2021. (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2017).

1.3 ALCANCE

En el presente proyecto se realizará un diagnóstico del estado de bombas de inyección en motores diésel CRDi a través del desarrollo de un estudio de presiones manteniendo diferentes revoluciones, con lo que se pretende obtener los rangos aptos de presiones en este tipo de bombas de alta presión CRDi.

Para realizar estas pruebas será necesario la utilización de un banco de pruebas para inyectores y bombas de alta presión diésel, el cual tiene como función proporcionar los datos específicos de las presiones en las bombas, así como también la rotación y tiempo de

inyección de los inyectores de los motores con sistemas CRDi. Para esta investigación se utilizará una bomba nueva tipo 4hk1 6hk1 del motor ISUZU FTR.

Este trabajo tiene como finalidad verificar y estudiar el estado de funcionalidad de las bombas de inyección Common Rail por medio de un exhaustivo estudio de dichas bombas, a través de evaluaciones con diferentes procedimientos que se realizarán mediante un banco de pruebas.

El alcance de la investigación es realizar el análisis de una bomba de inyección nueva que se utilice en los sistemas CRDi, para de esta forma obtener los parámetros de funcionamiento con la finalidad de comparar los resultados con los de otras bombas en diferentes estados de operación. Por otro lado, la investigación también conlleva a la utilización de un riel común nuevo de cuatro inyectores el mismo que será utilizado para revisar las presiones de salida en cada una de sus toberas.

En vista de que en este proyecto se utilizará tecnología muy actual, es muy importante tener precaución en las diferentes pruebas realizadas para evitar causar daños en algunos componentes del sistema en estudio. Por lo que se establecerá las diferentes tomas de datos en las distintas bombas de alta presión con todas las medidas de seguridad y llevar con éxito todo el desarrollo de la investigación.

1.4 ANTECEDENTES

Desde principios de los años 90 se trabajó en una nueva técnica que permita aportar mayor presión de inyección en los motores de turismo de inyección directa (Aalam, Saravanan, & Anand, 2016), los motivos para encontrar estas altas presiones se debe a la búsqueda de sistemas que permitan un menor consumo de combustible y de igual manera un menor porcentaje de elementos contaminantes hacia el ambiente; el riel común es una de las opciones más relevantes para conseguir estas altas presiones.

Su funcionamiento se basa en la estanqueidad del carburante a una denominada presión en un solo conducto, seguidamente se envía el combustible a los inyectores mediante distribución electrónica con la ayuda de una unidad de control. En un principio se obtuvo resultados de presiones de 600 bares y en un segundo ensayo se obtuvo presiones de hasta 1350 bares en los primeros motores que se implementó estos sistemas (Alejandro, 2013).

Los sistemas de inyección diésel Bosch ha contribuido considerablemente a la popularidad de los motores diésel para autos (González, Granda, & Sánchez, 2002), debido a las grandes presiones que brindan los nuevos sistemas CRDi se consigue una inyección de combustible en dosis más exactas y una inyección más homogénea.

El calentamiento global que es un resultado de la contaminación del ambiente tiene muchas fuentes de emisión en las que se puede señalar:

- La industria química
- Refinación del petróleo
- El transporte

Es muy común que en las grandes ciudades la contaminación ambiental esté relacionada con el sector del transporte debido ya a que es donde se encuentran acumulados la mayor parte de vehículos que utilizan motores diésel. El sistema Common Rail es un sistema electrónico de inyección de combustible para motores diésel de inyección directa (“Universidad tecnológica equinoccial,” 2016), en la cual el carburante se somete a extracción directa desde el tanque de combustible hasta una bomba que genera presiones altas, por consiguiente la bomba antes mencionada envía el combustible a un riel común que se encarga de dosificar a todos los inyectores.

Todas las presiones en este sistema son comandadas por la unidad de control a través de la información recibida desde los sensores que se encargan de enviar diferentes tipos de señales a la unidad de control con el fin de obtener una mejor eficiencia de dicho motor y de igual manera una reducción de gases contaminantes hacia el ambiente. El inyector utilizado en los sistemas Common Rail se activa de forma eléctrica (Andrés & Ullauri, 2012), muy diferente a los que se utiliza con bombas rotativas que inyectan el combustible mecánicamente. Con la implementación de este sistema se obtiene una gran presión al momento de inyectar el combustible por medio de los inyectores en la cámara de combustión, con lo que obtiene como resultado un mejor funcionamiento del motor, mayor eficiencia y menor consumo de combustible.

1.5 EL MOTOR DIÉSEL

Los motores diésel son máquinas de combustión interna que pueden superar el 30% de eficiencia y el 70 % restante de la energía que no se convierte en energía mecánica para el accionamiento del vehículo, se disipada en forma de calor (Pozo Huertas, 2020). La energía química que contiene el combustible no todo se convierte en energía mecánica, el agua de refrigeración absorbe aproximadamente el 30% del calor; el otro 30% de la energía calorífica de la combustión se encuentra en los gases de escape y el 10% de la energía lo utilizan los accesorios del motor, como son la bomba de inyección, la bomba de agua, servomotor, entre otros (Zedadra et al., 2019).

El motor diésel convierte la energía calorífica que entrega el combustible en energía mecánica y la energía se libera mediante el encendido de la mezcla aire combustible, que cambia su composición química después de la combustión y es el encargado de transferir trabajo al pistón, y este último al resto de los componentes de la cadena cinemática, hasta llegar a las ruedas impulsoras del movimiento (Taípe Defaz, 2021).

Estos motores son muy utilizados debido a su mejor eficiencia de combustible, confiabilidad y mayor potencia de salida, por lo que es ampliamente utilizado en transportes, locomotoras, generación de energía y aplicaciones industriales (Xu, Yao, & Rutland, 2014). La combustión de combustible diésel emite emisiones nocivas como: dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no quemados (HC), material particulado (PM), óxidos de nitrógeno (NO_x) y dióxido de azufre (SO₂) (Wan Mansor, Abdullah, Jarkoni, Vaughn, & Olsen, 2020).

1.5.1 CICLO DIÉSEL

El ciclo diésel fue desarrollado por Rudolf Diésel a principios del siglo XX, el cual consiste en cuatro etapas fundamentales: admisión, compresión, expansión y escape, como se ilustra en la Figura 1. El ciclo inicia con la apertura de la válvula de admisión para succionar aire y llenar el cilindro; enseguida la válvula de admisión se cierra llevando el pistón al punto muerto inferior; el pistón se eleva, comprimiendo y calentando el aire hasta llevarlo a una temperatura de ignición; posteriormente, la inyección de combustible empieza cerca del punto muerto superior en la carrera de compresión y continúa durante aproximadamente 40°

de rotación del cigüeñal (Armando et al., 2015). El combustible se inflama y debido a la expansión, el pistón es impulsado hacia abajo; por último, la válvula de escape se abre y el pistón se eleva en la carrera de escape, purgando el cilindro de los gases de combustión (Ramírez, 2019).

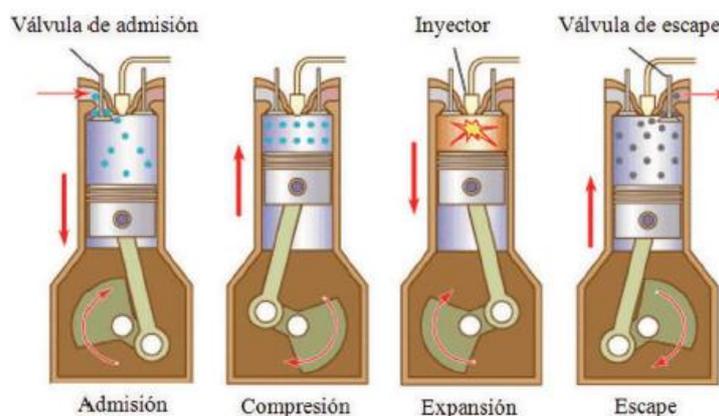


Figura 1.1 Ciclo del motor diésel

Fuente: (Armando et al., 2015)

En un motor diésel para lograr el encendido el aire en el cilindro se comprime mucho más que en un motor a gasolina, llegando a una relación de compresión de entre 14:1 y 25:1 (Breeze, 2018). Los motores diésel actuales conducen a una mayor eficiencia, de modo que un motor diésel puede lograr un 45% de eficiencia de conversión de combustible a energía, significativamente más alta que un motor de gasolina, lo que se logra gracias al sistema de sobrealimentación (Godiganur, Nayaka, & Kumar, 2020).

Para soportar las elevadas presiones y temperaturas, los componentes del motor diésel deben ser más fuertes que las de un motor a gasolina, esto hace que los motores diésel sean más pesados y costosos (Armando et al., 2015).

1.5.2 PROCESO DE COMBUSTIÓN EN UN MOTOR DIÉSEL

El proceso de combustión es complejo debido a su heterogeneidad y al hecho de ser un fenómeno no estacionario, el cual inicia cuando el combustible es inyectado directamente a elevadas presiones dentro de la cámara de combustión (Artieda y Cavero, 2016). El consumo de combustible como las emisiones de gases están directamente relacionadas con su principio de funcionamiento y que dependen directamente de las fases en las que se desarrolla la Ley de Liberación de Calor (Oltra, 2017).

No obstante y pese a anteriores estudios no existe una descripción exacta del proceso, pero

sí que es posible tratar de realizar una descripción temporal a través de la identificación de diversas fases, y según García (2016) se describen como:

- a) **Fase 1. Retraso al autoencendido.** Hace referencia al intervalo de tiempo que existe entre el comienzo de la inyección y el comienzo del proceso de combustión. Durante esta fase el combustible se va calentando y ocurren los procesos químicos y físicos necesarios para que en un determinado instante se alcancen las condiciones de inflamabilidad del fluido y como se indica en la Figura 1.2 es el tiempo que transcurre entre el SOI (Start Of Inyection) y el SOC (Start of Combustion) donde se observa la mayor pendiente en la ley de liberación de calor.
- b) **Fase 2. Combustión premezclada.** Durante esta fase se produce la auto-ignición espontánea de algunos de los núcleos de combustible, además, al ser una reacción brusca y rápida, implica una gran liberación de calor en un período corto de tiempo, originando elevados gradientes de presión en la cámara. En la Figura 1.2 puede observar como la mayor tasa de liberación de calor y consumo de combustible se presenta en esta segunda fase.

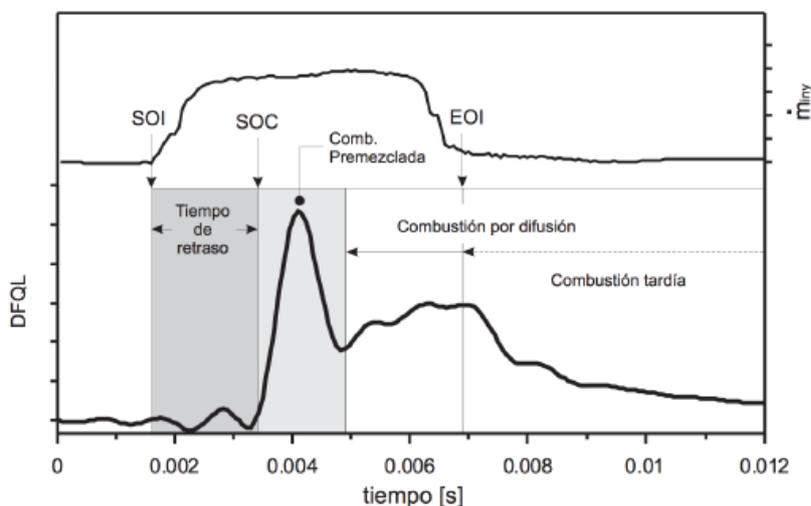


Figura 1.2 Diagrama de tasa de liberación de calor frente a tasa de inyección.
Fuente: (García, 2016)

- c) **Fase 3. Combustión por difusión.**

En esta última fase se quema el combustible restante y se inicia una vez que ha reaccionado todo el combustible premezclado y existan las condiciones que permitan una reacción auto-sustentada. Esta última fase puede a su vez subdividirse en dos; la

primera ocurre mientras se inyecta combustible en la cámara, difusión rápida y la segunda se produce cuando se deja de inyectar combustible en la cámara, que se conoce como difusión tardía y se produce debido a la turbulencia residual y la existencia de combustible en la cámara.

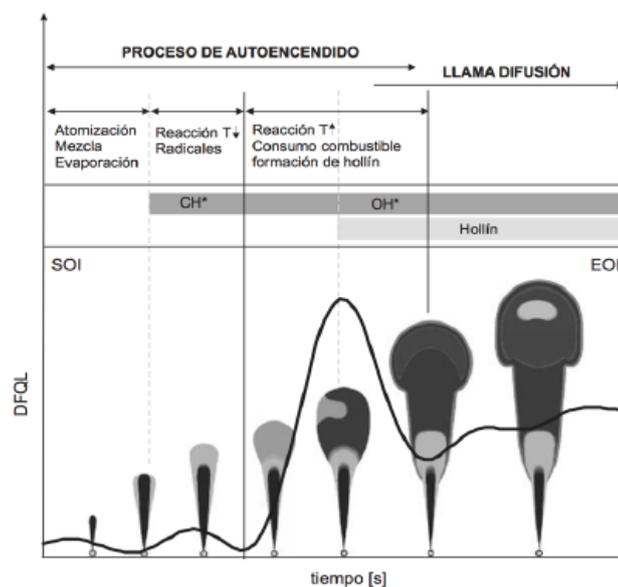


Figura 1.3 Diagrama de la secuencia de procesos durante el proceso de inyección-combustión

Fuente: (García, 2016)

1.6 ELECTRÓNICA DEL MOTOR DIÉSEL

En los últimos años, los motores diésel han evolucionado hasta convertirse en una de las alternativas más eficientes para su aplicación en vehículos, lo que se ve reflejado en dos aspectos: el desarrollo en el control electrónico y los sistemas de inyección y la exigencia del mercado hacia los fabricantes, obligándolos a producir vehículos con mayores prestaciones, menor consumo y emisiones (Martin, 2015).

La aplicación de un sistema electrónico de control en motores diésel está determinada por la necesidad de ahorro en el consumo de combustible y las exigentes normas de emisiones que se implementan en la actualidad (Rivero, 2014). Este sistema se encarga de monitorear todas las señales de entrada desde los sensores, calcular parámetros de funcionamiento y controlar los actuadores del motor para así asegurar el funcionamiento en su punto óptimo y la correcta integración con los otros sistemas electrónicos (Braun, Pumarino, & Tolvett, 2016).

El desarrollo futuro de los motores diésel es de suma importancia para hacer frente a las crecientes demandas con respecto a las emisiones, el consumo de energía y debido al

aumento previsto del transporte por carretera, lo que significa que se debe mejorar la eficiencia del proceso de combustión (Knecht, 2008).

1.6.1 SISTEMAS DE INYECCIÓN DIÉSEL ELECTRÓNICOS

La Regulación Electrónica Diésel (EDC) se desarrolló con las crecientes demandas del sistema simple para un complejo comando electrónico capaz de reunir innumerables datos y procesarlos en tiempo real (García del Río, 2017). A diferencia de vehículos a diésel con bombas inyectoras en línea o rotativas, en el sistema EDC el conductor no tiene influencia directa sobre el volumen de combustible inyectado, y este parámetro según Bosch (2015), es determinado por diversos factores como:

- Posición del pedal del acelerador
- Régimen de funcionamiento
- Temperatura del motor
- Efecto sobre la emisión de contaminantes

El control electrónico permite una configuración exacta y diferenciada de los volúmenes de inyección, haciendo frente a las numerosas exigencias impuestas a un motor diésel moderno, como la reducción del consumo de combustible y aumento de potencia/torque del motor, además de comodidad al conducir el vehículo (Hayat et al., 2014). Para cumplir con las estrictas normas de emisiones de gases de escape, los motores diésel necesitan tener un riguroso control de la mezcla de aire-combustible en el cilindro y los sistemas mecánicos ya no logran cumplir con tales requisitos, por lo que la regulación electrónica es más eficiente, segura, potente y económica (Liu, Wang, & Yao, 2020).

1.6.2 BLOQUES DEL SISTEMA DE REGULACIÓN ELECTRÓNICO DIÉSEL

La regulación electrónica diésel es preparado para cumplir las exigencias antes mencionadas gracias al aumento en el rendimiento del cálculo que se ha producido en los micro controladores disponibles durante los últimos años (Soriano & Ruiz, 2019). El sistema de regulación electrónica diésel se subdivide en tres bloques principales:

- Sensores y transmisores de valor de referencia.
- Unidad de control electrónica.
- Elementos actuadores.

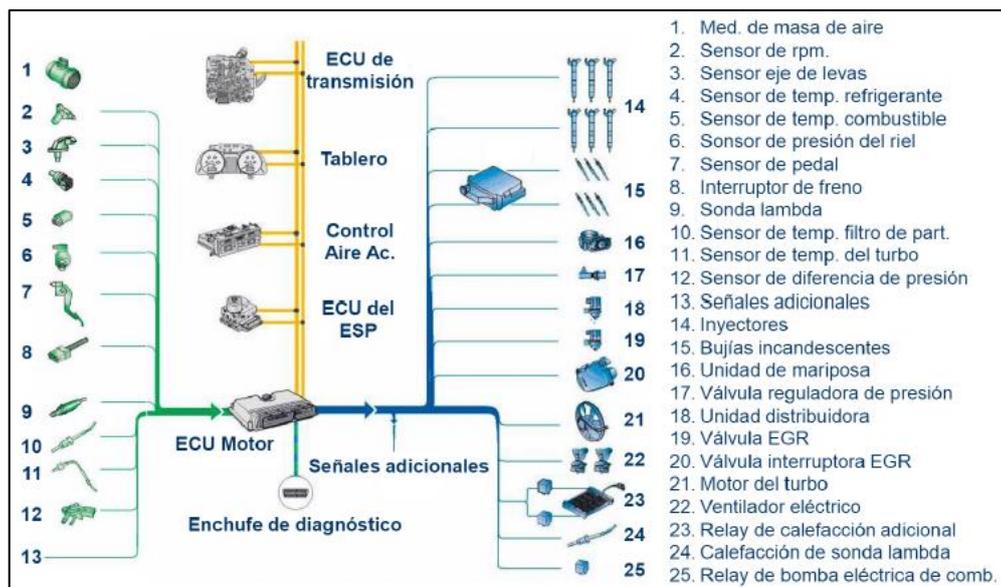


Figura 1.4 Bloques del sistema electrónico

Fuente: (Bosch, 2010)

A continuación se describe la función de cada uno de los bloques del sistema de gestión electrónica del motor diésel, detallados según García del Río (2017).

- **Sensores y transmisores de valor de referencia.** Se encargan de detectar las condiciones de funcionamiento del motor y transformar las magnitudes físicas en señales eléctricas para ser enviadas hacia la unidad electrónica del control.
- **Unidad de control electrónica.** Se encarga de procesar la información recibida desde los sensores y comparar con los valores teóricos almacenados en la memoria. De acuerdo a los valores analizados, se encarga además de enviar señales eléctricas de salida hacia los actuadores.
- **Elementos actuadores.** Son los elementos que transforman las señales eléctricas de salida desde la unidad de control, en magnitudes mecánicas para el funcionamiento adecuado del motor y sus sistemas.

1.6.3 BENEFICIOS DE LA GESTIÓN ELECTRÓNICA DIÉSEL

El control electrónico en un motor diésel ha permitido obtener una configuración en los parámetros de inyección de combustible con el fin de realizar una inyección precisa y en la cantidad adecuada según las condiciones de funcionamiento del motor; según Pérez Belló (2017), la introducción de la gestión electrónica ha permitido conseguir grandes mejoras en diferentes aspectos como:

- Regulación precisa en ralentí.
- Regulación óptima en vacío y carga a régimen alto.
- Gestión completa y con mayor precisión del comienzo de la inyección.
- Gestión completa del sistema de reglaje en los gases de escape del motor.
- Control permanente en el sistema de sobrealimentación.

En el funcionamiento del motor, el módulo de gestión electrónico se encarga de gestionar la información transmitida por diferentes sensores de los sistemas, la ECU analiza y compara los valores obtenidos con los almacenados en la memoria interna para diagnosticar el estado de funcionamiento del motor (Pardiñas & Feijó, 2018). Es así que el módulo de control gestiona una estrategia de reglaje con el objetivo de que el funcionamiento del motor sea el más eficiente durante todas las fases transitorias en los procesos de aceleración y desaceleración (Singh & Sandhu, 2020).

1.7 SISTEMAS DE INYECCIÓN DIÉSEL CRDi

El sistema de inyección diésel Common Rail (CRDi) nació de la colaboración con las empresas Fiat y Bosch y que desde su aparición ha tenido una constante evolución, siendo los sistemas más utilizados en la actualidad (Parreno Ibanez, 2012). En este sistema, la generación de presión del combustible y la inyección se encuentran separadas, lo que significa que la bomba produce la alta presión en todos los inyectores a través del conducto común, además, es controlada independiente de las revoluciones del motor (Bosch, 2015b).

El combustible se encuentra en el tanque almacenado a baja presión y es presurizado por una bomba eléctrica que se encuentra dentro del tanque o aspirado por una bomba de transferencia instalada en la bomba de alta presión. Luego la bomba de alta presión transfiere el combustible al riel común para ser distribuido a los inyectores a presiones que pueden variar de 100 - 200 MPa dependiendo de las condiciones de funcionamiento del motor (Zhang, Huang, Xie, & Zhou, 2018). En los inyectores se dispone de orificios más pequeños dispuestos de forma radial en la tobera y su apertura es comandada por la Unidad Electrónica de Control, lo que mejora el funcionamiento del motor reduciendo las emisiones de gases contaminantes (Castro Mediavilla & González Torres, 2019).

Los inyectores accionados electrónicamente permiten un control flexible de la distribución

y sincronización de la inyección, siendo posible dividir la inyección en hasta 4 fases: 2 preinyecciones (llamadas inyecciones piloto), una inyección principal y una pos inyección (González Calleja, 2015b). Este sistema de inyección electrónico ofrece una amplia gama de presiones de inyección independiente de la velocidad del motor.

1.7.1 CARACTERÍSTICAS

La presión, la cantidad y el momento de inyección en el sistema CRDi son calculados por la ECU, la cual utiliza las señales enviadas por diferentes sensores para operar y controlar diversos actuadores, lo que permite inyectar el combustible a altas presiones y en el momento exacto en el interior del cilindro del motor (Pérez Belló, 2017). El sistema se compone por un circuito de baja presión y uno de alta presión como se observa en la Figura 1.5.

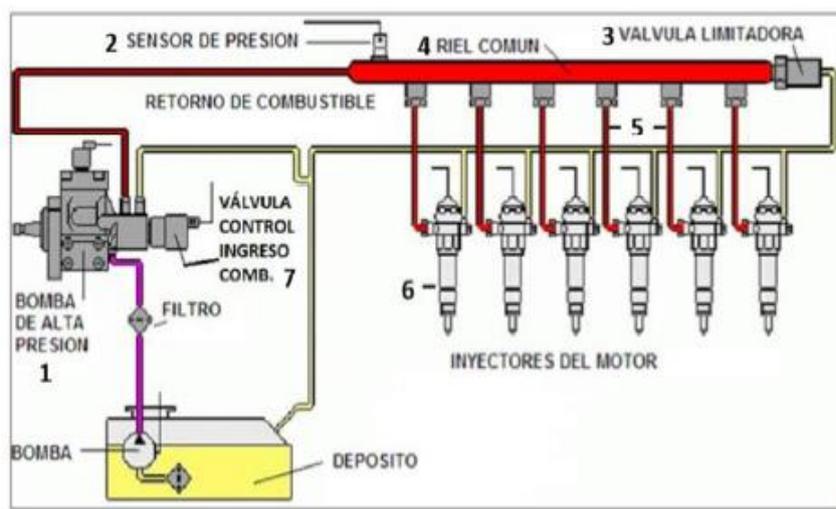


Figura 1.5 Esquema del sistema Common Rail

Fuente: (Castro Mediavilla & Gonzáles Torres, 2019)

En el circuito de alta presión se encuentra la bomba de alimentación, que puede ser eléctrica instalada en el tanque de combustible o accionada por un sistema de engranajes acoplada en la bomba de alta presión; por otra parte, el circuito de alta presión es el encargado de generar la alta presión de entre 150 y 1300 bares, para dosificar y distribuir el combustible entre los diferentes cilindros (Martin, 2015). En la Figura 1.6 se indica los componentes del sistema Common Rail.

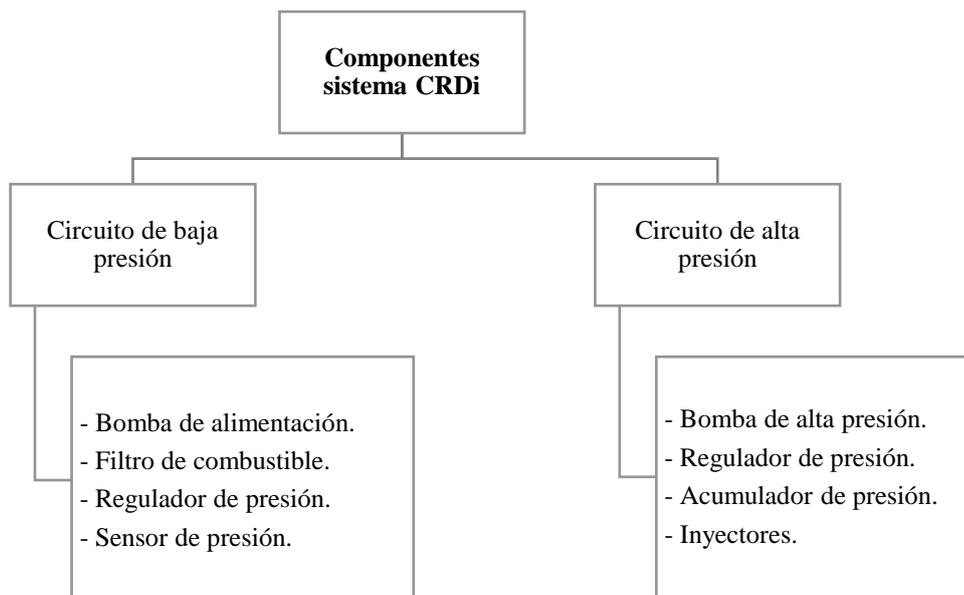


Figura 1.6 Componentes del sistema CRDi

Fuente: (Martin, 2015)

En la actualidad, el CRDi se ha aplicado cada vez más en motores diésel, especialmente en el ámbito de transporte para turismo, por lo que es una tendencia dominante que el sistema CRDi sustituya gradualmente a otros sistemas de combustible tradicionales (Qiu, Dai, Lei, Cao, & Li, 2015). Este sistema es muy adaptable a las estrategias de control electrónico en términos de altas presiones de inyección de combustible, sincronización exacta de la inyección, además, la presión de combustible no tiene relación directa con la velocidad del motor, ya que se almacena en el riel y siempre se mantiene en un nivel alto (Castro Mediavilla & Gonzáles Torres, 2019).

1.7.2 FUNCIONAMIENTO

La constante evolución del sistema CRDi ha permitido integrar un control electrónico de inyección lo que permite aumentar la potencia específica y reducir el consumo de combustible como las emisiones de gases contaminantes al ambiente (Garrido Quintana & Alvarez Luzuriaga, 2016). Uno de los principales desafíos asociados con este sistema es controlar con precisión el caudal y la cantidad de combustible inyectado en presencia de variaciones de presión en el riel y el inyector, lo que afecta a la eficiencia de combustión del motor (Zhang et al., 2018).

El principio de funcionamiento consiste en inyectar una cantidad precisa de combustible a

alta presión, donde la demanda de presión se mapea contra varios parámetros, principalmente la velocidad del motor y la demanda de par (Ashok et al., 2018).

El sistema de suministro de baja presión consta de una bomba de alimentación que suministra la cantidad de combustible hacia la bomba de alta presión, que finalmente es la encargada de elevar la presión del fluido de entre 500 y 2000 bares (Foronda-Trillo, 2015), para luego almacenarlo en el riel común y pulverizarse mediante los inyectores de combustible controlados electrónicamente con tiempo de inyección flexible y presión estable (Sarmiento, 2018).

1.7.3 COMPONENTES DEL SISTEMA

El sistema de inyección CRDi está compuesto por sensores - actuadores en la región de alta presión y entre los principales según Bosch (2015a), se encuentran los siguientes elementos:

- **Bomba de alta presión.** Comprime el combustible con la finalidad de obtener las presiones de inyección necesarias y conseguir la mejor combustión en el motor.
- **Acumulador de combustible.** Se encarga de almacenar el combustible a alta presión, distribuyendo a todos los inyectores.
- **Unidad de mando.** Recibe la información de los sensores, la procesa y define la cantidad y el tiempo de inyección para cada cilindro.
- **Inyector.** Inyecta el combustible a alta presión en el momento preciso que es determinado por la unidad de mando.
- **Bomba de engranajes.** Es el responsable de transportar el combustible desde el tanque a la bomba de alta presión.
- **Válvula reguladora de presión.** Se encarga de regular la presión ideal en el acumulador de presión de acuerdo con el régimen de operación del motor.
- **Sensor de presión de combustible.** Informa de la presión a la que se encuentra el combustible en el riel común.

En los sistemas electrónicos diésel además de los componentes de alta presión se encuentra sensores que ayudan a obtener un mejor control de la inyección y según Pérez Belló (2017), se puede clasificar como se detalla a continuación:

- **Sensor de presión y temperatura del aire.** Informa a la unidad de control

electrónica de la temperatura y presión del aire, que influye directamente en el sistema de inyección.

- **Sensor de masa de aire.** Se encarga de informar la cantidad de aire aspirado y de esta forma la unidad de mando puede controlar de mejor manera la cantidad de combustible a ser inyectada.
- **Sensores de temperatura.** Miden la temperatura de algunos componentes del motor como: líquido refrigerante, aire, combustible. Informa a la unidad de control lo que influye en el volumen de combustible.
- **Sensor de fase.** Se encarga de informar de la fase del motor, identificando en los cilindros cual se encuentra en la fase de compresión o escape.
- **Sensor de rotación del motor.** Informa a la unidad de mando de la rotación del motor a través de la señal obtenida desde el cigüeñal.

1.7.4 VENTAJAS DEL SISTEMA CRDi

El sistema de riel común proporciona una serie de ventajas frente a los sistemas de inyección convencional, como se puede detallar a continuación según Noboa (2019).

- a) **Presión de combustible independiente de la velocidad del motor y condiciones de carga.** La presión del combustible en los sistemas de riel común permite controlar la velocidad y carga del motor, para así optimizar las emisiones y rendimiento, garantizando la vida útil del motor.
- b) **Menores requisitos de torque de la bomba de combustible.** La alta presión que proporcionan estos sistemas permiten una mejor mezcla y pulverizado para tener un bajo porcentaje de hidrocarburos no quemados (HC) y hollín (PM).
- c) **Calidad de ruido mejorada.** Entrega de pequeñas cantidades de combustible antes de la inyección principal, lo que ayuda a reducir el ruido y las bajas emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx).

Estas ventajas permiten proporcionar al motor una presión de inyección lo suficientemente alta incluso a bajas revoluciones del motor y altas cargas, lo que permite satisfacer las demandas en diferentes condiciones de funcionamiento del motor.

1.7.5 COMPARACIÓN ENTRE SISTEMAS ELECTRÓNICOS Y MECÁNICOS

Las normativas cada vez más exigentes relacionadas a las emisiones de gases de escape y

ruido, así como el deseo de reducir el consumo de combustible plantean cada vez mayores y nuevas exigencias a los sistemas de inyección en los motores diésel (Viláñez Ponce & Sacancela Ushiña, 2017). Es así que la regulación mecánica es cada vez sustituido por la Regulación Electrónica Diésel (EDC) que permite un mayor control de la cantidad de inyección según el funcionamiento del motor (Bosch, 2002). A continuación, en la Tabla 1.1 se indica una comparación de los diferentes sistemas de inyección diésel mecánicos y electrónicos.

Tabla 1.1 Propiedades y datos característicos de los sistemas de inyección diésel

Tipo de regulación	Sistema de inyección	Caudal de inyección por carrera (mm ³)	Presión máxima (bares)	Potencia máxima por cilindro (kw)	Tipo de inyección
Mecánica	Bomba de inyección en línea	60 - 1500	550 - 1350	20 - 260	Directa-Indirecta
	Bomba rotativa de émbolo axial	70 - 125	350 - 1250	25 - 30	Directa-Indirecta
Electrónica (Electroválvula)	Unidad de bomba-tubería-inyector (UPS)	150 - 3000	1600 - 1800	35 - 500	Directa
	Unidad de bomba-inyector (UIS)	60 - 400	1800 - 2050	25 - 80	Directa
	Common Rail (CR)	100 - 400	1350 - 1600	30 - 200	Directa

Fuente: (Bosch, 2002)

El sistema de combustible de alta presión influye en gran medida en la inyección de combustible, pulverización, combustión y la potencia de salida del motor, así como también una significativa reducción de emisiones de material particulado y óxidos de nitrógeno (NOx) tanto en condiciones de estado estacionario como transitorias (Magno, Mancarus, & Vaglieco, 2014). Además, la regulación de la carga y revoluciones del motor es realizada a través del caudal de combustible y sin estrangulación del aire de admisión, debiendo dosificar el caudal de inyección en la mayor precisión posible (Bosch, 2005).

1.8 BOMBAS DE ALTA PRESIÓN

La bomba de alta presión es el principal componente del sistema de alimentación de combustible que tiene la misión de enviar la suficiente cantidad de combustible a presión

durante el funcionamiento del motor (Garrido Quintana & Alvarez Luzuriaga, 2016). Estos componentes han evolucionado de forma rápida en los últimos años permitiendo elevar la presión del combustible a valores muy altos y ofreciendo un mayor control en el proceso de inyección como: dosificación de combustible, tiempo de inyección, entre otros (García del Río, 2017).

La bomba de alta presión se encuentra instalada entre la intersección de la parte de baja y alta presión y su función principal es la de asegurar la cantidad de suministro de combustible a una presión adecuada para las diferentes condiciones de funcionamiento del motor, además, debe mantener una reserva de combustible necesaria para conseguir un arranque rápido del motor y elevar de forma rápida la presión en el acumulador (Calle, 2014).

1.8.1 FUNCIONAMIENTO

La bomba cumple con la función de comprimir el combustible de manera constante y enviarlo a una presión de entre 1100 y 2200 bares al riel común en todos los parámetros de servicio (Correa Gárate, 2017). La presión de combustible se adapta gracias al funcionamiento de la válvula dosificadora que es controlada por la ECU por la señal enviada desde el sensor de presión del riel común (Soriano & Ruiz, 2019).

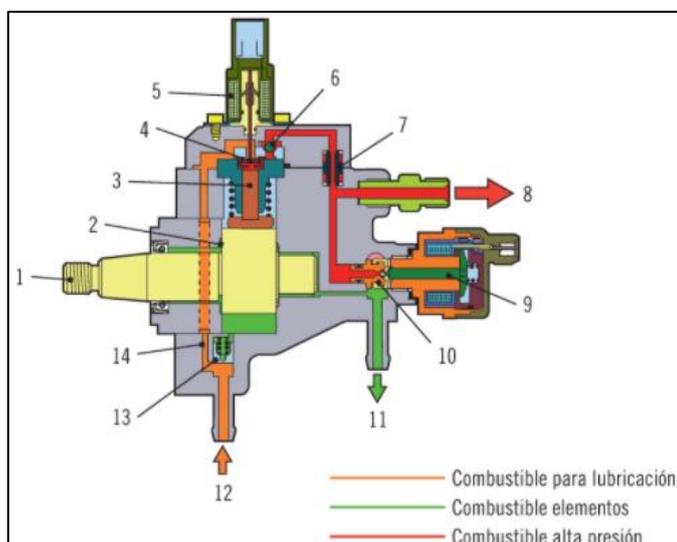


Figura 1.7 Esquema de operación de la bomba de alta presión

Fuente: (Parreno Ibanez, 2012)

En los vehículos de turismo se utiliza para la generación de presión una bomba de tres émbolos radiales dispuestos a un ángulo de 102° entre ellos, que son los encargados de comprimir el combustible a través de tres carreras de alimentación por giro, con lo que se generan pares de accionamiento máximos y además de una carga uniforme de operación de

la bomba (Pardiñas & Feijó, 2018). La alta presión que se envía al riel se encuentra presente en la válvula reguladora de presión que permite controlar y limitar la presión de combustible en el circuito de alta presión (Passo, Ulcuango, Toapanta, & Luna, 2019).

El par motor necesario para accionar la bomba de alta presión es de aproximadamente 16 Nm y la potencia es proporcional a la presión que se fija en el riel común y al número de revoluciones de la propia bomba, lo que está relacionado al caudal de alimentación. Por ejemplo, según Calle (2014), en un motor de 2 litros que se encuentra a régimen nominal y con una presión de 1350 bares en el riel, la bomba absorbe una potencia de 3,8 Kw con un rendimiento del 90% aproximadamente.

1.8.2 COMPONENTES

La bomba de alta presión está constituida por tres pistones radiales y es accionada por el sistema de distribución girando a la mitad de revoluciones del cigüeñal, además, el movimiento de los pistones radiales está determinado por una excéntrica que se encuentra acoplada al eje de la bomba, quien acciona un anillo poligonal y a su vez el pie del pistón (Pérez Belló, 2017). Sus componentes principales se indican en la Figura 1.8.

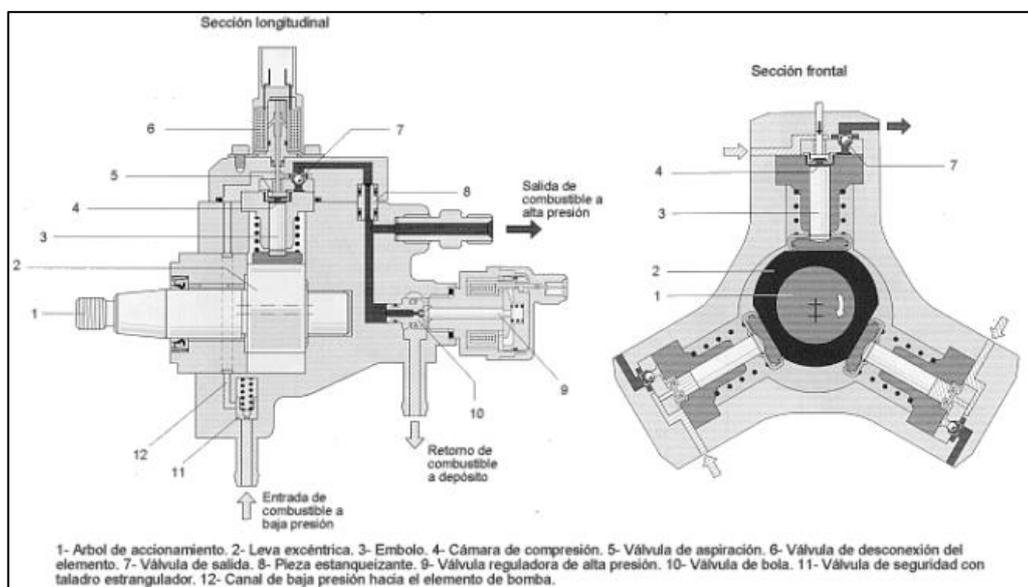


Figura 1.8 Esquema de la bomba de alta presión

Fuente: (Calle, 2014)

Uno de los componentes principales de la bomba de alta presión es la válvula reguladora de presión que puede estar ubicada en la bomba de alta presión o instalarse en el raíl y está constituido con acero de alta calidad con la finalidad de soportar las elevadas presiones de

trabajo, además, gracias a la actuación de un electroimán se consigue mantener la presión adecuada para las diferentes cargas del motor (Yerera, López, Holzmann, & Graziano, 2016).

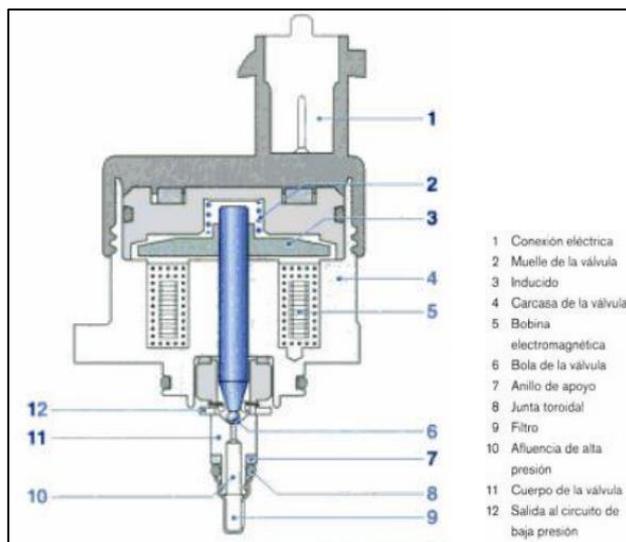


Figura 1.9 Esquema válvula reguladora de presión
Fuente: (Calle, 2014)

Esta válvula es la encargada de regular y mantener la presión en el riel dependiendo del estado de funcionamiento del motor, donde según González Calleja (2015b) puede actuar de la siguiente forma:

- En una presión demasiado alta, la válvula reguladora de presión abre el paso de tal manera que una cantidad de combustible regresa al depósito.
- En una presión demasiado baja, la válvula reguladora de presión cierra el paso enviando el combustible a la zona de alta presión.

1.8.3 CLASIFICACIÓN SEGÚN PRESIONES DE TRABAJO

El sector de alta presión del sistema CRDi se encuentra dividido en tres sectores: generación, acumulación de presión y dosificación de combustible a los cilindros del motor (García del Río, 2017). Las características esenciales que permiten diferenciar las generaciones de los sistemas Common Rail consisten principalmente en la versión de la bomba de alta presión y de inyectores, como de las funciones fundamentales del sistema (Calle, 2014).

La clasificación de las bombas de alta presión según las características y presiones de trabajo se indica en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2. Clasificación de bombas de alta presión

Bomba de alta presión	Descripción	Presión de trabajo	Inyector	Generación del sistema
CP1	Regulación de presión con válvula reguladora de presión. Zona de alta presión.	1350 1450 bares	Inyector con válvula electromagnética	1° Generación-Turismos
CP2	Regulación de caudal con dos válvulas electromagnéticas. Zona de aspiración.	1400 bares	Inyector con válvula electromagnética	1° Generación-Vehículos industriales
CP3, CP1H	Regulación de caudal con unidad de dosificación. Zona de aspiración.	1600 bares	Inyector con válvula electromagnética	2° Generación-Turismos y vehículos industriales
CP3, CP1H	Regulación de caudal con unidad de dosificación. Zona de aspiración.	1800 bares	Inyector piezoeléctrico	3° Generación-Turismos
CP3, 3NH	Unidad de dosificación.	2000 bares	Inyector con válvula electromagnética	3° Generación-Vehículos industriales
CP4	Unidad de dosificación.	2500 bares	Válvula solenoide	4° Generación-Turismos

Fuente: (Bosch, 2010)

La diferencia fundamental entre cada tipo de bomba de alta presión consiste en la forma de generar la presión, su aplicación y valor máximo de presión para el funcionamiento del motor. De esta forma según González Calleja (2015a), se puede distinguir las siguientes formas de generar presión:

- Regulando el caudal de retorno, donde la presión en el riel es regulada con la finalidad de permitir un mayor o menor paso de combustible generado por la bomba de alta presión hacia el retorno, como es el caso de las bombas CP1.
- Regulando el caudal de entrada manteniendo el retorno fijo, lo que permite disminuir la potencia consumida por la bomba, debido a que se comprime únicamente la cantidad de combustible necesaria, como en las bombas CP3.
- Regulación en dos puntos, donde la presión del combustible se controla por la válvula reguladora de presión instalada en el rail común o en la bomba, permitiendo obtener un control de presión con mayor exactitud.

A continuación, en la Figura 1.10, se indica las gráficas de los diferentes tipos de bombas de alta presión.



Figura 1.10 Tipos de bombas de alta presión
Fuente: (Bosch, 2010)

CAPÍTULO II

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El presente trabajo tiene como objetivo diagnosticar el estado de bombas de inyección de alta presión en motores diésel CRDi, mediante la realización de un estudio de presiones a diferentes revoluciones con la finalidad de obtener los rangos de presiones idóneos de bombas de inyección de alta presión CRDi para su correcto funcionamiento en los vehículos que disponen de este tipo de sistema de inyección.

Para la investigación se utilizó el método de medición y análisis de datos. Con el método práctico de medición de datos se obtuvo los valores de voltaje y corriente de la DRV a diferentes presiones en el riel de inyectores a diferentes RPM de funcionamiento; y con el método de análisis de datos se determinó el estado de los diferentes componentes de la bomba de alta presión en prueba sobre el banco de calibración.

2.2 MATERIALES

Los equipos y accesorios utilizados para el diagnóstico de bombas de alta presión se detallan en la Tabla 2.1, mismos que permitieron obtener los valores de presiones de las bombas a prueba y de esta forma determinar el estado de funcionamiento de las mismas.

Tabla 2.1. Equipos y accesorios de diagnóstico de bombas de alta presión

Equipos	Cantidad
Bomba de inyección de alta presión BOSCH CR/CP1H3/R85/10-789S	1
Riel de combustible Denso 03J3909S	1
Base para riel del inyector	1
Válvula DRV - CRDi	1
Manómetro Italiano de 2000 bar NUOVA FIMA	1
Manómetro Italiano de 20 bar NUOVA FIMA	1
Cañerías de alta presión 12mm	3
Cañerías de alta presión 14mm	2
Colector de toberas NICE 7mm	1
Colector de toberas NICE 9mm	1
Soporte de sujeción para 1 inyector	1
Kit para probar presión de transferencia Denso	1
Kit para probar presión de transferencia Bosch	1
Fuente de voltaje variable WANPTEK KBS3010DF de 0-30V y 0-10A	1
Válvula SCV BOSCH	1

Lo detallado anteriormente es instalado de forma adecuada sobre el banco de calibración de bombas de inyección diésel de tal forma que permita obtener los valores de presiones para un correcto diagnóstico de las bombas de alta presión. En la Figura 2.1 se indica el equipo completo utilizado para la presente investigación.

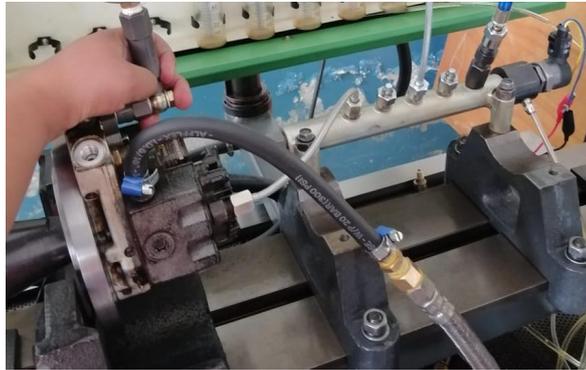


Figura 2.1 Equipo de diagnóstico de bombas de alta presión

A continuación, se presenta una descripción de los equipos y accesorios de mayor importancia y sus principales características.

2.2.1 BOMBA DE INYECCIÓN DE ALTA PRESIÓN

La bomba de alta presión es el principal componente del sistema de alimentación de combustible que se encarga de comprimir el combustible que llega desde el tanque y suministrarlo en la cantidad necesaria al acumulador de alta presión, gracias al cual se distribuye a los diferentes inyectores del motor CRDi. Para el desarrollo del presente proyecto se realiza pruebas iniciales sobre una bomba de alta presión CP1 que se encuentra en buenas condiciones de funcionamiento, con la finalidad de obtener parámetros ideales de operación y así comparar con diferentes bombas de inyección. En la Figura 2.2 se indica la bomba de alta presión para las pruebas iniciales.



Figura 2.2 Bomba de alta presión

Además, se registran valores con dos bombas de inyección del mismo tipo que se encuentran

en malas condiciones de funcionamiento. Estas bombas estarán referenciadas como CP1-F1 (Presión de transferencia de 3 bares) y CP2-F2 (Presión de transferencia de 2 bares).

2.2.2 FUENTE DE VOLTAJE VARIABLE

La fuente de voltaje variable WANPTEK KBS3010DF es un equipo de alimentación regulada de conmutación ajustable, a través del cual se controla el voltaje y amperaje de salida hacia la válvula reguladora de presión y de esta manera regular la presión de combustible en el interior del riel común. En la Figura 2.3 se muestra la fuente de voltaje utilizada en el estudio realizado.



Figura 2.3 Fuente de voltaje variable

Este equipo está diseñado para investigaciones, laboratorios, desarrollo de productos y líneas de producción, donde la tensión y corriente de salida son ajustables continuamente a un valor nominal, de una forma precisa, confiable y perfecta. En la Tabla 2.2 se indica las características técnicas del regulador de voltaje variable.

Tabla 2.2. Características fuente de voltaje variable

Características de la fuente de voltaje	
Voltaje de salida	0 - 30 V DC
Corriente de salida	0 - 10 A
Eficiencia general	$\geq 89\%$
Resolución de pantalla	Voltaje: 0.1 V Corriente: 0.01 A
Regulación de voltaje	CV 0.01 % + 3mV CC $<0.2\%$ + 6mA
Estabilización de carga	CV 0.1 % + 1mV CC 0.1 % + 3mA
Dimensiones	8.8 x 3.2 x 6.5 pulg
Peso unitario	3.2 Libras

2.2.3 VÁLVULA DRV

La válvula reguladora de presión (DRV) está compuesto por un cuerpo metálico y en su interior un inducido que al recibir corriente permite o impide el paso de combustible manteniendo la presión adecuada según las exigencias del motor. Se encuentra instalada en el riel común como se indica en la Figura 2.4.



Figura 2.4 Válvula reguladora de presión DRV

La DRV trabaja como una válvula limitadora de presión, que se abre cuando la presión vence la fuerza de un muelle que se encuentra en su interior. La fuerza del muelle varía por una intensidad de corriente variable que se aplica a su bobinado, lo que permite modificar la fuerza del campo magnético que se suma a la fuerza del muelle. Las características de la válvula limitadora de presión se indican en la Tabla 2.2.

Tabla 2.3. Características válvula DRV

Características de la válvula DRV	
Marca	Bosch
Presión de Trabajo	2500 bar
Número de pieza	057130764AB
OEM	0281006075
Origen	Alemania
Material	Aluminio
Tipo de inyección	Common Rail
Peso	320 gr
Número de pines	2

2.2.4 MANÓMETROS

Los manómetros instalados en el equipo permiten obtener el valor de presión que se generan por la bomba de inyección a diferente régimen de giro. Para ello se dispone de un manómetro de 20 bar NUOVA FIMA instalado en la entrada de combustible hacia la bomba de alta presión a través del cual se evalúa el valor de presión de succión de la bomba de transferencia. En la Figura 2.5 se presenta el manómetro utilizado para la zona de baja

presión.



Figura 2.5 Manómetro de baja presión

Además, se dispone de un manómetro de 2000 bar NUOVA FIMA que tiene la finalidad de informar el valor de alta presión generada por la bomba de inyección. Este manómetro se encuentra instalado en el cuerpo del riel común, tal como se muestra en la Figura 2.6.



Figura 2.6 Manómetro de alta presión

2.2.5 RIEL DE COMBUSTIBLE

El riel de combustible es un acumulador de presión que se encuentra situado luego de la bomba de alta presión y que tiene la finalidad de distribuir el combustible a cada uno de los inyectores del cilindro. El riel de combustible Denso 03J3909S que se encuentra incorporado en el equipo de diagnóstico almacena la presión que se encuentra en un rango de 25 a 180 MPa. En la Figura 2.7 se indica el riel o acumulador de presión.



Figura 2.7 Acumulador de alta presión

El conjunto del riel de combustible está constituido de los siguientes componentes:

- Válvula limitadora de presión.
- Adaptadores de entrada y salida de combustible.
- Cuerpo del riel común.

2.2.6 CAÑERÍAS DE ALTA PRESIÓN

Las cañerías de alta presión son las encargadas de conectar el riel común con cada uno de los inyectores y de esta forma suministrar el combustible a los cilindros del motor. Estas cañerías están diseñadas para soportar las altas presiones a las que se trabaja en un sistema CRDi y normalmente poseen un diámetro externo de 6mm y un diámetro interno de 2.4mm.

En la Figura 2.8 se indica las cañerías de 12mm y 14mm que conectan el riel común con los inyectores y la bomba de alta presión.



Figura 2.8 Cañerías de alta presión

2.3 MÉTODO

En el presente proyecto se realizará un diagnóstico de bombas de inyección de alta presión en motores diésel CRDi a través del análisis de presiones a diferentes revoluciones, con la finalidad de obtener los rangos óptimos de presiones que permitan evaluar el estado de funcionamiento de las bombas de inyección.

Para ello se realizan pruebas de funcionamiento y presiones de una bomba de inyección nueva y en buen estado, para de esta forma obtener los parámetros adecuados de presiones que sirvan de referencia para evaluar diferentes bombas de sistemas CRDi en diferentes condiciones de operación. El desarrollo de las pruebas se realizará mediante un equipo de diagnóstico de bombas instalado en un banco de calibración de bombas de inyección, el cual tiene como función proporcionar los valores específicos de presiones antes y después de la bomba a evaluar.

En las diferentes pruebas realizadas se aplicará todas las medidas de seguridad adecuadas con la finalidad de evitar cualquier tipo de accidente, debido a que en este tipo de bombas se trabaja con altas presiones de fluidos y con ciertos componentes del banco de calibración en movimiento.

2.3.1 MONTAJE EN EL BANCO

Los equipos para las pruebas y diagnóstico de las bombas de alta presión son instalados de manera adecuada en el banco de calibración de bombas de inyección, de tal forma que permita obtener los valores de presiones a diferentes revoluciones de funcionamiento. La instalación se realiza con la respectiva seguridad y el ajuste apropiado de todos sus elementos para llevar a cabo todas las pruebas necesarias. A continuación, se muestra en la Figura 2.9 los componentes que se instalarán en el banco de pruebas.



Figura 2.9 Componentes del banco de pruebas de bombas de alta presión

La instalación de los diferentes componentes se realiza siguiendo un orden y proceso adecuado como se muestra en el flujograma de la Figura 2.10.

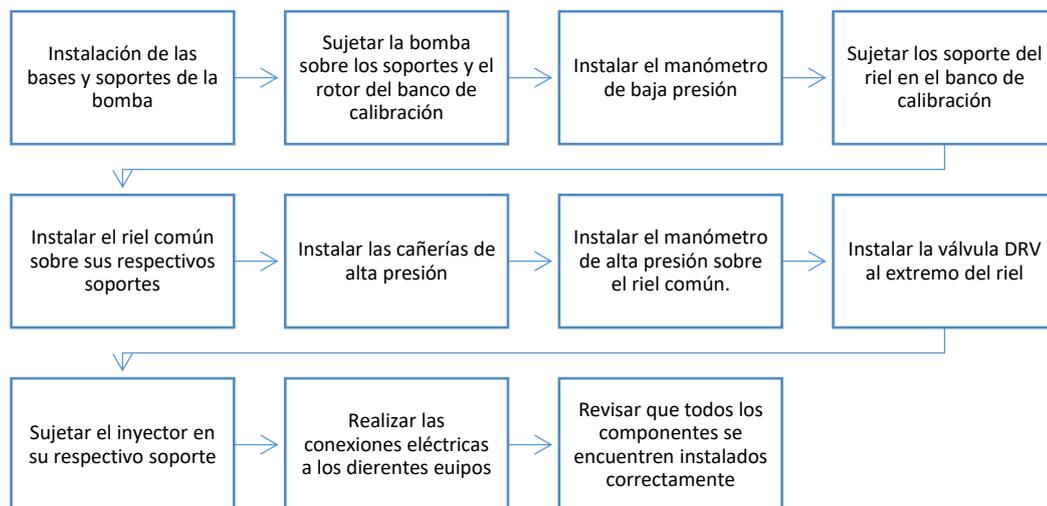


Figura 2.10 Orden de instalación del banco de pruebas

Los componentes indicados en la Figura 2.9 se instalan siguiendo un orden adecuado y con las medidas de seguridad correspondientes con la finalidad de evitar accidentes durante el desarrollo de las diferentes pruebas. Para ello inicialmente se instalan los respectivos soportes y bases de la bomba de alta presión como se indica en la Figura 2.11, para luego instalar adecuadamente la bomba de prueba respectiva.

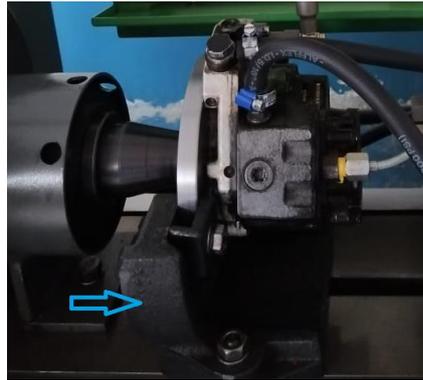


Figura 2.11 Componentes del banco de pruebas de bombas de alta presión

Seguidamente se instala el manómetro de baja presión sobre la bomba CRDi, mismo que permitirá conocer el valor de succión de la bomba de transferencia y de esta manera conocer su estado de funcionamiento. Este componente se instala como se indica en la Figura 2.12.

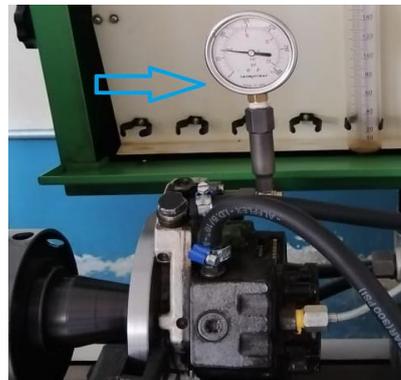


Figura 2.12 Instalación manómetro de baja presión

Una vez instalado la bomba de alta presión con sus respectivos soportes y manómetro, se procede a sujetar el riel común sobre sus respectivas bases, mismas que son instalados sobre el banco de calibración para finalmente conectar las cañerías de alta y baja presión, como se muestra en la Figura 2.13.



Figura 2.13 Instalación de riel común y cañerías de combustible

Sobre el riel común se procede a colocar el manómetro de alta para conocer el valor de presión que envía la bomba CRDi, además se instala la válvula DRV que permitirá modificar la presión dentro del riel a través de la fuente de voltaje variable. En la Figura 2.14 se indica la forma de los componentes detallados.

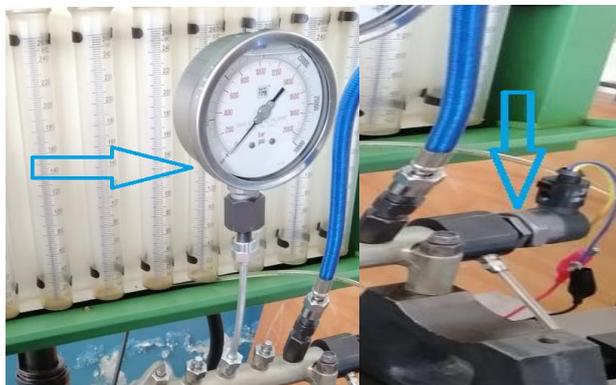


Figura 2.14 Instalación de riel común y cañerías de combustible

Una vez instalado todos los componentes, se procede a realizar las conexiones eléctricas con los equipos de control hacia la válvula DRV. Estos equipos permitirán controlar el voltaje y amperaje de la válvula reguladora de presión. Las conexiones eléctricas se realizan como se muestra en la Figura 2.15.



Figura 2.15 Conexión eléctrica válvula DRV

Finalmente se instala el inyector en su respectivo soporte y con la conexión eléctrica hacia el equipo simulador de pulsos para sistemas CRDi, como se indica en la Figura 2.16.



Figura 2.16 Conexión eléctrica válvula DRV

En la Figura 2.17 se indica el equipo de diagnóstico completamente instalado en el banco de calibración y listo para realizar las pruebas necesarias para un diagnóstico adecuado de las bombas de inyección de sistemas CRDi.



Figura 2.17 Instalación completa del equipo

2.3.2 CONDICIONES DE PRUEBA

El equipo de pruebas de bombas de inyección de alta presión se instala en el banco de calibración, el cual trabaja con líquido viscor 147 Aw/2 ideal para el ajuste de bombas de inyección. Este líquido es controlado con una viscosidad y gravedad específica necesarios para garantizar el ajuste preciso de bombas e inyectores de combustible para motores diésel.

Tiene incorporado inhibidores para proteger todos los materiales que normalmente se encuentran en un sistema de combustible contra la corrosión, para minimizar la espuma y proteger el sistema contra la formación de depósitos. A continuación, en la Tabla 2.4 se presenta las características del líquido viscor.

Tabla 2.4. Características líquido viscor 1487 Aw/2

Características	Unidad	Valor	Método
Color		2 max.	ASTM D1500
Clasificación ISO		4113	
Viscosidad Cinemática a 40°C	mm ² /s	2.45-2.75	IP71
Punto de inflamación	°C	75 min.	IP34
Gravedad específica a 15.6°C		0.820-0.830	IP160
Estabilidad a la formación de espuma	ml	50/0	ASTM D892

Además, las pruebas de las bombas de inyección se realizan a diferente régimen de giro, lo que permitirá diagnosticar el estado de las bombas a diferentes presiones de funcionamiento en la bomba de transferencia y en el riel común. En la Tabla 2.5 se muestra las condiciones

de prueba según RPM y alta presión.

Tabla 2.5. Condiciones de RPM y alta presión

Régimen	RPM	Presión en el riel
Bajo	300	100 a 700 bar
	400	100 a 700 bar
Alto	500	100 a 700 bar
	600	100 a 700 bar

En cada una de las pruebas se registra el valor de voltaje y corriente aplicados a la válvula reguladora de presión DRV, presión de baja en la entrada de la bomba. Estas características permitirán realizar un correcto diagnóstico de las bombas de alta presión.

2.4 PRUEBAS DE LA BOMBA CP1 EN BUEN ESTADO

Para el desarrollo de las pruebas en las bombas de alta presión se realizan siguiendo un procedimiento para registrar todos los parámetros necesarios y realizar un diagnóstico completo del estado de funcionamiento de las bombas CRDi. Antes de iniciar el funcionamiento del banco y de la bomba de alta presión se desarrolla el procedimiento que se indica en la Figura 2.18 para preparación del banco.

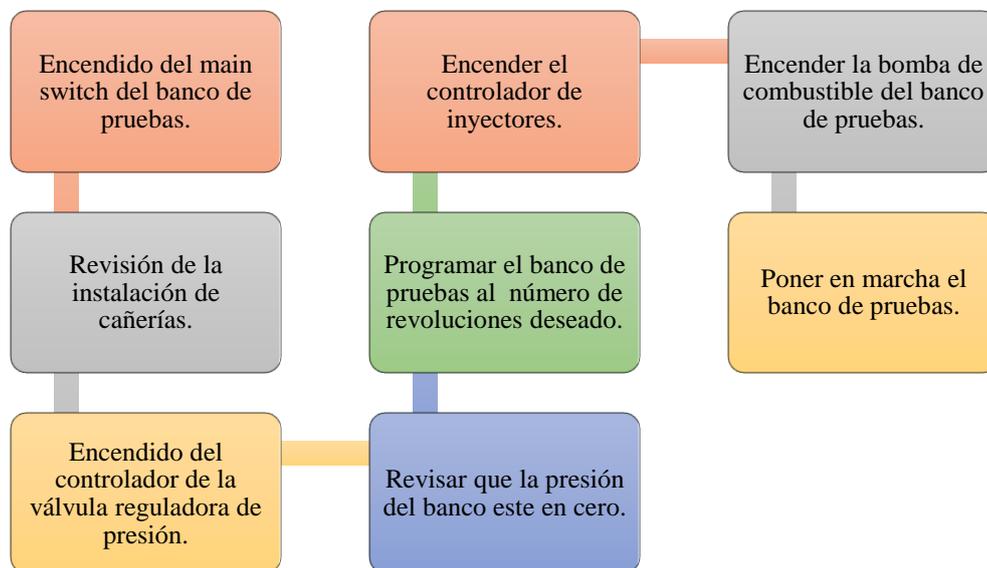


Figura 2.18 Procedimiento de preparación del banco de pruebas

Una vez encendido el banco de pruebas es necesario revisar que todos los soportes y cañerías se encuentren fijas, para seguidamente encender los equipos controladores de la válvula reguladora de presión y de los inyectores que se indican en la Figura 2.19.



Figura 2.19 Equipos controladores de inyectores y válvula DRV

Para el desarrollo de las distintas pruebas se programa el número de revoluciones que se establecen en las condiciones de prueba (300-600 RPM), en el módulo de control del banco de calibración de la Figura 2.20 y así realizar un análisis adecuado. Una vez registrados los valores de RPM se procede a revisar la presión del banco y encender la bomba de combustible para el paso del líquido viscoso hacia las cañerías de entrada a la bomba CRDi.



Figura 2.20 Módulo de control del banco de pruebas

Finalmente se inicia el funcionamiento del banco de pruebas como se indica en la Figura 2.21 y con el giro apropiado de la bomba de inyección, luego se enciende el equipo controlador de inyectores con el modelo seleccionado para las distintas pruebas.

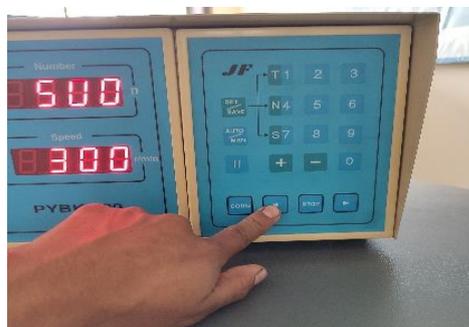


Figura 2.21 Inicio de giro de la bomba de inyección.

Durante el funcionamiento de la bomba se regula el voltaje del equipo controlador de la válvula reguladora de presión, y de esta manera se modifica la presión de combustible dentro del riel común. Este equipo permite analizar el funcionamiento de la bomba de inyección a diferentes RPM y presiones.

Con los equipos y bomba funcionando se registran los valores necesarios para el diagnóstico de las bombas en prueba.

2.4.1 REGISTRO DE VALORES A 300 RPM CP1

Una vez definidos las condiciones de prueba y realizado el procedimiento descrito anteriormente, se procede a registrar los valores obtenidos de la bomba de inyección CRDi en buen estado. Estos valores permitirán realizar una comparación y análisis de bombas de inyección usadas.

A continuación, se indica en la Tabla 2.6 los resultados de voltaje y corriente aplicado a la válvula reguladora de presión (DRV) con la finalidad de mantener la presión establecida en las condiciones de prueba (100-700 bar).

Tabla 2.6. Registro de valores a 300 RPM CP1

Registro de valores a 300 RPM CP1			
Presión bomba de transferencia (bar)	Presión del riel (bar)	Corriente (A)	Voltaje (V)
5	50	0	0
	100	0,245	0,96
	200	0,358	1,42
	300	0,448	1,78
	400	0,52	2,07
	500	0,567	2,25
	600	0,61	2,46
	700	0,658	2,8

Las pruebas se realizan con una presión de 5 bares en la bomba de transferencia desde los 100 a los 700 bares de alta presión en el riel común, además, se mantiene una presión del banco de pruebas de 0 bares. De los valores obtenidos se observa que existe una tendencia a aumentar el voltaje de 0V a 2,8V, a medida que la alta presión llega a los 700 bares en el riel, como se indica en la Figura 2.22.

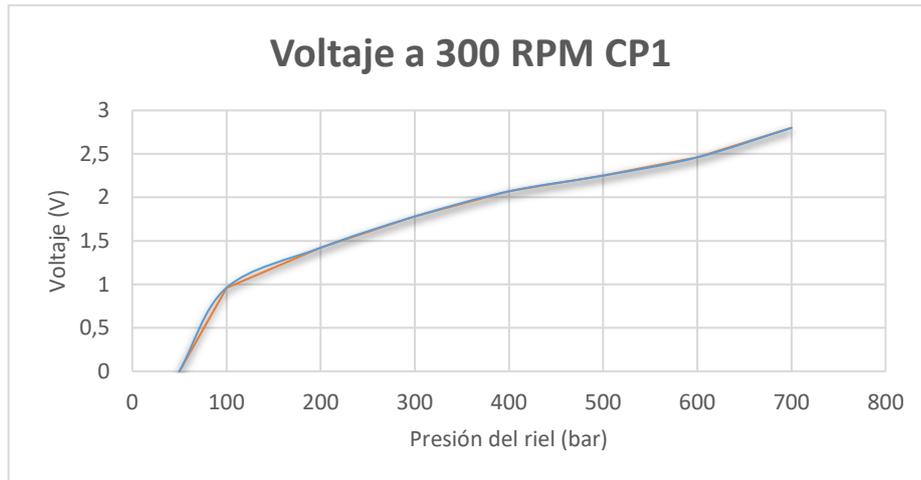


Figura 2.22 Variación de voltaje a 300 RPM CP1.

En la Figura 2.23, se indica los resultados de corriente aplicados a la DRV durante las pruebas realizadas, donde se observa que a medida que la corriente aumenta de 0 a 0.658A a medida que la presión en el riel asciende de 50 a 700 bares.

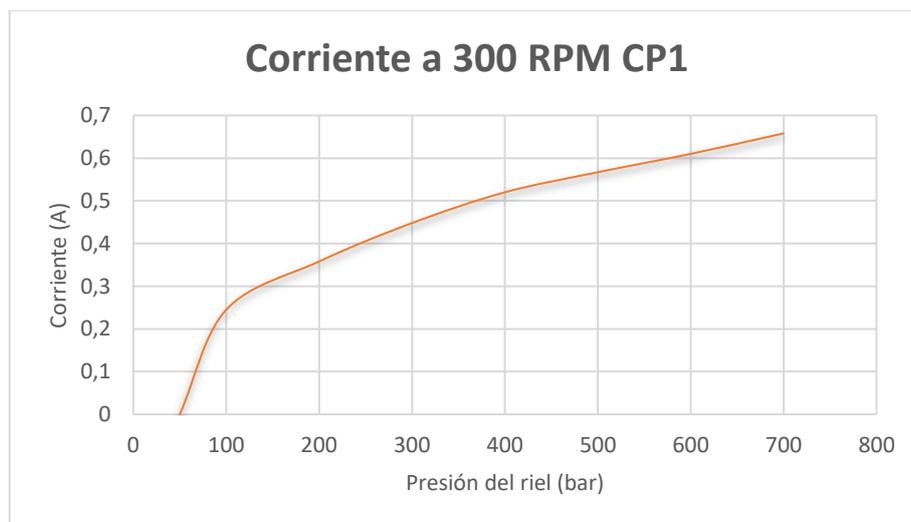


Figura 2.23 Variación de corriente a 300 RPM CP1.

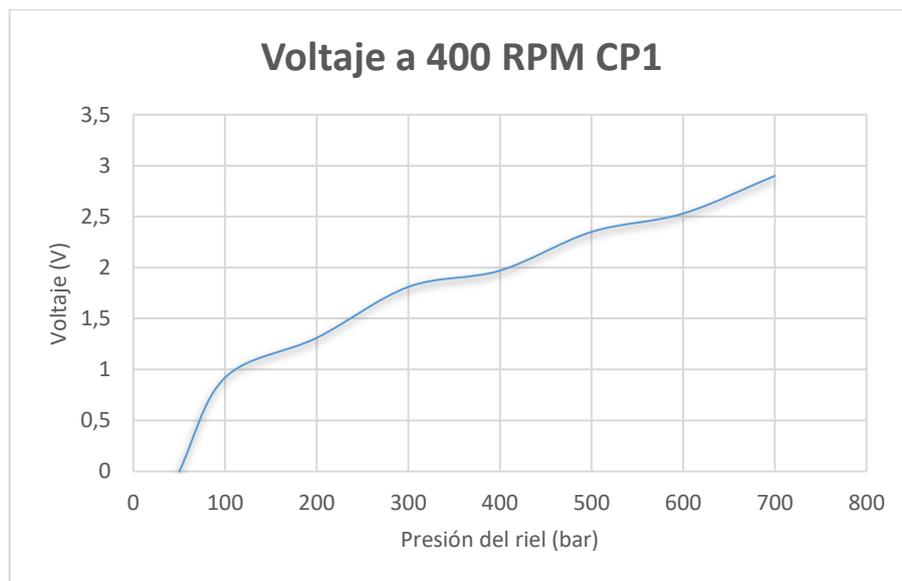
2.4.2 REGISTRO DE VALORES A 400 RPM CP1

Las pruebas a 400 RPM se realizan con una presión de 6 bares en la bomba de transferencia y se mantiene una presión del banco de pruebas de 0 bares. En la Tabla 2.7 se indica los resultados de voltaje y corriente aplicado a la válvula reguladora de presión (DRV), además de la temperatura del líquido viscoso.

Tabla 2.7. Registro de valores a 400 RPM CP1

Registro de valores a 400 RPM CP1			
Presión bomba de transferencia (bar)	Presión del riel (bar)	Corriente (A)	Voltaje (V)
6	50	0	0
	100	0,23	0,92
	200	0,321	1,31
	300	0,445	1,81
	400	0,484	1,97
	500	0,571	2,35
	600	0,618	2,53
	700	0,697	2,9

Se puede observar en la Figura 2.24 que los valores de voltaje aumentan de 0V a 2,9V a medida que la presión en el riel incrementa de 50 a los 700 bares, con un régimen de giro de la bomba de 400 RPM.

**Figura 2.24** Variación de voltaje a 400 RPM CP1.

De igual manera en la Figura 2.25 se observa que la corriente aplicada a la válvula reguladora de presión incrementa su valor de 0A a 0.697A a medida que la presión en el riel asciende de 50 a 700 bares.

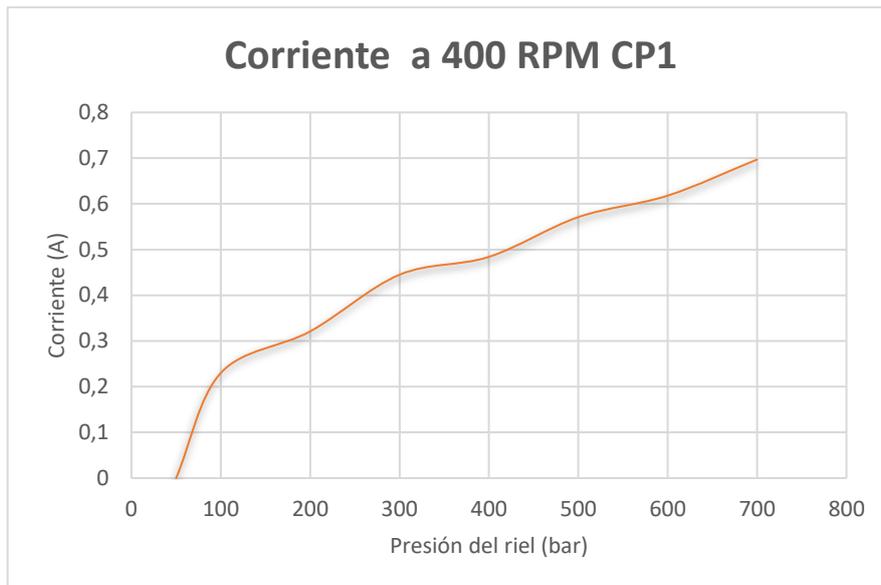


Figura 2.25 Variación de corriente a 400 RPM CP1.

2.4.3 REGISTRO DE VALORES A 500 RPM CP1

Al igual que en las pruebas anteriores, a 500 RPM se realizan con una presión de la bomba de transferencia de 6 bares y o bares de presión del banco de pruebas. Los valores obtenidos en todas las variables son registrados en la Tabla 2.8.

Tabla 2.8. Registro de valores a 500 RPM CP1

Registro de valores a 500 RPM CP1			
Presión bomba de transferencia (bar)	Presión del riel (bar)	Corriente (A)	Voltaje (V)
6	50	0	0
	100	0,247	1,03
	200	0,324	1,35
	300	0,418	1,73
	400	0,49	2,04
	500	0,533	2,21
	600	0,57	2,42
	700	0,634	2,68

En la Figura 2.26, se indica los resultados de corriente aplicados a la válvula reguladora de presión, donde se observa que el valor de voltaje aumenta de 0V a 2,68V a medida que la presión en el riel asciende de 50 a 700 bares.

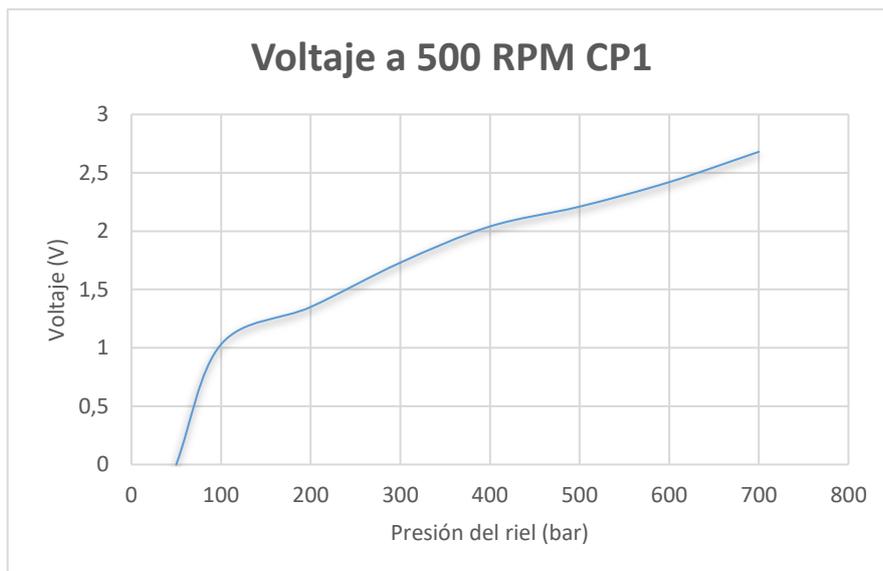


Figura 2.26 Variación de voltaje a 500 RPM CP1.

De los valores obtenidos se observa que existe una tendencia a aumentar la corriente de 0A a 0,634A, a medida que la alta presión llega a los 700 bares en el riel, como se indica en la Figura 2.27.

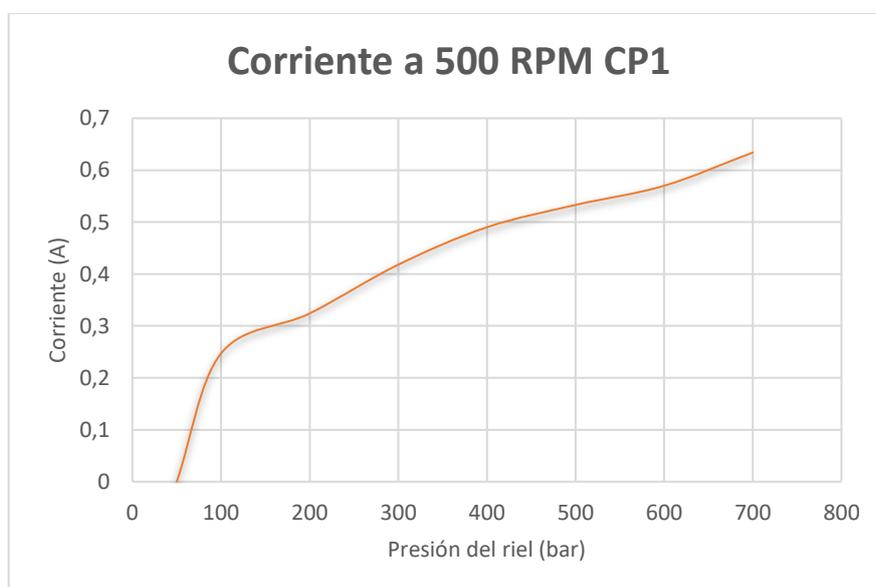


Figura 2.27 Variación de corriente a 500 RPM CP1.

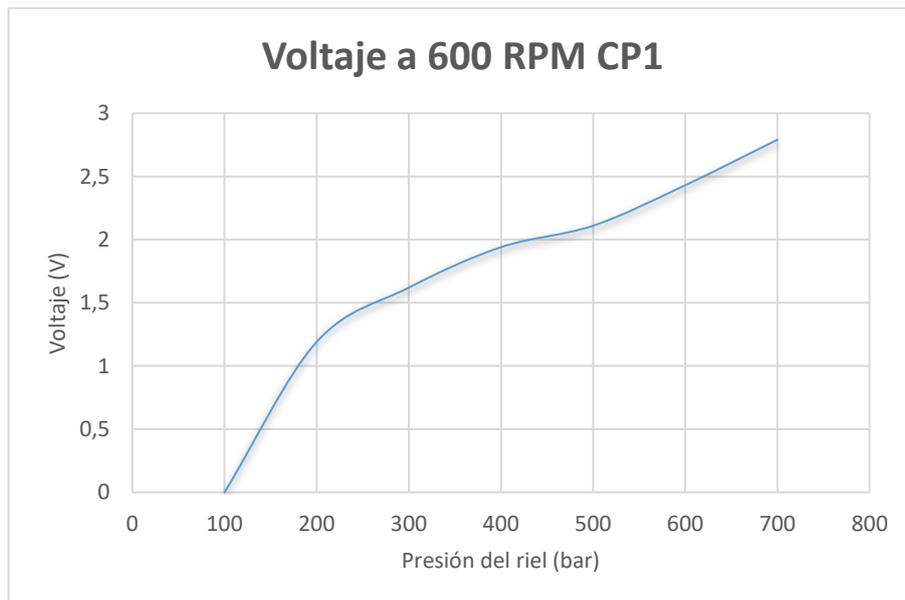
2.4.4 REGISTRO DE VALORES A 600 RPM CP1

En la Tabla 2.9 se indica los resultados de voltaje y corriente aplicado a la válvula reguladora de presión (DRV) a 600 RPM, con una presión de entrada a la bomba de 6 bares.

Tabla 2.9. Registro de valores a 600 RPM CP1

Registro de valores a 600 RPM CP1			
Presión bomba de transferencia (bar)	Presión del riel (bar)	Corriente (A)	Voltaje (V)
6	100	0	0
	200	0,282	1,19
	300	0,384	1,62
	400	0,46	1,94
	500	0,502	2,11
	600	0,572	2,43
	700	0,653	2,79

Se puede observar en la Figura 2.28 que los valores de voltaje aumentan de 0V a 2,79V a medida que la presión en el riel incrementa de 100 a los 700 bares, con un régimen de giro de la bomba de 600 RPM.

**Figura 2.28** Variación de voltaje a 600 RPM CP1.

En lo que se refiere a la corriente de la válvula reguladora de presión se observa que su valor incrementa de 0A a 0.653A a medida que la presión en el riel asciende de 100 a 700 bares, como se indica en la Figura 2.29.

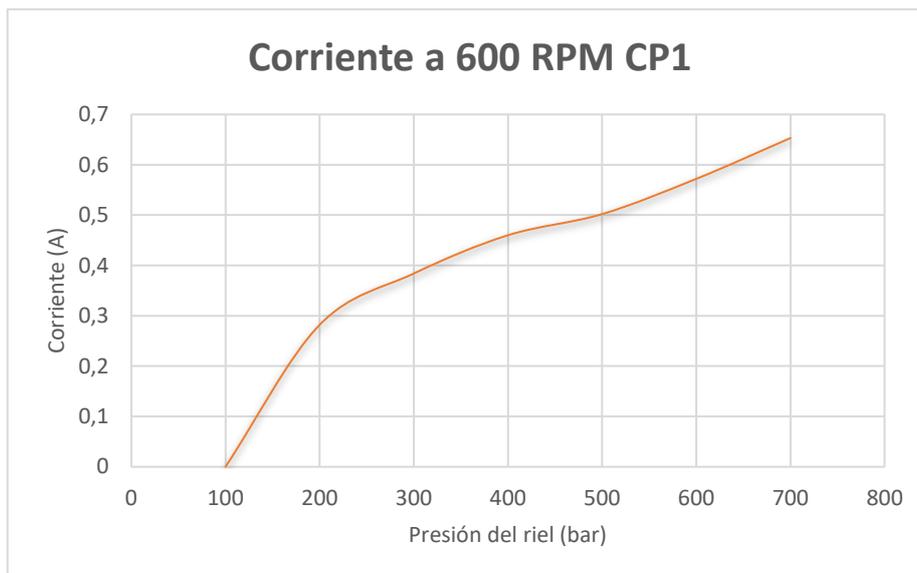


Figura 2.29 Variación de corriente a 600 RPM CP1.

Los valores obtenidos en las pruebas de la bomba de inyección CRDi en buen estado, permitirán realizar un diagnóstico a diferentes tipos de bombas y así determinar su estado de funcionamiento.

2.4.5 PRESIÓN DE LA BOMBA DE TRANSFERENCIA CP1

En la Tabla 2.10 se indica el valor de la presión de entrada de combustible a la bomba de inyección CRDi. Los valores son registrados de acuerdo a las revoluciones que gira la bomba y que permitirá diagnosticar el estado de la bomba de transferencia.

Tabla 2.10. Presión bomba de transferencia CP1

Presión bomba de transferencia CP1-1	
RPM	Presión (bar)
300	5
400	6
500	6
600	6

En la Figura 2.30 se puede observar que la presión de entrada a la bomba inicia en 5 bares, siendo un valor aceptable para el funcionamiento de la bomba de alta presión. Además, este valor de presión tiende a aumentar a los 6 bares al incrementar el giro de la bomba a las 400 RPM y se mantiene en este valor hasta las máximas revoluciones de 600 RPM.

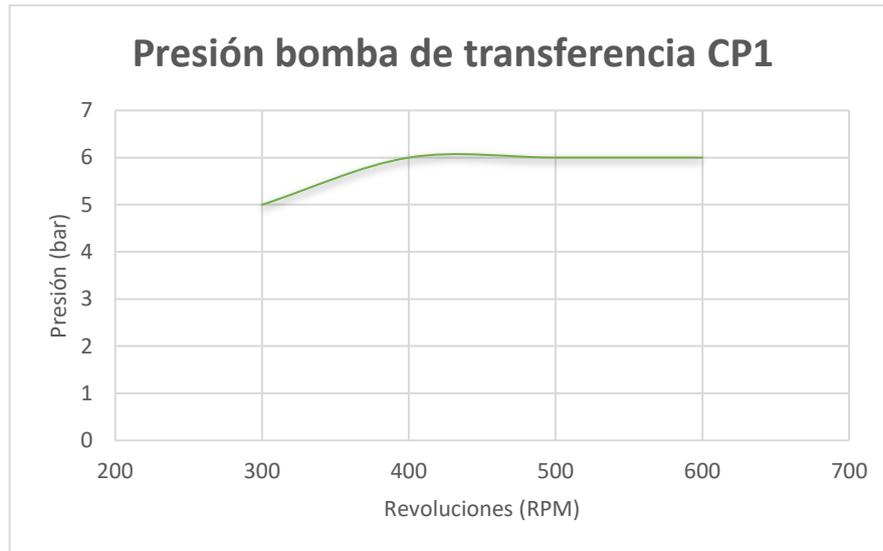


Figura 2.30 Variación de voltaje a 600 RPM CP1.

2.5 PRUEBAS DE LA BOMBA CP1 - FALLA 1

A continuación, se indica los resultados obtenidos con una bomba de inyección CRDi tipo CP1 que se encuentra con un mal funcionamiento en la presión de entrada a la bomba de transferencia. Estos datos permitirán realizar un diagnóstico de su funcionamiento y verificar la manera de cómo puede afectar en la aplicación de voltaje y corriente hacia la válvula DRV, que es la encargada de mantener constante la alta presión en el riel común.

2.5.1 REGISTRO DE VALORES A 300 RPM CP1-F1

En la Tabla 2.11 se muestra los resultados de voltaje y corriente aplicado a la válvula reguladora de presión (DRV) para mantener una presión de trabajo en el riel de 100 a 600 bares. Se puede observar que la presión en la bomba de transferencia es de 3 bares, siendo un valor bajo para este tipo de bombas de inyección.

Tabla 2.11. Registro de valores a 300 RPM CP1-F1

Registro de valores a 300 RPM CP1-F1			
Presión bomba de transferencia (bar)	Presión del riel (bar)	Corriente (A)	Voltaje (V)
3	100	0,255	1,04
	200	0,376	1,55
	300	0,472	1,92
	400	0,555	2,28
	500	0,608	2,48
	600	0,732	3,04

Las pruebas se realizan con una presión del banco de calibración de 42 PSI para todos los rangos de RPM establecidos. En la Figura 2.31 se indica la variación del voltaje aplicado a la válvula reguladora de presión, donde se observa que su valor varía de 1.04V a 3.04V, a medida que la alta presión llega a los 600 bares en el riel.

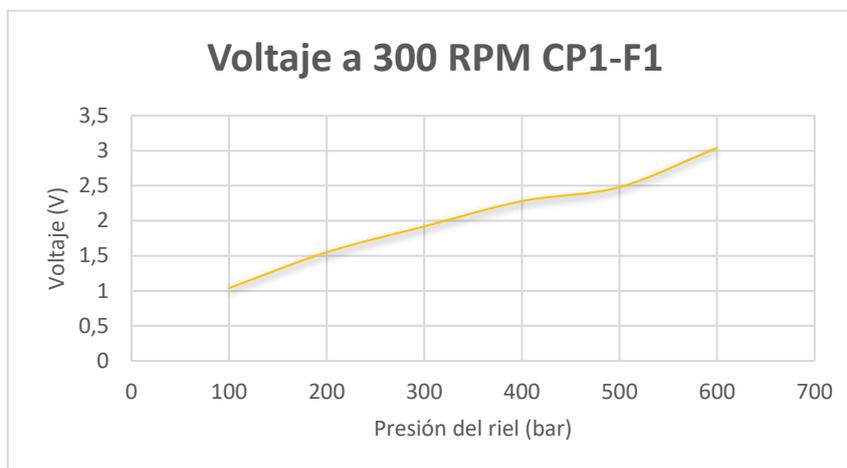


Figura 2.31 Variación de voltaje a 300 RPM CP1-F1.

En la Figura 2.32, se observa que la corriente aplicada a la DRV durante las pruebas realizadas, aumenta en su valor de 0.255A a 0.732A a medida que la presión en el riel asciende de 100 a 600 bares.

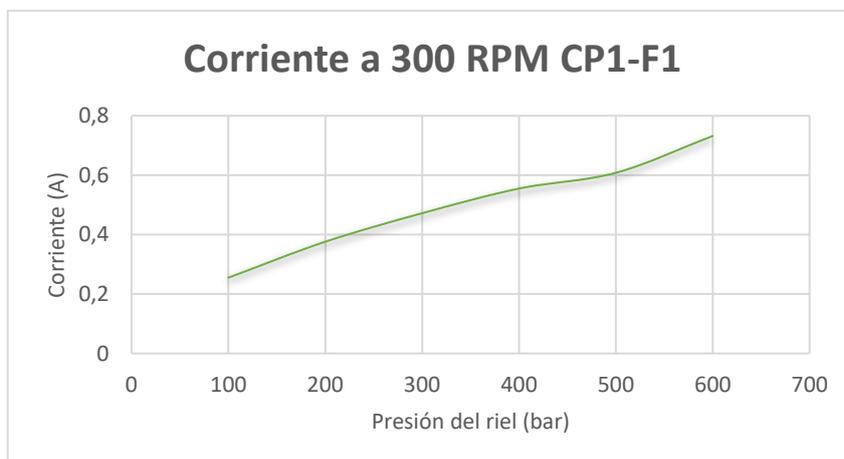


Figura 2.32 Variación de corriente a 300 RPM CP1-F1.

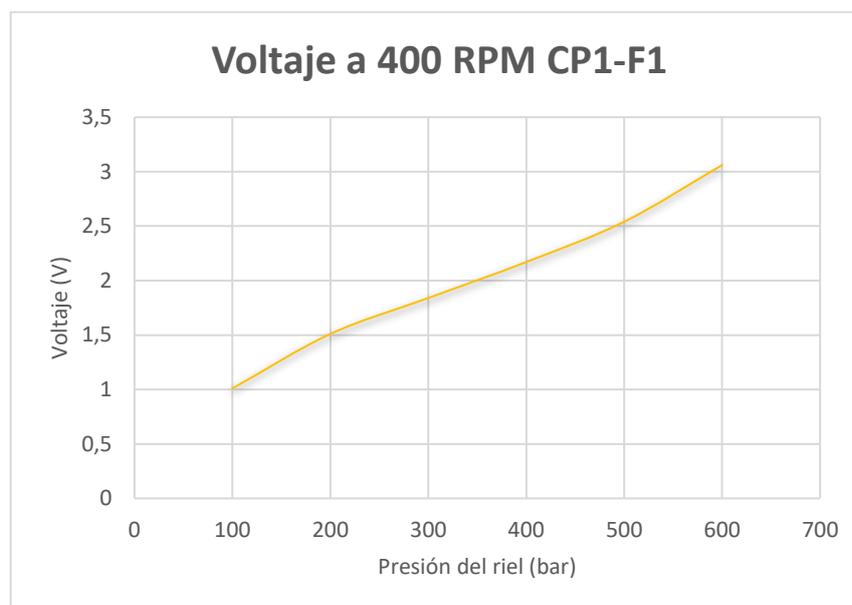
2.5.2 REGISTRO DE VALORES A 400 RPM CP1-F1

A 400 RPM con una presión de 3 bares en la bomba de transferencia y se mantiene una presión del banco de pruebas de 42 PSI. En la Tabla 2.12 se indica los resultados de voltaje y corriente aplicado a la válvula reguladora de presión (DRV).

Tabla 2.12. Registro de valores a 400 RPM CP1-F1

Registro de valores a 400 RPM CP1-F1			
Presión bomba de transferencia (bar)	Presión del riel (bar)	Corriente (A)	Voltaje (V)
3	100	0,245	1,01
	200	0,368	1,51
	300	0,448	1,84
	400	0,529	2,17
	500	0,617	2,54
	600	0,739	3,06

En la Figura 2.33 se muestra los resultados de voltaje, donde se obtiene una tendencia en aumentar su valor de 1.01V a 3.06V a medida que la presión en el riel incrementa de 100 a los 600 bares, con un régimen de giro de la bomba de 400 RPM.

**Figura 2.33** Variación de voltaje a 400 RPM CP1-F1.

En la Figura 2.34 se observa que la corriente aplicada a la válvula reguladora de presión incrementa su valor de 0.245A a 0.739A hasta que la presión en el riel asciende hasta los 600 bares.

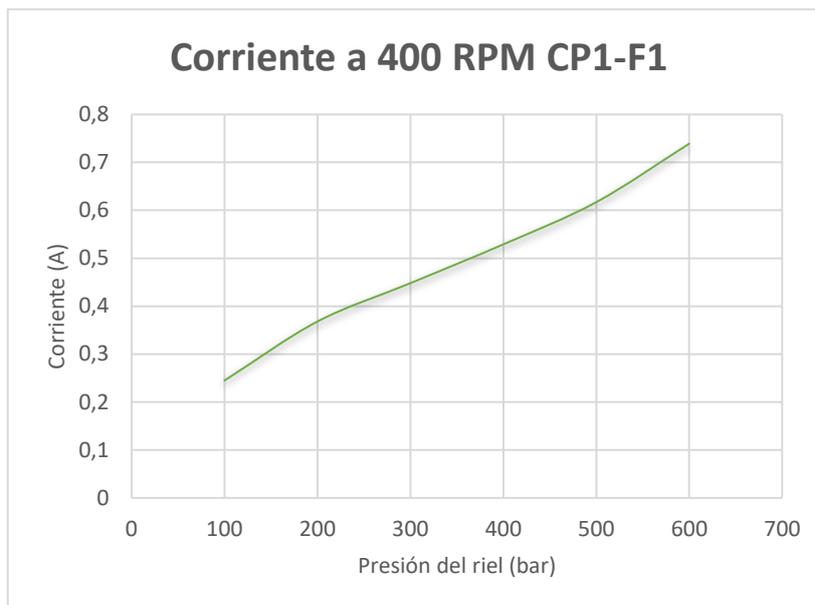


Figura 2.34 Variación de corriente a 400 RPM CP1-F1.

2.5.3 REGISTRO DE VALORES A 500 RPM CP1-F1

En la Tabla 2.13 se registran los valores obtenidos por la bomba de inyección CRDi girando a 500 RPM. Se presenta la información de corriente, voltaje y presión de la bomba de transferencia para su posterior análisis.

Tabla 2.13. Registro de valores a 500 RPM CP1-F1

Registro de valores a 500 RPM CP1-F1			
Presión bomba de transferencia (bar)	Presión del riel (bar)	Corriente (A)	Voltaje (V)
3	100	0,263	1,08
	200	0,367	1,52
	300	0,462	1,9
	400	0,538	2,21
	500	0,558	2,38
	600	0,696	2,7
	700	0,711	3,01

En la Figura 2.35, se indica los resultados de corriente aplicados a la válvula reguladora de presión, donde se observa que el valor de voltaje aumenta de 1.08V a 3.01V a cuando la presión asciende a los 700 bares en el riel.

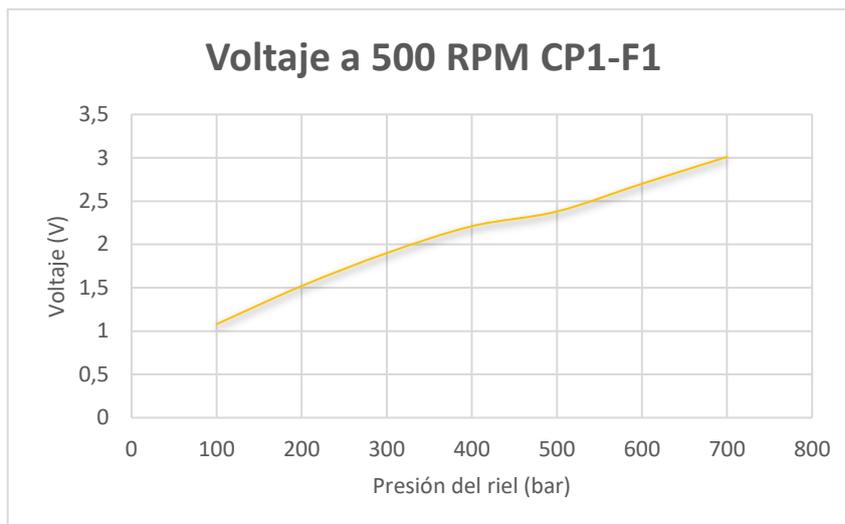


Figura 2.35 Variación de voltaje a 500 RPM CP1-F1.

De los valores obtenidos se observa que existe una tendencia a aumentar la corriente de 0.263A a 0.711A, a medida que la alta presión llega a los 700 bares en el riel, como se indica en la Figura 2.36.

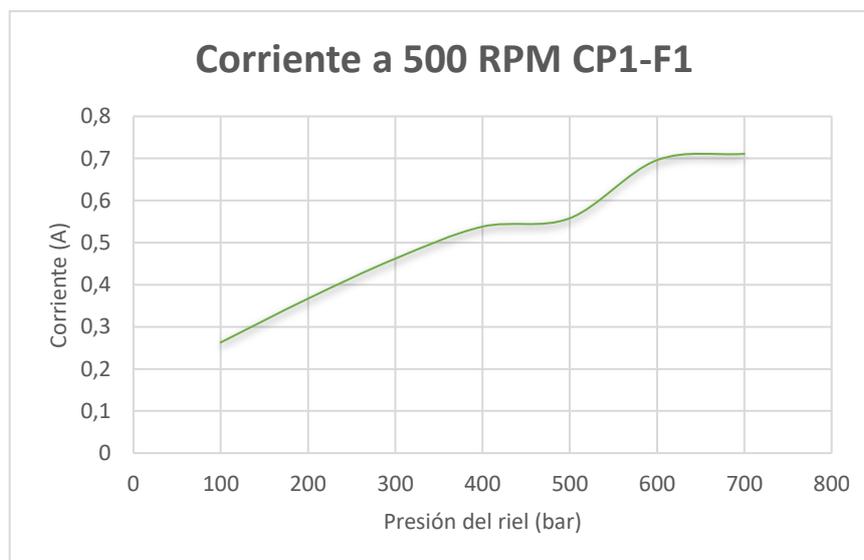


Figura 2.36 Variación de corriente a 500 RPM CP1-F1.

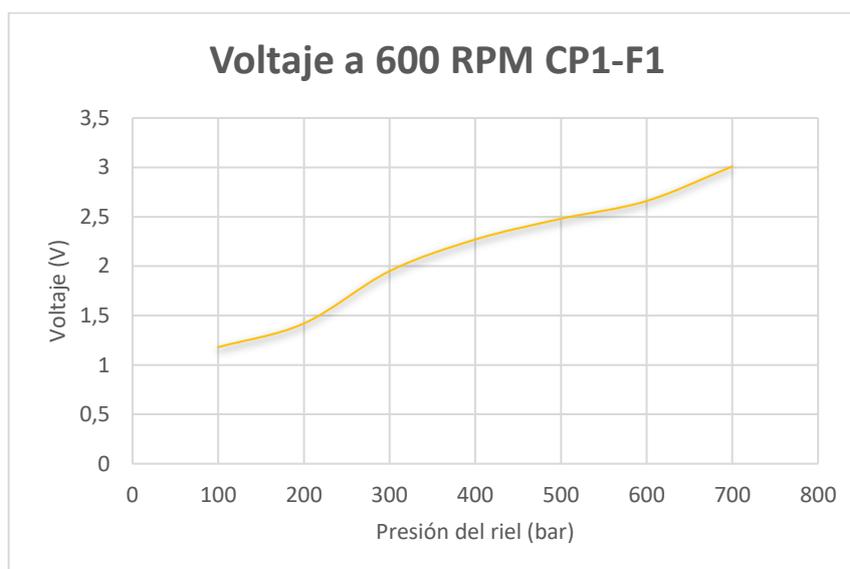
2.5.4 REGISTRO DE VALORES A 600 RPM CP1-F1

En la Tabla 2.14 se indica los resultados a 600 RPM de voltaje y corriente aplicado a la válvula reguladora de presión (DRV), con una presión de entrada a la bomba de 3 bares y de 42 PSI de la bomba del banco de calibración.

Tabla 2.14. Registro de valores a 600 RPM CP1-F1

Registro de valores a 600 RPM CP1-F1			
Presión bomba de transferencia (bar)	Presión del riel (bar)	Corriente (A)	Voltaje (V)
3	100	0,28	1,18
	200	0,342	1,42
	300	0,465	1,95
	400	0,545	2,27
	500	0,594	2,48
	600	0,634	2,66
	700	0,711	3,01

En la Figura 2.37 se observa que los valores de voltaje aumentan de 1.18V a 3.01V a medida que la presión en el riel incrementa de 100 a los 700 bares, con un régimen de giro de la bomba de 600 RPM.

**Figura 2.37** Variación de voltaje a 600 RPM CP1-F1.

En referencia a la corriente de la válvula reguladora de presión DRV se observa que su valor incrementa de 0.28A a 0.711A cuando la presión en el riel asciende hasta los 700 bares, como se indica en la Figura 2.38.

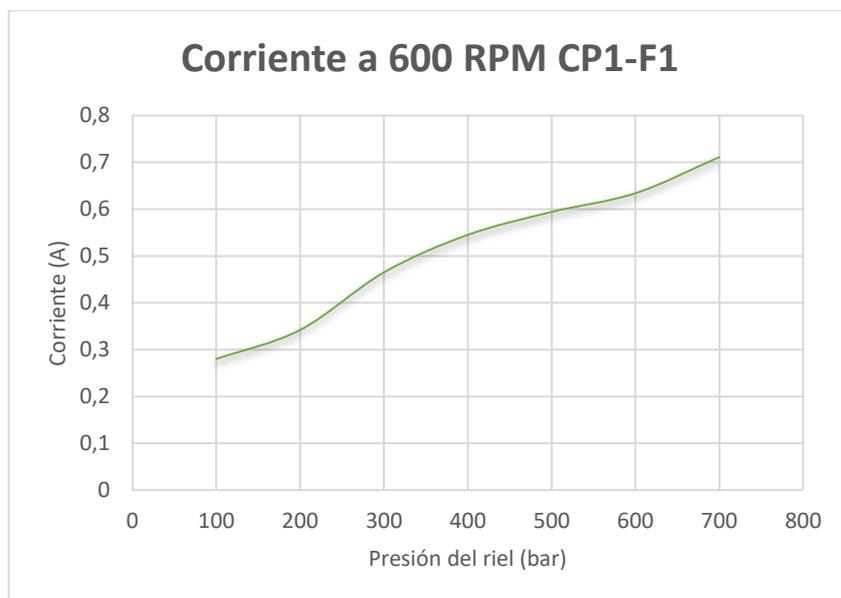


Figura 2.38 Variación de corriente a 600 RPM CP1-F1.

2.5.5 PRESIÓN DE LA BOMBA DE TRANSFERENCIA CP1-F1

En la Tabla 2.15 se indica el valor de la presión de la bomba de inyección CRDi y son registrados de acuerdo a las revoluciones que gira la bomba durante las pruebas realizadas en el banco de calibración.

Tabla 2.15. Presión bomba de transferencia CP1-F1

Presión bomba de transferencia CP1-F1	
RPM	Presión (bar)
300	3
400	3
500	3
600	3

En relación a la presión de la bomba de transferencia se observa que se mantiene a un valor constante de 3 bares desde los 300 RPM a los 600 RPM. Este valor es muy bajo en relación al establecido para el buen funcionamiento de la bomba de inyección lo que podría ocasionar un rendimiento ineficiente del vehículo en el que se encuentre instalada.

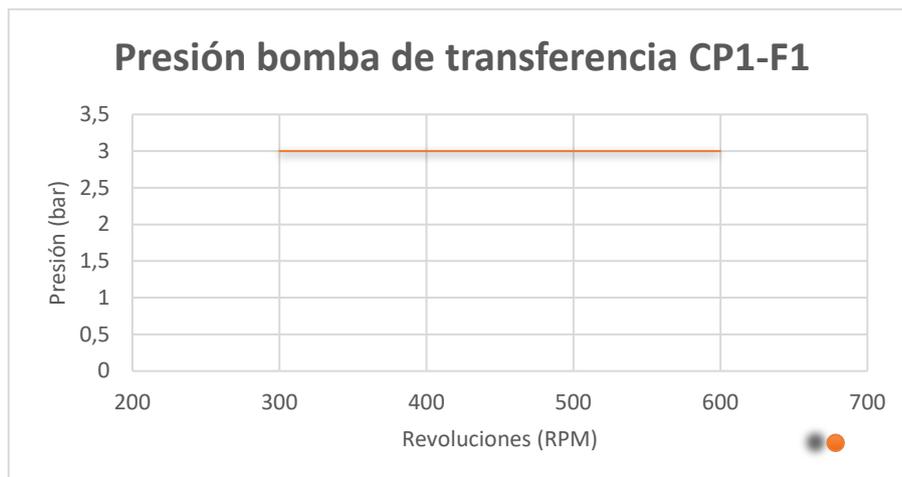


Figura 2.39 Variación de voltaje a 600 RPM CP1-F1.

2.6 PRUEBAS DE LA BOMBA CP1 – FALLA 2

Para realizar una comparación con diferentes tipos de bombas de inyección, a continuación se presentan los resultados de una bomba CP1 con una falla en la bomba de transferencia, a una presión menor de entrada que la registrada anteriormente. Los valores obtenidos permitirán conocer los rangos de funcionamiento de este tipo de bombas con una presión de transferencia de 2 bares y comparar con los registrados anteriormente con la bomba tipo CP1 sin ninguna falla.

2.6.1 REGISTRO DE VALORES A 300 RPM CP1-F2

Con el procedimiento descrito inicialmente se procede a registrar los valores obtenidos de la bomba de inyección CRDi CP1. A continuación se indica en la Tabla 2.16 los resultados de voltaje y corriente aplicado a la válvula DRV con la finalidad de mantener la presión establecida en las condiciones de prueba hasta 500 bares.

Tabla 2.16. Registro de valores a 300 RPM CP1-F2

Registro de valores a 300 RPM CP1-F1			
Presión bomba de transferencia (bar)	Presión del riel (bar)	Corriente (A)	Voltaje (V)
2	0	0	0
	100	0,28	1,12
	200	0,394	1,58
	300	0,46	1,83
	400	0,565	2,25
	500	0,75	3,05

Las pruebas se realizan con una presión de 2 bares en la bomba de transferencia hasta los 600 RPM, además se mantiene una presión del banco de pruebas de 20 PSI. En la Figura 2.40 se indica los resultados de voltaje donde se identifica una tendencia a aumentar su valor de 0V a 3.05V.

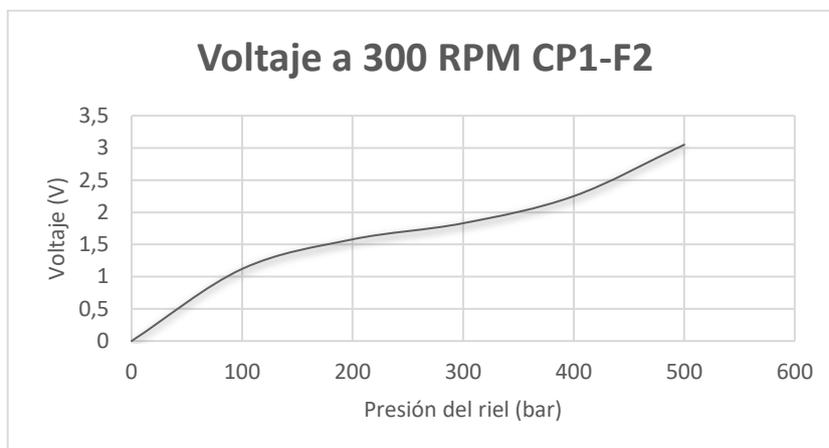


Figura 2.40 Variación de voltaje a 300 RPM CP1-F2.

En referencia a los resultados de corriente aplicados a la DRV durante las pruebas realizadas, se observa que el valor de la corriente aumenta de 0 a 0.750A a medida que la presión en el riel asciende hasta los 500 bares, como se indica en la Figura 2.41.

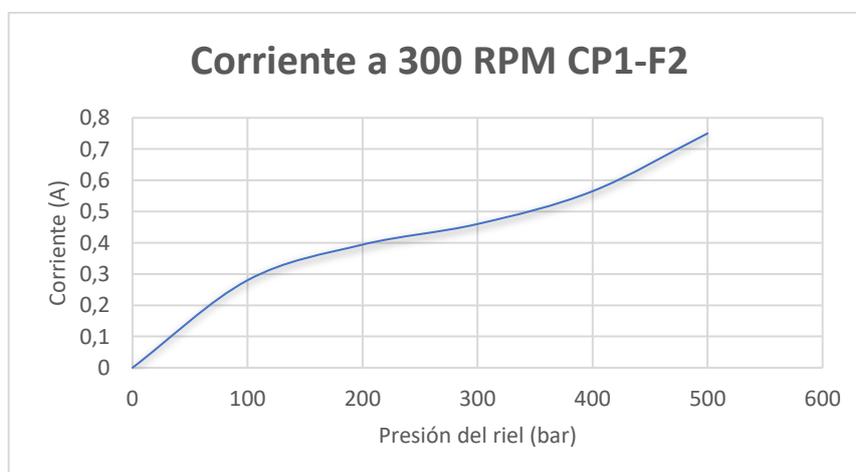


Figura 2.41 Variación de corriente a 300 RPM CP1-F2.

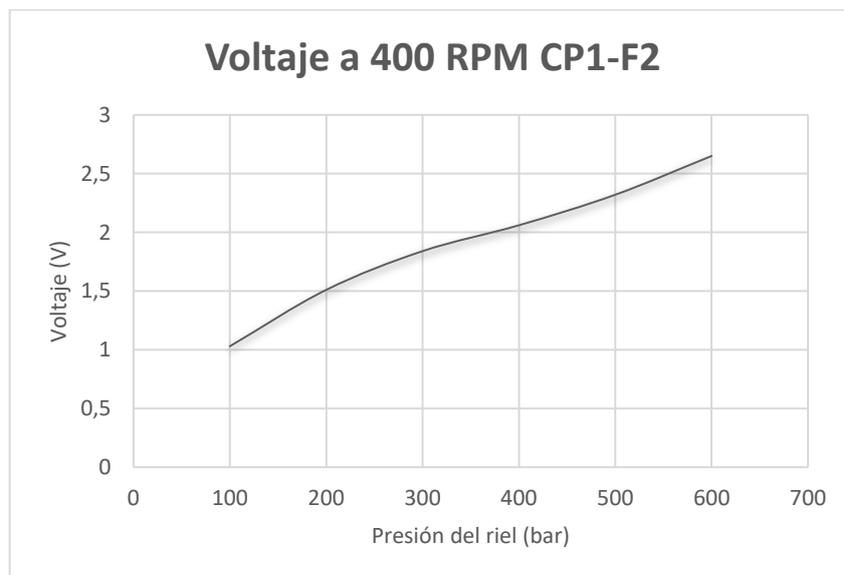
2.6.2 REGISTRO DE VALORES A 400 RPM CP1-F2

En la Tabla 2.17 se indica los resultados de voltaje y corriente aplicado a la válvula reguladora de presión (DRV) cuando la presión del riel asciende desde los 100 bares hasta los 600 bares con una presión en la bomba de transferencia de 2 bares a 400 RPM.

Tabla 2.17. Registro de valores a 400 RPM CP1-F2

Registro de valores a 400 RPM CP1-F2			
Presión bomba de transferencia (bar)	Presión del riel (bar)	Corriente (A)	Voltaje (V)
2	100	0,255	1,03
	200	0,376	1,51
	300	0,492	1,84
	400	0,503	2,06
	500	0,566	2,32
	600	0,634	2,65

Se puede observar en la Figura 2.42 que los valores de voltaje aumentan de 1.03V a 2.65V a medida que la presión en el riel incrementa de 100 a los 600 bares, con un régimen de giro de la bomba de 400 RPM.

**Figura 2.42** Variación de voltaje a 400 RPM CP1-F2.

En la Figura 2.43 se observa que la corriente aplicada a la válvula reguladora de presión DRV para mantener la presión de referencia en el riel incrementa su valor de 0.255A a 0.634A a medida que la presión en el riel asciende hasta los 800 bares.

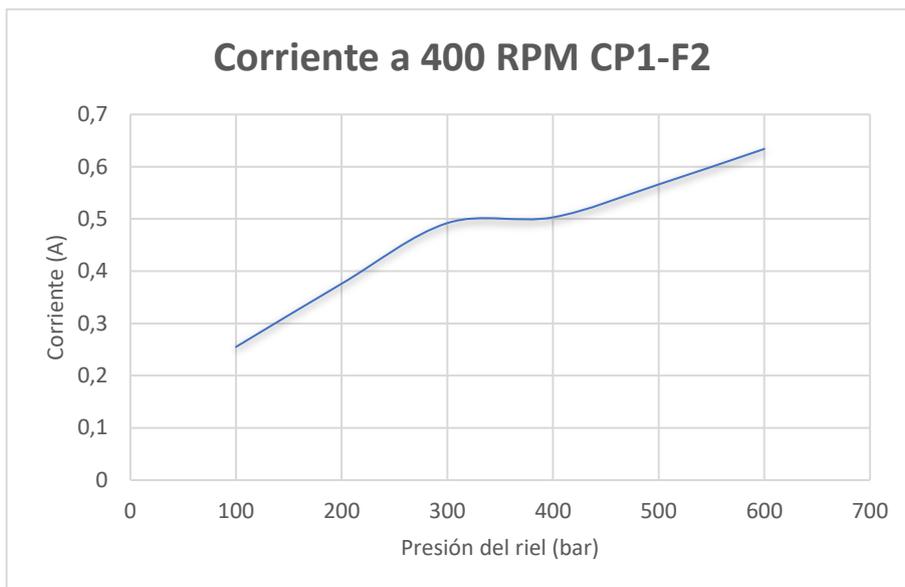


Figura 2.43 Variación de corriente a 400 RPM CP1-F2.

2.6.3 REGISTRO DE VALORES A 500 RPM CP1-F2

A 500 RPM se realizan con una presión de la bomba de transferencia de 2 bares y 20 PSI de presión del banco de pruebas. Los valores obtenidos en todas las variables son registrados en la Tabla 2.18, donde se evidencia que el valor de presión en el riel varía de 100 bares a 600 bares.

Tabla 2.18. Registro de valores a 500 RPM CP1-F2

Registro de valores a 500 RPM CP1-F2			
Presión bomba de transferencia (bar)	Presión del riel (bar)	Corriente (A)	Voltaje (V)
2	100	0,266	1,1
	200	0,366	1,58
	300	0,456	1,89
	400	0,534	2,2
	500	0,592	2,46
	600	0,718	3

En relación a los voltajes aplicados en la válvula reguladora de presión se identifica un incremento en su valor de 1.1V a 3.0V cuando la presión se incrementa de 100 bares a 600 bares, como se indica en la Figura 2.44.

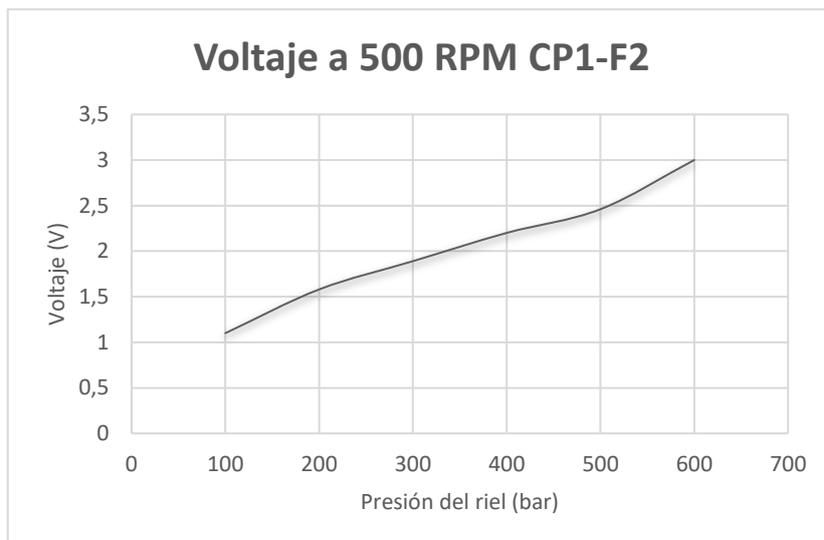


Figura 2.44 Variación de voltaje a 500 RPM CP1-F2.

En la Figura 2.45 se puede evidenciar que existe una tendencia a aumentar el valor de la corriente de 0.266A a 0.718A, a medida que la alta presión llega a los 600 bares en el riel a 500 RPM.

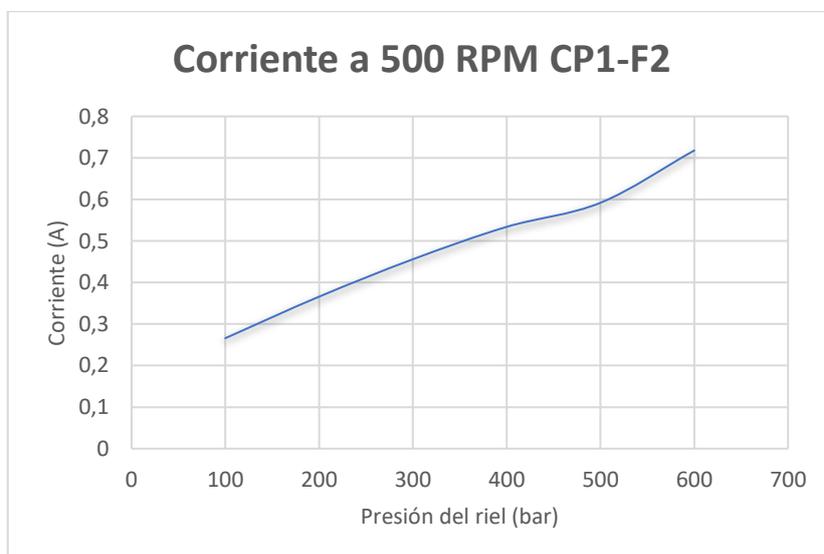


Figura 2.45 Variación de corriente a 500 RPM CP1-F2.

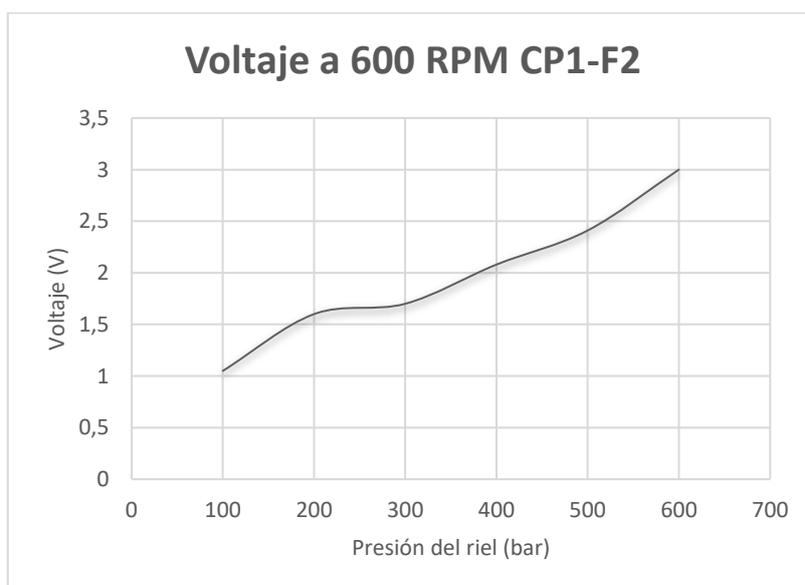
2.6.4 REGISTRO DE VALORES A 600 RPM CP1-F2

A continuación en la Tabla 2.19 se indica los resultados de voltaje y corriente aplicado a la válvula reguladora de presión (DRV) a 600 RPM, con una presión de entrada a la bomba de 2 bares y una alta presión en el riel de 100 bares a 600 bares.

Tabla 2.19. Registro de valores a 600 RPM CP1-F2

Registro de valores a 600 RPM CP1-F2			
Presión bomba de transferencia (bar)	Presión del riel (bar)	Corriente (A)	Voltaje (V)
2	100	0,249	1,05
	200	0,392	1,6
	300	0,408	1,7
	400	0,505	2,08
	500	0,555	2,41
	600	0,72	3

En la Figura 2.46 se puede observar que con un régimen de giro de la bomba de 600 RPM, los valores de voltaje aumentan de 1.05V a 3.0V a medida que la presión en el riel incrementa de 100 a los 600 bares.

**Figura 2.46** Variación de voltaje a 600 RPM CP1-F2.

En la Figura 2.47 se observa que la corriente de la válvula reguladora de presión se observa que su valor incrementa de 0.249A a 0.72A a medida que la presión en el riel asciende hasta los 600 bares de presión en el riel.

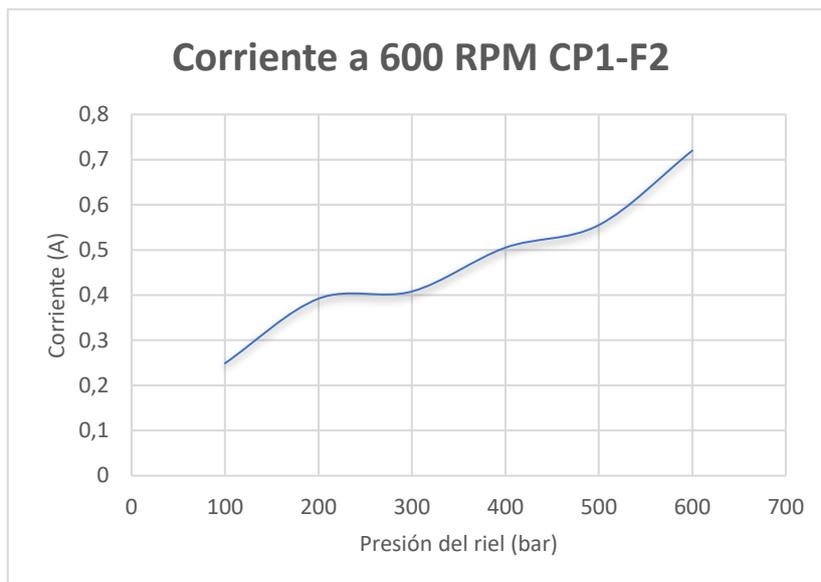


Figura 2.47 Variación de corriente a 600 RPM CP1-F2.

2.6.5 PRESIÓN DE LA BOMBA DE TRANSFERENCIA CP1-F2

En la Tabla 2.20 se indica el valor de la presión de entrada de combustible a la bomba de inyección CRDi CP1. Estos valores permitirán diagnosticar el estado de la bomba de transferencia a diferentes revoluciones de giro de la bomba de alta presión.

Tabla 2.20. Presión bomba de transferencia CP1-F2

Presión bomba de transferencia CP1-F2	
RPM	Presión (bar)
300	2
400	2
500	2
600	2

En la Figura 2.48 se puede observar que la presión de entrada a la bomba de transferencia es de 2 bares desde los 300 RPM a los 600 RPM. Los valores obtenidos permiten concluir que la bomba de transferencia se encuentra en mal estado de funcionamiento, debido a que su valor se encuentra muy por debajo del valor nominal de 5 a 6 bares de presión. Esto ocasionará un mal rendimiento del sistema de inyección common rail y por lo tanto del vehículo.

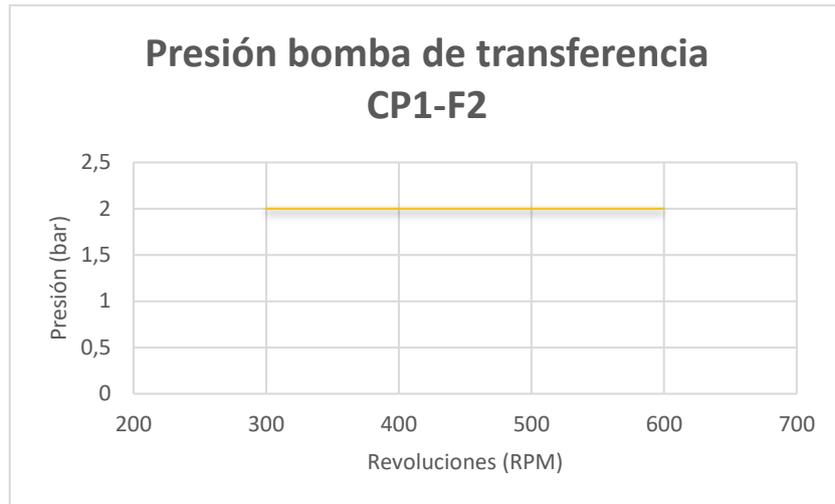


Figura 2.48 Variación de voltaje a 600 RPM CP1-F2.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se indica la comparación de los valores obtenidos en las pruebas realizadas a la bomba de alta presión nueva, con los obtenidos con una bomba de inyección defectuosa y en mal funcionamiento. Esto permitirá realizar un correcto diagnóstico y generar una base de información que permita evaluar posteriores bombas de inyección y sus componentes.

Para la presentación de resultados se realizó un análisis comparativo entre las bombas CRDi a prueba para realizar un análisis del estado y funcionamiento de sus componentes. A continuación se presenta los resultados obtenidos a través de las gráficas de voltaje y corriente aplicados a la válvula reguladora de presión (DRV) a diferentes RPM, con la finalidad de mantener una alta presión constante en el riel común del equipo de diagnóstico instalado en el banco de calibración.

3.2 ANÁLISIS DE LA PRESIÓN DE ENTRADA EN LA BOMBA DE TRANSFERENCIA

Para iniciar con la presentación de resultados, se indica en la Figura 3.1 los valores de la presión en la bomba de transferencia para cada una de las bombas en prueba. Se puede evidenciar que existe una caída en la presión de entrada a 3 bares para la bomba CP1-F1 y de 2 bares para la CP1-F2, comparado con la presión que tiene la bomba CP1 que se encuentra en buen estado y que trabaja con 5 bares de presión en la bomba de transferencia.

Esta información es muy importante para realizar un diagnóstico adecuado y comprender la variación de voltaje y corriente aplicados a la válvula reguladora de presión DRV para mantener la presión de trabajo en el riel del equipo de pruebas.

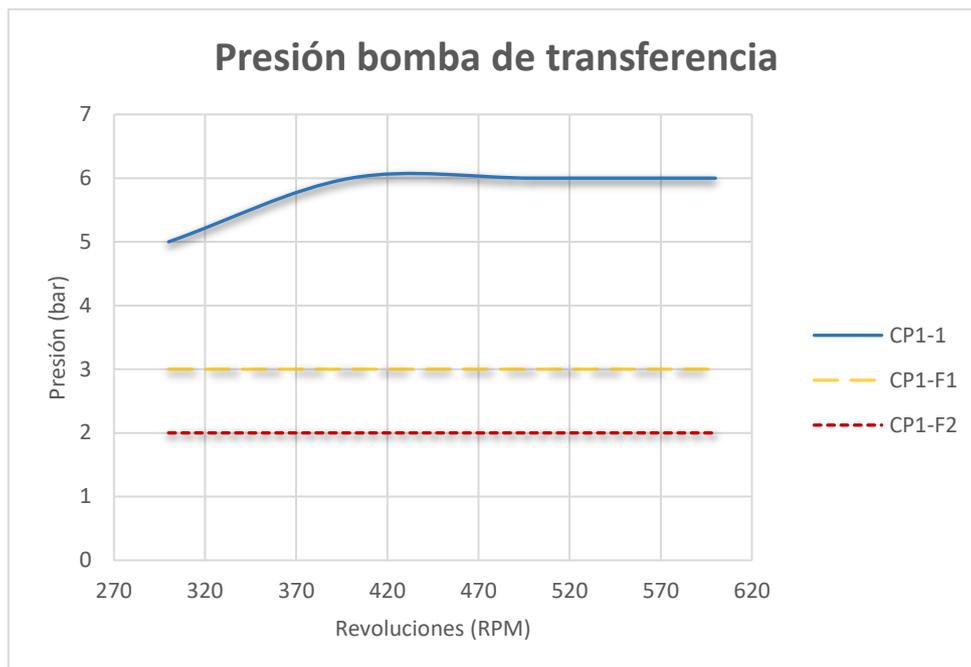


Figura 3.1 Variación de presiones en la bomba de transferencia.

3.3 COMPARACIÓN DE RESULTADOS A 300 RPM

3.3.1 VARIACIÓN DE VOLTAJE DE LA DRV-300 RPM

Una vez obtenidos los valores de voltaje aplicados a la DRV en cada una de las bombas a prueba, se realiza la comparación de los resultados a 300 RPM. Como se puede observar en la Figura 3.2 en el caso de la bomba CP1 (Nueva), se identifica una tendencia a incrementar de forma constante en el valor de voltaje desde 0.96V a 2.8V a medida que la presión en el riel aumenta de 100 bares a 700 bares.

En los resultados de la bomba CP1-F1 (Falla 1) con una presión en la bomba de transferencia de 3 bares, se observa que el valor de voltaje en promedio aumenta en su valor con respecto a los obtenidos en la bomba CP1. Sus valores oscilan de 1.04V a 3.04V al incrementar el valor de presión hasta los 600 bares, evidenciando que la presión en el riel no alcanza los 700 bares que se obtuvo en la bomba en buen estado.

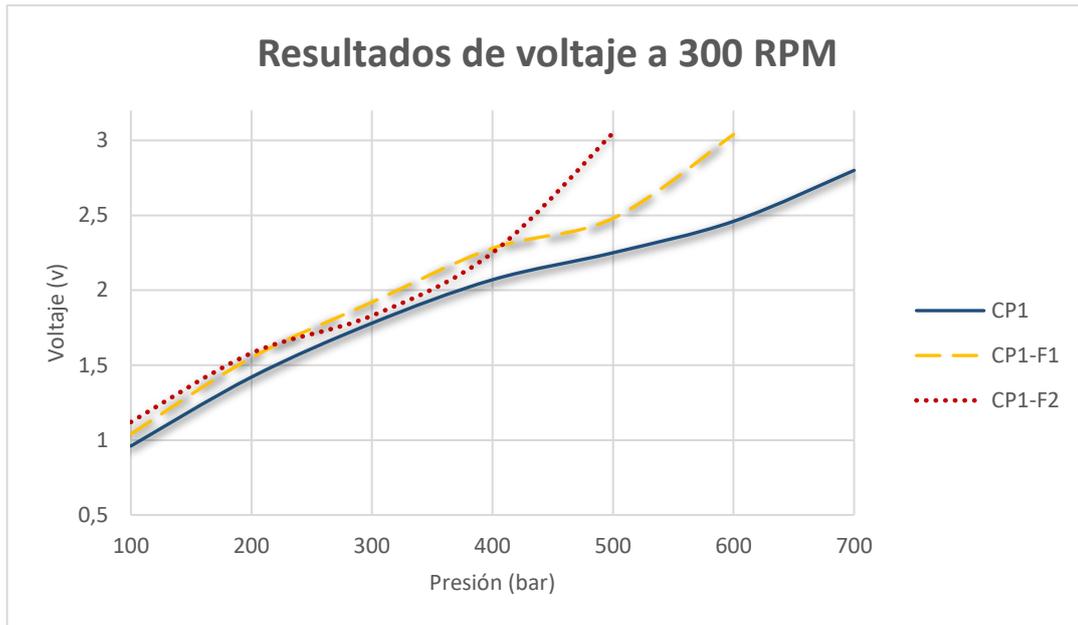


Figura 3.2 Resultados de voltaje a 300 RPM.

Por otra parte en la bomba CP1-F2 (Falla 2) con 2 bares de presión en la bomba de transferencia, se evidencia un mayor aumento en el valor de voltaje aplicado a la DRV en valores de 1.12V a 3.05V hasta alcanzar únicamente los 500 bares de presión en riel a 300 RPM del giro de la bomba.

Esto permite concluir que al disminuir la presión de la bomba de transferencia aumenta el valor del voltaje aplicado a la válvula reguladora de presión debido a la acción que debe ejercer la DRV con la finalidad de mantener la alta presión en el riel, todo esto provocado por una deficiencia en la presión de entrada a la bomba de alta presión CRDi.

3.3.2 VARIACIÓN DE CORRIENTE DE LA DRV-300 RPM

Al comparar la corriente aplicada a la válvula reguladora de presión se observa que al igual que el voltaje, su valor incrementa al reducir la presión de la bomba de transferencia. En la bomba CP1 se observa que su valor incrementa de 0.245A a 0.658A hasta los 700 bares de presión en el riel.

Por otra parte como se indica en la Figura 3.3, la corriente aplicada en la DRV en las pruebas realizadas a la bomba CP1-F1 se evidencia que su valor incrementa a 0.255A en 100 bares de presión, y a 0.732A hasta los 600 bares con un giro de la bomba de 300 RPM.

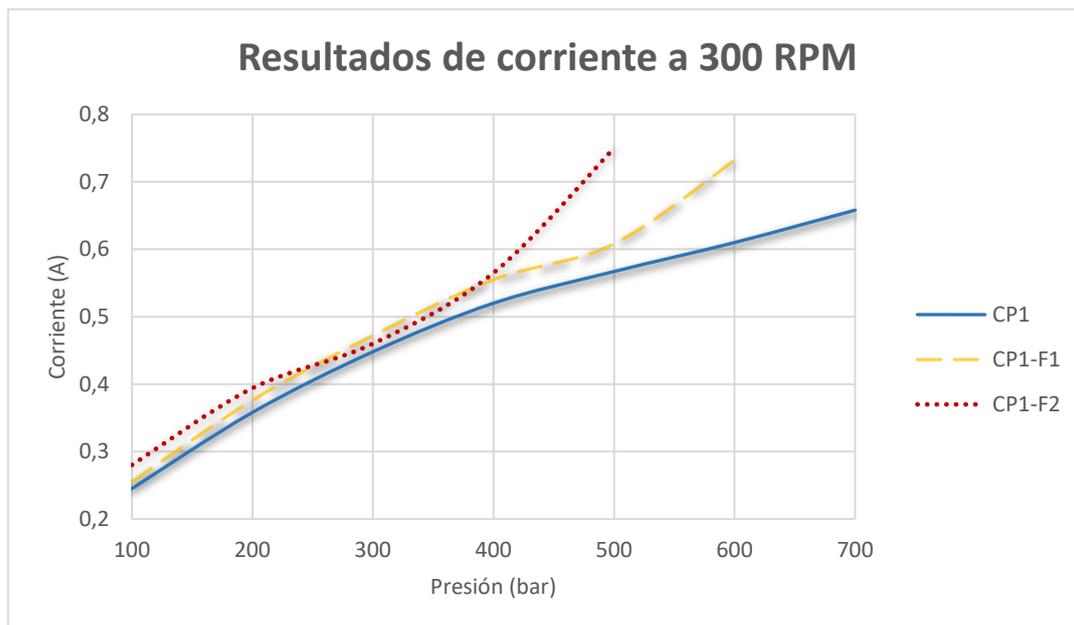


Figura 3.3 Resultados de corriente a 300 RPM.

En referencia a la bomba CP1-F2 con una presión de transferencia de 2 bares, se observa que la corriente aplicada aumenta a 0.280A en 100 bares y a 0.750A en 500 bares de presión, identificando también una pequeña caída de amperaje en aproximadamente 300 bares.

3.4 COMPARACIÓN DE RESULTADOS A 400 RPM

3.4.1 VARIACIÓN DE VOLTAJE DE LA DRV-400 RPM

Los resultados obtenidos a 400 RPM indican un aumento de voltaje en las bombas CP1-F1 y CP1-F2 comparados con los obtenidos con la bomba CP1 en buenas condiciones de funcionamiento. De esta forma como se indica en la Figura 3.4, se obtiene un aumento a 1.01V y 1.03V en las bombas CP1-F1 y CP1-F2, respectivamente; comparados con los 0.92V obtenidos en la bomba CP1 a 100 bares de presión en el riel.

En referencia a los valores obtenidos a 600 bares de presión, se obtiene 2.53V para la bomba CP1, se evidencia un aumento a 3.06V en la CP1-F1 y a 2.65V para la bomba CP2-F2. De esta manera se obtiene la misma tendencia a aumentar el valor de voltaje aplicado a la DRV cuando la presión de entrada a la bomba de transferencia disminuye de los 5 y 6 bares nominales.

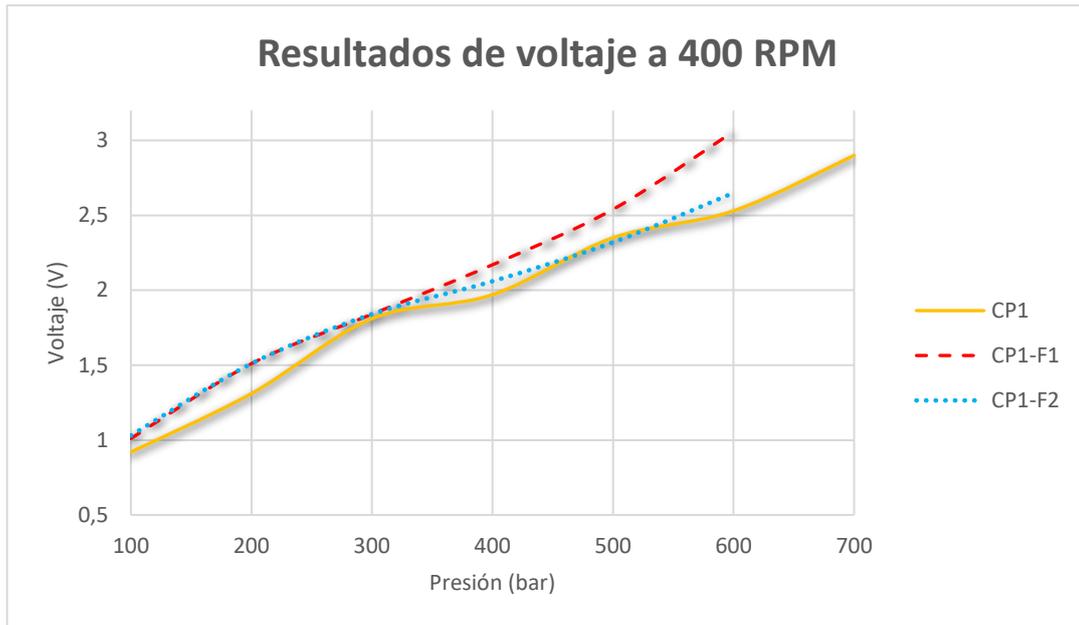


Figura 3.4 Resultados de voltaje a 400 RPM.

3.4.2 VARIACIÓN DE CORRIENTE DE LA DRV-400 RPM

En referencia a la corriente aplicada también se obtiene una tendencia a incrementar en su valor cuando la presión de entrada a la bomba de alta presión disminuye, tal como se muestra en la Figura 3.5.

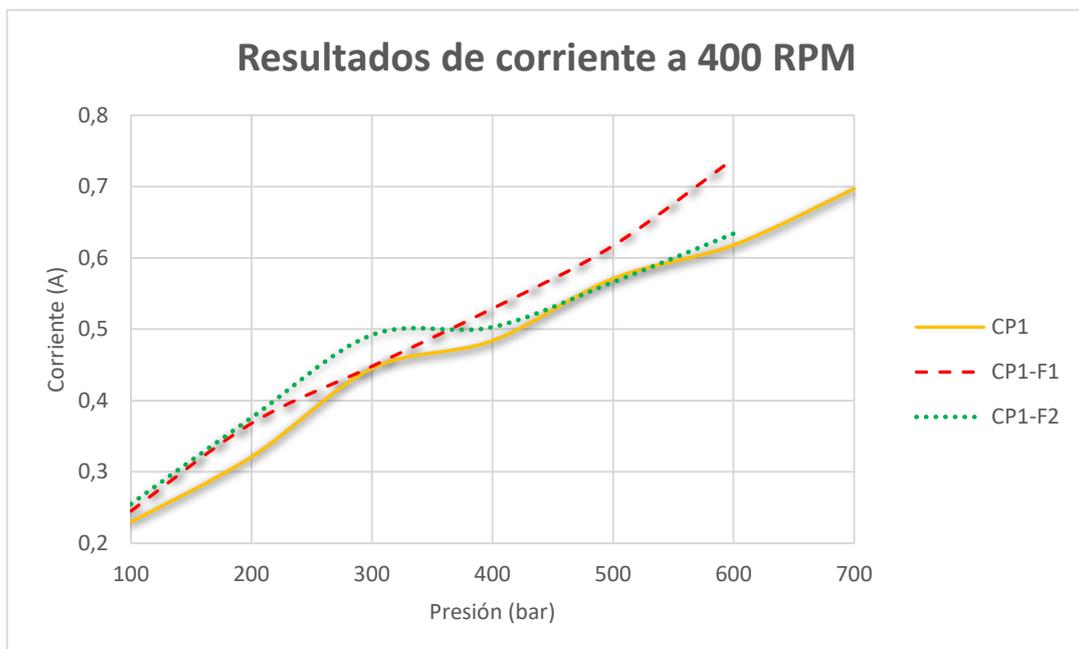


Figura 3.5 Resultados de corriente a 400 RPM.

Se puede evidenciar un aumento de 0.015A y 0.025A para las bombas CP1-F1 y CP1-F2, respectivamente, comparados con los valores obtenidos con la bomba de inyección en buenas condiciones de funcionamiento. Además, se puede distinguir una caída de amperaje en la bomba CP1-F2 a 400 bares de presión que puede ser ocasionado por la ineficiente presión de transferencia de tan solo 2 bares.

3.5 COMPARACIÓN DE RESULTADOS A 500 RPM

3.5.1 VARIACIÓN DE VOLTAJE DE LA DRV-500 RPM

En la Figura 3.6 se indican los resultados a 500 RPM, en el caso de la bomba CP1 se identifica una tendencia a incrementar el valor de voltaje desde 1.03V a 2.68V a medida que la presión en el riel aumenta de 100 bares a 700 bares. Para la bomba CP1-F1 con una presión en la bomba de transferencia de 3 bares se observa que el valor de voltaje aumenta de 1.08V a 3.01V al incrementar el valor de presión hasta los 700 bares.

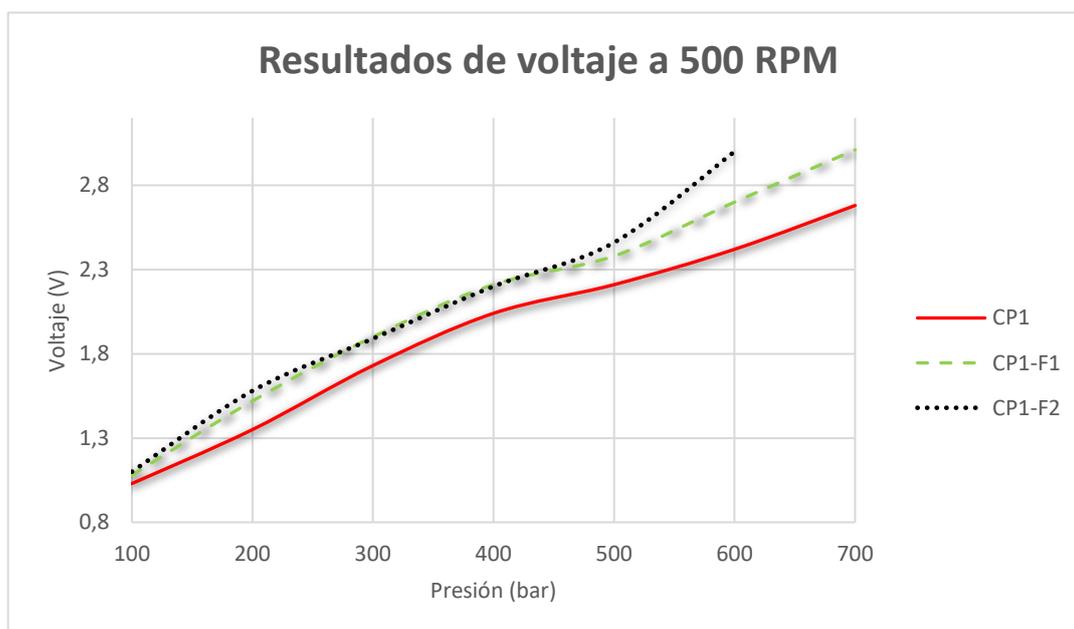


Figura 3.6 Resultados de voltaje a 500 RPM.

Por otra parte en la bomba CP1-F2 con 2 bares de presión en la bomba de transferencia, se evidencia un mayor aumento en el valor de voltaje aplicado a la DRV en valores de 1.1V a 3.0V hasta alcanzar únicamente los 600 bares. Se obtiene la misma que al disminuir la presión de la bomba de transferencia aumenta el valor del voltaje aplicado a la válvula reguladora de presión con la finalidad de mantener la alta presión en el riel.

3.5.2 VARIACIÓN DE CORRIENTE DE LA DRV-500 RPM

En la Figura 3.7 se observa que en la bomba CP1 el valor de la corriente a 500 RPM incrementa de 0.247A a 0.634A hasta los 700 bares de presión en el riel. Por otra parte, la corriente aplicada en la DRV en la bomba CP1-F1 se evidencia que su valor incrementa a 0.263A en 100 bares de presión y a 0.711A hasta los 700 bares.

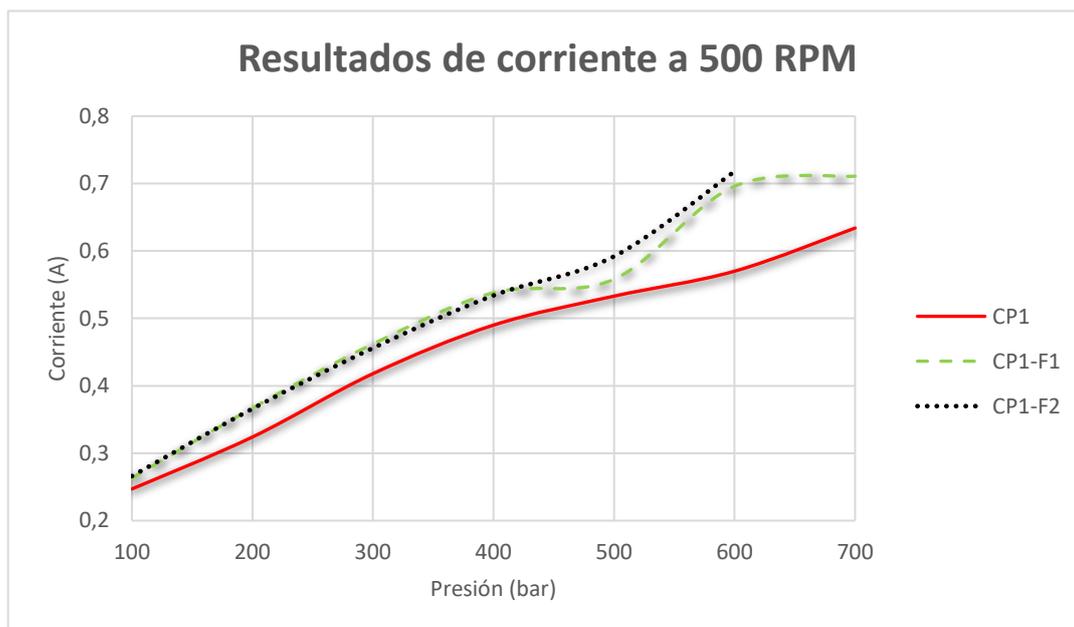


Figura 3.7 Resultados de corriente a 500 RPM.

En referencia a la bomba CP1-F2 con una presión de transferencia de 2 bares, se observa que la corriente aplicada aumenta a 0.266A en 100 bares y a 0.718A en 600 bares de presión, identificando también una pequeña caída de amperaje en aproximadamente 500 bares para la bomba CP1-F1.

3.6 COMPARACION DE RESULTADOS A 600 RPM

3.6.1 VARIACIÓN DE VOLTAJE DE LA DRV-600 RPM

Los resultados obtenidos a 600RPM indican una disminución no significativa en los valores de voltaje en la bomba CP1-F1 y en la CP1-F2 a los 100 bares de presión, comparados con los obtenidos con la bomba CP1. De esta forma como se indica en la Figura 3.8, se obtiene una disminución a 1.18V y 1.05V en las bombas CP1-F1 y CP1-F2, respectivamente; comparados con los 1.19V obtenidos en la bomba CP1 a 100 bares de presión en el riel.

Los valores obtenidos a 600 bares de presión son de 2.79V para la bomba CP1, se evidencia

una disminución a 2.66V en la CP1-F1 y un aumento a 3.0V para la bomba CP2-F2. De esta manera se obtiene la misma tendencia a aumentar el valor de voltaje aplicado a la DRV cuando la presión de entrada a la bomba de transferencia disminuye.

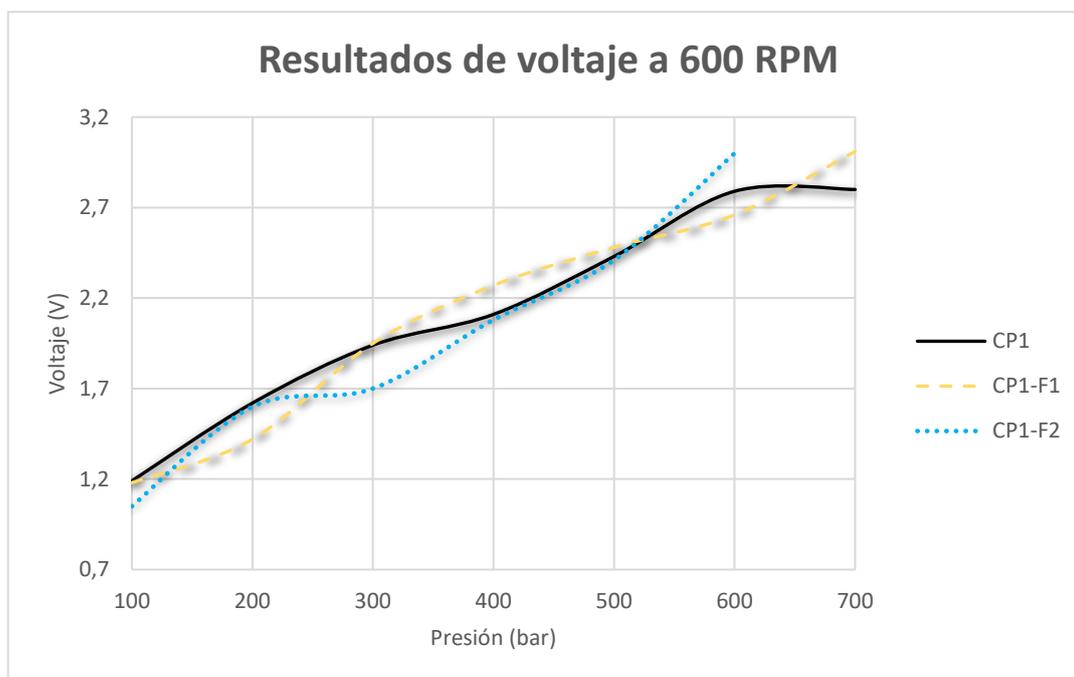


Figura 3.8 Resultados de voltaje a 600 RPM.

Además, con un giro de la bomba a máximas RPM se puede evidenciar que existe mayor irregularidad en el valor de voltaje aplicado a la válvula reguladora DRV cuando la presión de la bomba de transferencia disminuye hasta los 2 bares, por lo que la regulación de presión en el riel no es estable.

3.6.2 VARIACIÓN DE CORRIENTE DE LA DRV-600 RPM

En referencia a la corriente aplicada también se obtiene irregularidad en sus valores especialmente en la bomba CP1-F2 que tiene una presión de la bomba de transferencia de 2 bares, tal como se muestra en la Figura 3.9.

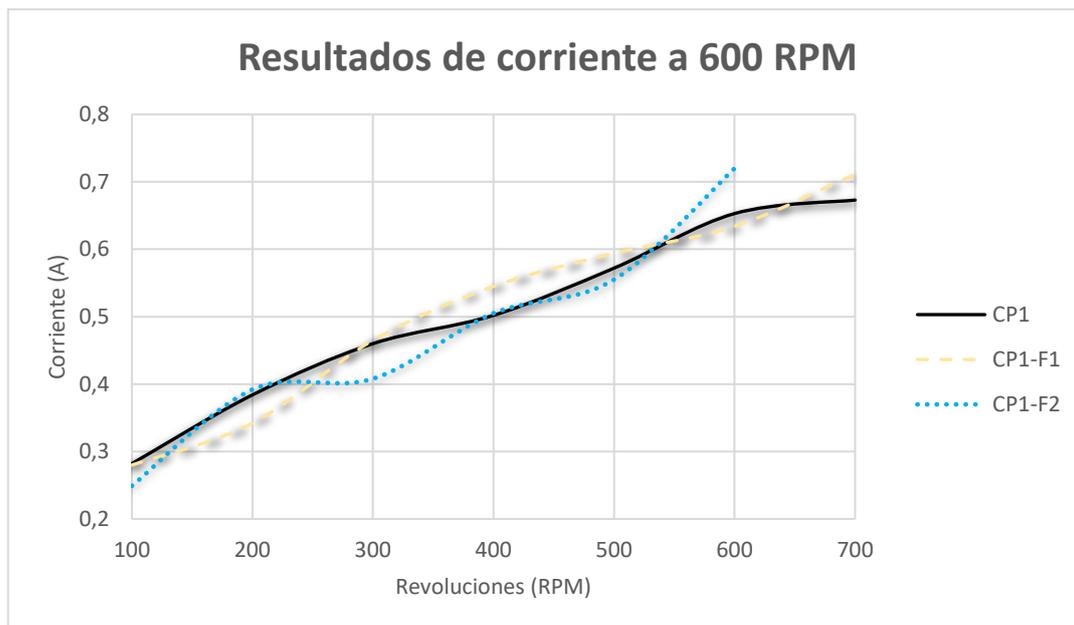


Figura 3.9 Resultados de corriente a 600 RPM.

Se puede evidenciar una reducción de 0.002A y 0.033A para las bombas CP1-F1 y CP1-F2, respectivamente, comparados con los valores obtenidos con la bomba de inyección CP1 a 100 bares. Además, a 600 bares obtiene una reducción de 0.019A para la CP1-F1 y un aumento de 0.067A en la bomba CP1-F2, comprobando la variación irregular de amperaje a máximas revoluciones de la boba de alta presión.

3.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez analizado los resultados obtenidos se llega a la conclusión que la falla presente en las bombas CP1-F1 y CP2-F2 es la baja presión en la bomba de transferencia, que presenta valores de 3 bares y 2 bares, respectivamente. Estos valores son muy bajos con respecto a los obtenidos con la bomba CP1 nueva y en buen estado, donde la presión oscila de entre 5 bares a 6 bares de presión.

Al presentar una presión baja de ingreso a la bomba CRDi, se evidencia una irregularidad en la alta presión registrada por el manómetro en el riel de inyectores. Además, gracias al equipo controlador de la válvula reguladora de presión que permite modificar los valores de voltaje y corriente aplicados a este componente, es posible registrar su variación con la finalidad de mantener la presión de entre 100 bares y 700 bares en las diferentes RPM de prueba.

Considerando que la válvula DRV tiene la misión de ajustar y mantener la presión en el riel

por la actuación de un circuito eléctrico, los valores de voltaje y corriente registrados permiten analizar el estado de funcionamiento de sus componentes. De esta forma, se concluye que una baja presión en la bomba de transferencia provoca que el voltaje y corriente aplicados a la DRV incrementen en su valor, comparados con los obtenidos como referencia con la bomba CP1 en buenas condiciones.

El aumento en los valores de estas variables ocurre por la mayor corriente que necesita el electroimán de la válvula DRV para ejercer fuerza sobre el muelle que trae incorporado en su interior y de esta manera cerrar el paso de combustible para ajustar y mantener la presión de trabajo adecuado dependiendo de la carga del motor. Finalmente, se registra que una baja presión de entrada a la bomba especialmente en altas revoluciones ocasiona un inestable ajuste de presión por parte de la válvula DRV.

A continuación, en la Tabla 3.1 se presenta un resumen comparativo de los valores obtenidos en voltaje y corriente aplicados a las diferentes bombas de inyección a prueba.

Tabla 3.1. Resultados de voltaje y corriente de las bombas CRDi

Resultados de voltaje y corriente de las bombas de inyección CRDi							
RPM	Presión del riel (bar)	Corriente (A)			Voltaje (V)		
		CP1	CP1-F1	CP1-F2	CP1	CP1-F1	CP1-F2
300	100	0,245	0,255	0,28	0,96	1,04	1,12
	200	0,358	0,376	0,394	1,42	1,55	1,58
	300	0,448	0,472	0,46	1,78	1,92	1,83
	400	0,52	0,555	0,565	2,07	2,28	2,25
	500	0,567	0,608	0,75	2,25	2,48	3,05
	600	0,61	0,732	0,81	2,46	3,04	3,25
400	100	0,23	0,245	0,255	0,92	1,01	1,03
	200	0,321	0,368	0,376	1,31	1,51	1,51
	300	0,445	0,448	0,492	1,81	1,84	1,84
	400	0,484	0,529	0,503	1,97	2,17	2,06
	500	0,571	0,617	0,566	2,35	2,54	2,32
	600	0,618	0,739	0,634	2,53	3,06	2,65
500	100	0,247	0,263	0,266	1,03	1,08	1,1
	200	0,324	0,367	0,366	1,35	1,52	1,58
	300	0,418	0,462	0,456	1,73	1,9	1,89
	400	0,49	0,538	0,534	2,04	2,21	2,2
	500	0,533	0,558	0,592	2,21	2,38	2,46
	600	0,57	0,696	0,718	2,42	2,7	3
600	100	0,282	0,28	0,249	1,19	1,18	1,05
	200	0,384	0,342	0,392	1,62	1,42	1,6
	300	0,46	0,465	0,408	1,94	1,95	1,7
	400	0,502	0,545	0,505	2,11	2,27	2,08
	500	0,572	0,594	0,555	2,43	2,48	2,41
	600	0,653	0,634	0,72	2,79	2,66	3

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- El estudio se realizó en bombas de alta presión tipo CP1 a presiones de entre 100 bares y 700 bares, en diferentes regímenes de funcionamiento (300, 400, 500 y 600 RPM). Del análisis realizado se obtiene que en la bomba CP1 nueva a 300 RPM, los valores de voltaje y corriente aplicados a la válvula reguladora de presión DRV oscilan de entre 0.96V a 2.8V y 0.245A a 0.658A; a 400 RPM de 0.92V a 2.9V y 0.230A a 0.697A; a 500 RPM de 1.03V a 2.68V y 0.247A a 0.634A; a 600 RPM de 1.19V a 2.8V y 0.282A a 0.673A, a medida que la presión en el riel incrementa de 100 bares a 700 bares.
- La bomba CP1-F1 con 3 bares de presión en la bomba de transferencia se observa que el valor de voltaje y corriente aumentan en su valor con respecto a los obtenidos en la bomba CP1. A bajas RPM sus valores incrementan a 1.04V y 0.255A en 100 bares de presión, mientras que a 500 bares existe un incremento a 2.48V y 0.608A, con lo que se evidencia un aumento de aproximadamente 6.1% y 15.4% respectivamente.
- En la bomba CP1-F2 con 2 bares de presión de transferencia a bajas RPM se identifica un aumento de voltaje y corriente aplicado a la DRV. Sus valores incrementan a 1.12V y 0.280A en 100 bares de presión, mientras que a 500 bares existe un incremento a 3.05V y 0.750A, con lo que se evidencia un aumento de aproximadamente 8.7% y 33.8% respectivamente.
- Una baja presión en la bomba de transferencia provoca que el voltaje y corriente aplicados a la válvula DRV incrementen en su valor, comparados con los obtenidos como referencia con la bomba CP1 nueva. El aumento en los valores de estas variables ocurre por la mayor corriente que necesita el electroimán de la DRV para ejercer fuerza y cerrar el paso de combustible para ajustar y mantener la presión en el riel de inyectores.

- En altas revoluciones de giro se registra que una baja presión de la bomba de transferencia ocasiona un inestable ajuste de presión por parte de la válvula reguladora de presión DRV, lo que provoca una variación irregular en los valores de voltaje y corriente al tratar de mantener las presiones establecidas.

4.2 RECOMENDACIONES

- En investigaciones posteriores se recomienda realizar pruebas experimentales a bombas de inyección de alta presión de diferentes tipos, con la finalidad de elaborar una base de datos que permita diagnosticar el estado de funcionamiento de cada una de ellas.
- Se recomienda realizar el análisis de funcionamiento de una bomba de alta presión con el equipo de diagnóstico conectado a cuatro inyectores, para identificar la influencia del trabajo de estos elementos en la variación de la presión acumulada en el riel.
- Instalar los componentes del equipo de diagnóstico siguiendo el orden y medidas de seguridad indicadas en el presente trabajo, con la finalidad de evitar accidentes durante el desarrollo de las diferentes pruebas, además de revisar el ajuste correcto de los respectivos soportes y bases de la bomba de alta presión en el banco de calibración.
- Es recomendable encender la bomba de combustible del banco de calibración y revisar que no exista fugas en los acoples de las cañerías instaladas en el equipo de diagnóstico y de esta manera evitar riesgos durante el desarrollo de las pruebas a realizarse en los diferentes tipos de bombas CRDi.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aalam, C. S., Saravanan, C. G., & Anand, B. P. (2016). Impact of high fuel injection pressure on the characteristics of CRDI diesel engine powered by mahua methyl ester blend. *Applied Thermal Engineering*, *106*, 702–711.
<https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.05.176>
- Alejandro, C. D. L. C. F. (2013). “Diseño E Implementación De Un Banco De Pruebas De Inyectores De Vehículos a Diesel Crdi Para La Escuela De Ingeniería Automotriz,” 18. Retrieved from
<http://dspace.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/2963/1/65T00090.pdf>
- Andrés, D., & Ullauri, G. (2012). Universidad del Azuay Facultad de Ciencia y Tecnología Escuela de Ingeniería Mecánica Estudio de factibilidad para la construcción de un banco de pruebas para inyectores del sistema Common Rail Bosch Trabajo de graduación previo a la obtención del título .
- Armando, P.-S., Gisela, M.-A., Ramón, A.-B., Marcos Alberto, C.-O., Héctor Enrique, C.-R., & Conrado, G.-G. (2015). Simulación en Aspen de la combustión de mezclas diesel-biodiesel. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, *16*(1), 83–92.
[https://doi.org/10.1016/s1405-7743\(15\)72109-8](https://doi.org/10.1016/s1405-7743(15)72109-8)
- Artieda, S. D., & Cavero, D. B. (2016). Análisis del efecto de la ley de combustión en el rendimiento de un motor diésel de inyección directa.
- Ashok, B., Nanthagopal, K., Saravanan, B., Somasundaram, P., Jegadheesan, C., Chaturvedi, B., ... Patni, G. (2018). A novel study on the effect lemon peel oil as a fuel in CRDI engine at various injection strategies. *Energy Conversion and Management*, *172*(July), 517–528. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.07.037>
- Bosch. (2015a). Sistemas Modernos de Inyección a Diesel Unidades Completas y su despiece. *Bosch Group*, 42.
- Bosch, R. (2002). Regulación_electrónica_diesel_EDC. Alemania: Reverte.
- Bosch, R. (2005). *Sistemas de inyección diesel por acumulador. Common rail* (Reverte). Madrid, ESPAÑA: Bosch. Retrieved from
<https://books.google.es/books?id=3Jl1hs3QiMC>
- Bosch, R. (2010). Sistemas de Inyección Diésel. España, Madrid.
- Bosch, R. (2015b). Sistemas de Inyección Diésel. Madrid, ESPAÑA: Zexel, Bosch Group.
- Braun, R., Pumarino, M., & Tolvett, S. (2016). Motores Diesel : Tecnologías Para Su Futuro, (August 2016).

- Breeze, P. (2018). Chapter 5 - Diesel Engines. *Piston Engine-Based Power Plants*, 47–57.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812904-3.00005-7>
- Calle, A. C. (2014). sistemas de inyección en motores Diésel. *Universidad de Sevilla*, 65.
- Castro Mediavilla, J. J., & Gonzáles Torres, M. E. (2019). Análisis Comparativo del Funcionamiento del Inyector de un Motor CRDI Bajo Diferentes Alturas Geográficas. *INNOVA Research Journal*, 4(1), 72–87.
<https://doi.org/10.33890/innova.v4.n1.2019.906>
- Correa Gárate, A. J. (2017). Diseño y construcción de un sistema didáctico funcional de limpieza de inyectores electrónicos diésel Bosch. Universidad del Azuay.
- Foronda-Trillo, F.-J. (2015). Simulación de un sistema de inyección common-rail.
- García, D. (2016). Aportación al modelado de emisiones y consumo basado en la señal de presión en el cilindro en motores Diesel.
- García del Río, A. J. (2017). *UF1217 - Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo diesel*. (S. L. Editorial Elearning, Ed.) (Editorial). España: Editorial Elearning, S.L. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=o31XDwAAQBAJ>
- Garrido Quintana, D. A., & Alvarez Luzuriaga, V. H. (2016). Estudio de la evolución de los CRDI (Common Rail Direct Injection) en función del combustible en Sudamérica. QUITO/UIDE/2016.
- Godiganur, V. S., Nayaka, S., & Kumar, G. N. (2020). Thermal barrier coating for diesel engine application – A review. *Materials Today: Proceedings*, (xxxx).
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.112>
- González Calleja, D. (2015a). *Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo diésel*. Madrid, ESPAÑA: Paraninfo. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=WI2gCAAAQBAJ>
- González Calleja, D. (2015b). *Motores térmicos y sus sistemas auxiliares*. Paraninfo. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=19ASCgAAQBAJ>
- González, J. L. R., Granda, F. T., & Sánchez, O. L. (2002). Ventajas del uso de la inyección electrónica en Cuba para vehículos diesel ligeros. *Ingeniería Mecánica*, 5(2), 85–87.
- Hayat, Q., Fan, L., Song, E., Ma, X., Tian, B., & Farouk, N. (2014). Nonlinear modeling and analysis of pressure wave inside ceup fuel pipeline. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/521859>
- Knecht, W. (2008). Diesel engine development in view of reduced emission standards.

- Energy*, 33(2), 264–271. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2007.10.003>
- Liu, X., Wang, H., & Yao, M. (2020). Investigation of the chemical kinetics process of diesel combustion in a compression ignition engine using the large eddy simulation approach. *Fuel*, 270(November 2019), 117544. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117544>
- Magno, A., Mancaruso, E., & Vaglieco, B. M. (2014). Experimental investigation in an optically accessible diesel engine of a fouled piezoelectric injector. *Energy*, 64, 842–852. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.10.071>
- Martin, J. (2015). *Diagnostico de la combustion en motores diesel de inyeccion directa*. Barcelona: Editorial Reverte. Retrieved from <https://elibro.net/es/lc/utnorte/titulos/46755>
- Noboa, A. (2019). Investigación del comportamiento mecánico y electrónico de los inyectores Bosch “0445120289” y “0445110250” del sistema Common Rail.
- Oltra, G. A. (2017). Optimización de la combustión de un motor Diesel para el cumplimiento de normativa de emisiones, 68–70.
- Pardiñas, J., & Feijó, R. (2018). *Sistemas auxiliares del motor (2018)*. Editorial Editex. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=4hhfDwAAQBAJ>
- Parreno Ibanez, S. (2012). *Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo Diesel (MF0133_2)*. Antequera, Málaga: IC Editorial. Retrieved from <https://elibro.net/es/lc/utnorte/titulos/42615>
- Passo, R., Ulcuango, C., Toapanta, C., & Luna, L. (2019). ACTIVACIÓN Y CONTROL DE INYECTORES DIÉSEL CRDI DE LAS MARCAS DENSO Y DELPHI. *Universidad Ciencia y Tecnología*, 2(2), 186–194.
- Pérez Belló, M. Á. (2017). *Sistemas auxiliares del motor 2.ª edición*. Madrid, ESPAÑA: Paraninfo. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=KtXLDgAAQBAJ>
- Pozo Huertas, L. alfredo junio 2020. (2020). CARACTERIZACIÓN TECNOLÓGICA DEL PARQUE AUTOMOTOR CON MOTOR A DIESEL DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO Y PROPUESTA DE REFORMA A LA NORMA DE OPACIDAD DE VEHÍCULOS CON MOTOR DIESEL.
- Qiu, T., Dai, H., Lei, Y., Cao, C., & Li, X. (2015). Optimising the cam profile of an electronic unit pump for a heavy-duty diesel engine. *Energy*, 83, 276–283. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.02.021>
- Ramírez, E. F. (2019). MOTOR DIESEL (BANCO DE PRUEBA DE MOTOR.

- Rivero, A. Á. L. (2014). De sistema mecánico a sistema tecnológico complejo El caso de los automóviles. *Contaduría y Administración*, 59(2), 11–39.
[https://doi.org/10.1016/s0186-1042\(14\)71253-7](https://doi.org/10.1016/s0186-1042(14)71253-7)
- Sarmiento, F. A. (2018). “EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE UN VEHÍCULO MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA A DIESEL, CON UN SISTEMA DE INYECCIÓN GLP COMO COMBUSTIBLE DE APORTE.”
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2017). Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021-Toda una Vida, 84.
- Singh, M., & Sandhu, S. S. (2020). Performance, emission and combustion characteristics of multi-cylinder CRDI engine fueled with argemone biodiesel/diesel blends. *Fuel*, 265(December 2019), 117024. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117024>
- Soriano, E. J. D., & Ruiz, J. F. (2019). *Sistemas de alimentación y escape diésel (FPB Mecánica del vehículo)*. (Editex, Ed.) (Editex). España: Editorial Editex. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=gFakDwAAQBAJ>
- Taípe Defaz, V. A. (2021). Evaluación experimental de un motor de encendido provocado bajo diferentes gasolinas Evaluation of an experimental induced ignition engine under different gasoline, 17–29.
Universidad tecnológica equinoccial. (2016).
- Viláñez Ponce, B. R., & Sacancela Ushiña, L. J. (2017). Estudio de los inyectores CRDI (Common Rail Direct Injection) Bosch en el Ecuador, Mantenimiento preventivo y correctivo. QUITO/UIDE/2017.
- Wan Mansor, W. N., Abdullah, S., Jarkoni, M. N. K., Vaughn, J. S., & Olsen, D. B. (2020). Data on combustion, performance and emissions of a 6.8 L, 6-cylinder, Tier II diesel engine. *Data in Brief*, 33, 106580. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.106580>
- Xu, G. L., Yao, C. De, & Rutland, C. J. (2014). Simulations of diesel-methanol dual-fuel engine combustion with large eddy simulation and Reynolds-averaged Navier-Stokes model. *International Journal of Engine Research*, 15(6), 751–769.
<https://doi.org/10.1177/1468087413516119>
- Yerera, S., López, J., Holzmann, C. H., & Graziano, S. (2016). Sistemas de Inyección Electrónica. *Universidad Nacional de La Plata, Buenos Aires, Argentina,[En Línea]*. Disponible En: [Http://Goo. Gl/4CLeMp](http://Goo. Gl/4CLeMp). [Accedido: 06-Ene-2017].
- Zedadra, O., Guerrieri, A., Jouandeu, N., Seridi, H., Fortino, G., Spezzano, G., ... Thesis, A. (2019). Análisis termoeconómico para optimizar el consumo de combustible de un

motor diésel en la ciudad de Chiclayo. *Sustainability (Switzerland)*, *11*(1), 1–14.

Zhang, K., Huang, X., Xie, Z., & Zhou, M. (2018). Design and optimization of a novel electrically controlled high pressure fuel injection system for heavy fuel aircraft piston engine. *Chinese Journal of Aeronautics*, *31*(9), 1920–1928.
<https://doi.org/10.1016/j.cja.2018.06.013>

ANEXOS

Anexo 1. evidencias fotográficas

Instalación de equipos en el banco de pruebas



Equipo en despiece



Especificaciones del viscor de prueba



Condiciones de prueba en el banco



Equipo totalmente armado

