



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

**TEMA: IDENTIFICACIÓN DEL ESTADO DE LOS INYECTORES
ELECTRÓNICOS DE MOTORES DIÉSEL A BASE DE PRESIONES
DE FUNCIONAMIENTO.**

AUTOR:

BRYAN FERNANDO SIMBAÑA CHORLANGO

DIRECTOR:

ING. HERNÁNDEZ RUEDA ERIK PAÚL MSc.

IBARRA 2023

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 **“IDENTIFICACIÓN DEL ESTADO DE LOS INYECTORES ELECTRÓNICOS DE MOTORES DIÉSEL A BASE DE PRESIONES DE FUNCIONAMIENTO”** presentado por el señor Simbaña Chorlango Bryan Fernando con número de cédula 1725963696, 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 09 días del mes de febrero del 2023.

Atentamente,



Ing. Paúl Hernández MSc.

DIRECTOR DE 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:	1725963696		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Simbaña Chorlango Bryan Fernando		
DIRECCIÓN:	Tabacundo, barrio San Nicolás. García Moreno y los arbolitos		
EMAIL:	bfsimbania@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	022 365 659	TELÉFONO MÓVIL:	0987511844

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	"IDENTIFICACIÓN DEL ESTADO DE LOS INYECTORES ELECTRÓNICOS DE MOTORES DIÉSEL A BASE DE PRESIONES DE FUNCIONAMIENTO."
AUTOR (ES):	Simbaña Chorlango Bryan Fernando
FECHA: DD/MM/AAAA	26-01-2022
PROGRAMA:	PREGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERIA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Erik Hernández MSc.

CONSTANCIA

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

Ibarra, a los 25 días del mes de abril de 2023.

AUTOR



Firma

Simbaña Chorlango Bryan Fernando

DEDICATORIA

El presente trabajo de grado va dedicado a mis padres Gonzalo Pujota y María Simbaña, quienes con esfuerzo y amor incondicional me han enseñado a afrontar cada una de las situaciones que se han ido presentando a lo largo de mi formación como profesional siendo de esta manera un pilar principal durante mi etapa estudiantil. Lo cual hoy me permite culminar de forma exitosa una meta, cumplir un sueño más en la vida. A mi hermana Milagros que ha sido una compañía fundamental para no rendirme en el transcurso de esta etapa.

Fernando Simbaña

AGREDICIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por brindarme la salud y la vida, a mi madre ya que sin ella nada de esto sería posible, ha sido mi mayor fuente de motivación e inspiración a lo largo de toda mi vida con su ayuda en los momentos más difíciles, y sobre todo siempre creyendo en mi aun en los momentos que ni yo lo hacía.

Agradecer también a la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz de la Universidad Técnica del Norte ya que sus aulas han sido donde se ha forjado este proceso de formación profesional lo cual me ha brindado los suficientes conocimientos base que me permitirán tener un buen desenvolvimiento laboral.

Quiero también agradecer a cada uno de mis amigos, gracias a los cuales esta etapa académica se convirtió en la mejor experiencia de vida con sus risas, consejos e incondicional apoyo durante esta etapa. Amistades sinceras que de una u otra manera han contribuido con un granito de arena en mi proceso de formación profesional.

Y finalmente agradecer al Ing. Erik Hernández MSc. Quien me ha sabido guiar durante el desarrollo del presente trabajo de grado aportando con sus conocimientos y buena predisposición para la culminación del mismo.

Fernando Simbaña

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	XIV
ABSTRACT	XV
INTRODUCCIÓN	XVI
CAPÍTULO I	1
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	2
1.5 HISTORIA DEL MOTOR A DIESEL	3
1.6 MOTOR DIESEL MECÁNICO (INYECCIÓN MECÁNICA)	3
1.7 MOTOR DIESEL CON CONTROL ELECTRÓNICO	4
1.8 SISTEMA DE INYECCION CRDi	5
1.9 FUNCIONAMIENTO	5
1.10 VENTAJAS DEL SISTEMA CRDi	6
1.11 COMPARACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INYECCIÓN	7
1.12 COMPONENTES DEL SISTEMA CRDi	8
1.12.1 Bomba eléctrica de cebado de baja presión (Transferencia)	8
1.12.2 Bomba de alta presión	8
1.12.3 Riel	9
1.12.4 Regulador de presión	9
1.12.5 Sistema electrónico de control	10
1.12.6 Inyectores	10
1.13 INYECTOR CRDi	11
1.13.1 Constitución de los inyectores electrónicos	12
1.14 TIPOS DE INYECTORES CRDi	13
1.14.1 Inyector con válvula selenoide	13
1.14.2 Inyector piezoeléctrico	16
1.14.3 Actuador piezoeléctrico	16
1.15 MARCAS DE SISTEMAS CRDi	18
1.15.1 Sistema CRDi Bosch	18
1.15.2 Sistema CRDi Denso	19

1.15.3	Sistema CRDi Siemens	19
1.15.4	Sistema CRDi Delphi	20
2.	MATERIALES Y MÉTODOS	21
2.1	DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	21
2.2	MATERIALES	21
2.2.1	Bomba de inyección de alta presión	22
2.2.2	Riel de combustible	22
2.2.3	Válvula DRV	22
2.2.4	Fuente de voltaje variable (WANPTEK KBS3010DF)	23
2.2.5	Manómetros	23
2.2.6	Cañerías de alta presión	24
2.2.7	Inyector Bosch 0445120 361CRIN2	25
2.2.8	Inyector Bosch 0445110 186	25
2.2.9	Inyector Bosch 0445110 350	25
2.3	MÉTODO	25
2.3.1	Montaje en el banco	25
2.3.2	CONDICIONES DE PRUEBA	30
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
3.1	INTRODUCCIÓN	32
3.2	PRUEBA INYECTOR NUEVO	32
3.2.1	Inyector nuevo a 500 RPM	33
3.2.2	Inyector nuevo a 700 RPM	34
3.2.3	Inyector nuevo a 900 RPM	36
3.2.4	Inyector nuevo a 1100 RPM	37
3.3	PRUEBA INYECTOR USADO	38
3.3.1	Inyector usado a 500 RPM	38
3.3.2	Inyector usado a 700 RPM	40
3.3.3	Inyector usado a 900 RPM	41
3.3.4	Inyector usado a 1100 RPM	42
3.4	PRUEBA INYECTOR DAÑADO	43
3.4.1	Inyector dañado a 500 RPM	44
3.4.2	Inyector dañado a 700 RPM	46
3.4.3	Inyector dañado a 900 RPM	47
3.4.4	Inyector dañado a 1100 RPM	48
3.5	COMPARACIÓN DE RESULTADOS A 500 RPM	50
3.5.1	Variación de cantidad de combustible inyectado y de retorno a 500 RPM	50

3.6	COMPARACIÓN DE RESULTADOS A 700 RPM	51
3.6.1	Variación de cantidad de combustible a 700 RPM	51
3.7	COMPARACIÓN DE RESULTADOS A 900 RPM	51
3.7.1	Variación de cantidad de combustible a 900 RPM	51
3.8	COMPARACIÓN DE RESULTADOS A 1100 RPM	52
3.8.1	Variación de cantidad de combustible a 1100 RPM	52
3.9	ANÁLISIS DE RESULTADOS	53
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	55
4.1	CONCLUSIONES	55
4.2	RECOMENDACIONES	56
	BIBLIOGRAFÍA	57
	ANEXOS	61

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA NÚM	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
1.1	Sistema de inyección CRDi	5
1.2	Funcionamiento del sistema CRDi	6
1.3	Bomba de baja presión	8
1.4	Bomba de alta presión	9
1.5	Riel de alta presión	9
1.6	Regulador de presión	10
1.7	Inyector CRDi	11
1.8	Partes del inyector electrónico CRDi	12
1.9	Inyector cerrado	13
1.10	Inyector parcialmente abierto	14
1.11	Inyector abierto	15
1.12	Inyector cerrado (final de la inyección)	15
1.13	Constitución de inyector piezoeléctrico	16
1.14	Actuador piezoeléctrico	17
1.15	Funcionamiento inyector piezoeléctrico	17
2.1	Banco de Pruebas sistema CRDi	21
2.2	Fuente de voltaje variable	23
2.3	Cañería de alta presión	24
2.4	Elementos del banco de pruebas	26
2.5	Flujo grama	26
2.6	Bomba de alta presión con soportes	27
2.7	Manómetro de presión de transferencia	27
2.8	Instalación del riel común	28
2.9	Instalación manómetro de alta presión y válvula reguladora de presión	28
2.10	Instalación de inyector	29
2.11	Conexión de terminales eléctricos	29
2.12	Secuencia de encendido	30
2.13	Equipos electrónicos de regulación	30
2.14	Encendido del módulo controlador del banco	31
2.15	Generador de pulsos electrónicos	31

3.1 Valores de caudal de inyección a 500 RPM (nuevo)	34
3.2 Valores de caudal de retorno a 500 RPM (nuevo)	34
3.3 Valores de caudal de inyección a 700 RPM (nuevo)	35
3.4 Valores de caudal de retorno a 700 RPM (nuevo)	35
3.5 Valores de caudal de inyección a 900 RPM (nuevo)	36
3.6 Valores de caudal de retorno a 900 RPM (nuevo)	36
3.7 Valores de caudal de inyección a 1100 RPM (nuevo)	37
3.8 Valores de caudal de retorno a 1100 RPM (nuevo)	37
3.9 Valores de caudal de inyección a 500 RPM (usado)	39
3.10 Valores de caudal de retorno a 500 RPM (usado)	39
3.11 Valores de caudal de inyección a 700 RPM (usado)	40
3.12 Valores de caudal de retorno a 700 RPM (usado)	41
3.13 Valores de caudal de inyección a 900 RPM (usado)	41
3.14 Valores de caudal de retorno a 900 RPM (usado)	42
3.15 Valores de caudal de inyección a 1100 RPM (usado)	43
3.16 Valores de caudal de retorno a 1100 RPM (usado)	43
3.17 Valores de caudal de inyección a 500 RPM (dañado)	45
3.18 Valores de caudal de retorno a 500 RPM (dañado)	45
3.19 Valores de caudal de inyección a 700 RPM (dañado)	46
3.20 Valores de caudal de retorno a 700 RPM (dañado)	47
3.21 Valores de caudal de inyección a 900 RPM (dañado)	47
3.22 Valores de caudal de retorno a 900 RPM (dañado)	48
3.23 Valores de caudal de inyección a 1100 RPM (dañado)	49
3.24 Valores de caudal de retorno a 1100 RPM (dañado)	49
3.25 Variación de cantidad de combustible a 500 RPM	50
3.26 Variación de combustible a 700 RPM	51
3.27 Variación de cantidad combustible a 900 RPM	52
3.28 Variación de combustible a 1100 RPM	53

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA NÚM	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
1.1	Características de diferentes sistemas de inyección	4
1.2	Propiedades y datos característicos de los sistemas de inyección	7
1.3	Características del Sistema CRDi BOSCH	18
1.4	Características del Sistema CRDi DENSO.	19
1.5	Características del sistema CRDi SIEMENS.	19
1.6	Características del Sistema CRDi DELPHI	20
2.1	Especificaciones técnicas de la bomba CP1	22
2.2	Especificaciones de la válvula reguladora de presión	22
2.3	Características fuente de energía variable	23
2.4	Características Manómetro de baja presión	24
2.5	Características Manómetro de alta presión	24
3.1	Registro de valores Inyector Nuevo	33
3.2	Registro de valores Inyector Usado	38
3.3	Registro de valores Inyector Dañado	44
3.4	Variación de caudales generales	54

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO NÚM	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
1	Toma de datos caudales	61
2	Banco de pruebas (esquema general)	61
3	Equipos de control electrónico	62

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo diagnosticar el estado de los inyectores CRDi, mediante la realización de un estudio de presiones de funcionamiento a diferentes revoluciones con la finalidad de obtener los rangos de inyección y la cantidad de combustible inyectado para que estos elementos tengan un correcto funcionamiento. Para ello se realizó un análisis comparativo de los valores obtenidos en las pruebas realizadas a un inyector nuevo Bosch 0445120 361 CRIN2, inyector usado Bosch 0445110 186 e inyector dañado Bosch 0445110 350. En esta investigación se utilizó el método práctico de medición de datos con el que se obtiene los valores de voltaje y corriente de la DRV para alcanzar las presiones necesarias de entre 400 bares y 800 bares, en diferentes regímenes de funcionamiento (500, 700, 900 y 1100 RPM) los cuales son: para 500 RPM, 1.94V a 3.16V y 0.45A a 0.70A, para 700 RPM, 1.89V a 3.16V y 0.42A a 0.71A, para 900 RPM, 1.76V a 3.23V y 0.39A a 0.71A, para 1100 RPM, 1.50V a 3.19V y 0.33A a 0.69A. Con el método de análisis de datos se determinó la cantidad de combustible de inyección y de retorno en todos los inyectores para posteriormente realizar una comparación entre caudales y determinar el estado de los inyectores. Teniendo en cuenta las pruebas realizadas a un inyector nuevo a diferentes presiones de funcionamiento y a diferente régimen se estableció que el inyector se encuentra en buen estado cuando el caudal de retorno es la cuarta parte de la cantidad de diésel inyectado, es decir este valor debe representar el 25% del mismo. En el caso del inyector usado, el caudal de retorno oscila en un rango del 65% con respecto al caudal de inyección lo que determinaría que el inyector se encuentra en un rango de funcionamiento aceptable. El inyector dañado presentó un incremento del 100% de la cantidad de caudal de retorno con respecto a la que inyecta e ingresa a la cámara de combustión, por lo que se determina que se encuentra en mal estado y no cumple con los parámetros óptimos de funcionamiento. De los resultados obtenidos se concluye que independientemente si el inyector es nuevo o usado, este se encuentra en buen estado cuando el porcentaje de la cantidad de caudal de retorno oscila entre un 15% y 75% con respecto al caudal que se inyecta al motor, lo que significa que está en un rango óptimo de funcionamiento y si el porcentaje de combustible de retorno representa el 90% o más de la cantidad de diésel inyectado, el inyector no cumple parámetros de funcionamiento y por consiguiente se encuentra en mal estado.

ABSTRACT

The objective of this work is to diagnose the state of the CRDi injectors, by carrying out a study of operating pressures at different revolutions in order to obtain the injection ranges and the amount of fuel injected so that these elements have a correct operation. . For this, was carried out a comparative analysis of the values obtained in the tests carried out on a new injector Bosch 0445120 361 CRIN2, a used injector Bosch 0445110 186 and a damaged injector Bosch 0445110 350. In this investigation, the practical method of data measurement was used with the that the voltage and current values of the DRV are obtained to reach the necessary pressures between 400 bars and 800 bars, in different operating regimes (500, 700, 900 and 1100 RPM) which are: for 500 RPM, 1.94V to 3.16V and 0.45A to 0.70A, for 700 RPM, 1.89V to 3.16V and 0.42A to 0.71A, for 900 RPM, 1.76V to 3.23V and 0.39A to 0.71A, for 1100 RPM, 1.50V to 3.19 V and 0.33A to 0.69A. With the data analysis method, the amount of injection and return fuel in all the injectors was determined to later make a comparison between flows and determine the state of the injectors. Taking into account the tests carried out on a new injector at different operating pressures and at different regimes, it was established that the injector is in good condition when the return flow is a quarter of the amount of injected diesel, that is, this value must represent 25 % of it. In the case of the used injector, the return flow oscillates in a range of 65% with respect to injection flow rate it which would determine that the injector is in an acceptable operating range. The damaged injector presented a 100% increase in the amount of return flow with respect to the one that it injects and enters the combustion chamber, for which reason it is determined that it is in poor condition and does not comply with the optimal operating parameters. From the results obtained, it is concluded that regardless of whether the injector is new or used, it is in good condition when the percentage of the amount of return flow ranges between 15% and 75% with respect to the flow that is injected into the engine. which means that it is in an optimal operating range and if the return fuel percentage represents 90% or more of the amount of injected diesel, the injector does not meet operating parameters and is therefore in poor condition.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad los sistemas CRDi son los más utilizados en vehículos con motores diésel 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 trabajo de investigación se realizará un diagnóstico del estado de los inyectores electrónicos de los sistemas CRDi a través del desarrollo de un estudio de presiones de funcionamiento manteniendo diferentes revoluciones, con lo que se pretende obtener los rangos óptimos de funcionamiento a partir de comparaciones entre la cantidad de caudal de inyección y retorno. El proyecto se divide en cuatro capítulos que se detalla 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 los sistemas CRDi en general.

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 la cantidad de combustible de inyección y de retorno de los inyectores, además 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 en las mediciones de caudal de inyección y retorno en un inyector nuevo, un inyector usado y un inyector dañado. De esta forma se identifica el estado de los inyectores tomando como referencia los valores de los inyectores antes mencionados.

Finalmente, en el cuarto capítulo se detalla las conclusiones y recomendaciones del proyecto realizado, con relación al análisis y diagnóstico de los inyectores del sistema common rail

CAPÍTULO I

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GENERAL

Identificar el estado de inyectores electrónicos de motores diésel a partir de presiones de funcionamiento.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar bibliográficamente sobre el funcionamiento de inyectores electrónicos CRDi.
- Implementar un banco de pruebas para diagnosticar el estado de los inyectores CRDi a partir de presiones de funcionamiento
- Determinar los parámetros de inyección a diferentes presiones y a diferente régimen en inyectores CRDi.
- Establecer una relación entre la cantidad de combustible inyectado y retorno de combustible para determinar el estado de los inyectores.

1.2 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, los sistemas CRDi son los más utilizados en vehículos de motores diésel para que estos motores funcionen de una manera óptima, se debe realizar ciertos mantenimientos o pruebas que ayuden al diagnóstico y cuidado de los elementos que componen dicho sistema.

Los inyectores electrónicos son uno de los elementos más importantes del sistema antes mencionado, ya que es el encargado de introducir y pulverizar el combustible en los cilindros para que se produzca la combustión. Es necesario identificar los valores y parámetros de funcionamiento de estos inyectores y esta información le permitiría al técnico especializado saber si es que el inyector necesita de mantenimiento o en su defecto necesita ser reemplazado, derivando así en un menor consumo de combustible y mejorando el rendimiento del motor.

El presente trabajo de investigación pretendió determinar el estado de los inyectores CRDi, de tal manera que se pueda realizar un documento o tabla donde se identifique

claramente la cantidad de combustible inyectado hacia la cámara de combustión y de retorno hacia el tanque de combustible, todo esto en función de las presiones de trabajo y a determinado régimen de giro estableciendo si cumplen o no el rango de funcionamiento óptimo (buen estado o mal estado), para el conocimiento y beneficio del personal que realiza el mantenimiento.

1.3 ALCANCE

El presente trabajo de investigación se realizó para diagnosticar el estado en que se pueden encontrar los inyectores CRDi diésel, lo cual puede influenciar en el funcionamiento y diagnóstico de dichos motores.

Para desarrollar la propuesta de investigación, se realizó pruebas y mediciones de presión a las que trabajan 3 inyectores electrónicos de diferente estado, es decir: nuevos, usados y dañados. Para el diagnóstico de los puntos antes mencionados se va a montar en el banco de bombas de inyección electrónica que facilite la presión del combustible necesaria para que el inyector entre en funcionamiento, consiguiendo de esta manera determinar los rangos a los cuales debe trabajar y decir si un inyector está apto o no para el funcionamiento del motor. Cabe recalcar que se estimara solo la presión de un correcto funcionamiento y en el caso de los inyectores dañados o en mal estado no se los va a reparar.

1.4 ANTECEDENTES

La incorporación de inyección directa y regulación electrónica en estos motores llega para complementar y mejorar sus características (Zapatería, 2001). Siendo estas las emisiones contaminantes, el torque, potencia del vehículo y consumo de combustible, dichas características se obtienen regulando la cantidad de combustible que se inyecta en el momento exacto del ciclo termodinámico.

Los inyectores electrónicos son una parte fundamental del sistema de inyección de combustible en los motores diésel (Castillejo Calle, 2014). Estos han venido evolucionando y actualizando sus configuraciones y parámetros de funcionamiento hasta llegar al sistema CRDi desarrollado por Magneti Marelli y Fiat, a inicios de 1990 para posteriormente ser industrializado a gran parte del mundo y en proporciones de altas, logrando de esa manera que varias marcas de automóviles opten por incorporar dichos sistemas en sus vehículos.

Actualmente existen exigencias en términos de emisiones de gases, ruido, economía y desempeño para los motores diésel (Bosch, Productos de inyección diesel, 2014) Eso hace que los fabricantes estén innovando y modificando constantemente la creación y producción de motores, lo que deriva en nuevas actualizaciones de sistemas como es el de inyección CRDi

El resultado de la aplicación de este sistema, se obtiene una mayor suavidad de funcionamiento. Haciendo que el par del motor incremente en un 50% así como la potencia en un 25%, todo esto sometido a bajo régimen de revoluciones, provocando que el consumo de combustible baje en un 20%. Una justificación general que sostenga este y otros sistemas que son gestionados electrónicamente, es el propósito de estar dentro de los parámetros futuros con respecto a la contaminación ambiental, que serán muy restrictivas en cuanto a las cantidades permitidas de partículas de hollín, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y monóxidos de carbono.

1.5 HISTORIA DEL MOTOR A DIESEL

El motor Diésel es una máquina por la cual la energía acumulada en el combustible, se libera por medio de la combustión, transformándola en energía mecánica. (Almarza Padilla , 2018).

Esta máquina fue creado por Rudolf Diésel un ingeniero de origen alemán en el año de 1893, el cual se dedicaba al estudio de motores de alto rendimiento térmico. Para la combustión de estos motores utilizaba combustibles alternativos y no necesitaba de ignición.

Dicho motor puede trabajar en ciclos de cuatro o dos tiempos, así como también con una sobre alimentación o una aspiración normal y son muy utilizados en la mayoría de la zona industrial.

1.6 MOTOR DIESEL MECÁNICO (INYECCIÓN MECÁNICA)

Las primeras tecnologías en cuanto a inyección diésel se refiere, datan de los años 90 específicamente en el año 1927, donde el fabricante de piezas automotrices Bosch elaboro el sistema conocido como bomba inyectora en línea de serie. Que eran utilizados en todo tipo de vehículos, desde automóviles comerciales hasta transporte de carga pesada y liviana.

En las bombas de inyección lineales, cada cilindro del motor recibe el diésel por medio de un elemento que está conectado a la bomba que está dispuesta en línea; por eso el nombre "bomba en línea".

1.7 MOTOR DIESEL CON CONTROL ELECTRÓNICO

El motor diésel es el que más tarde ha incorporado el control electrónico de la gama de aplicaciones para vehículos (Troya Reyes, 2017). Y han evolucionado cambiando su estructura y parámetros de funcionamiento logrando así ser más eficientes en cuanto a aplicaciones de automoción se refiere.

Con las nuevas tecnologías sistema CRDi, todo el proceso de inyección y generación de presión se lo realiza de manera separada, lo que causa que el gasoil disponga siempre de la presión necesaria para inyectar cuando la unidad de control electrónica lo disponga.

Tabla 1.1 Características de diferentes sistemas de inyección

INYECCIÓN CONVENCIONAL	INYECCIÓN CRDi
Tiene más pérdidas de calor cedido a las paredes del cilindro, porque el combustible está repartido por toda la cámara de combustión y al prender la calienta más.	Una inyección de combustible limpia y muy eficiente debido a las extremadamente cortas distancias de pulverización y a la inyección múltiple.
El suministro de combustible no es tan exacto como con la inyección directa, así que es menos estable al trabajar con regímenes de ralentí bajos	Ajusta con precisión, el caudal inyectado, el avance, la presión de inyección, en función de las necesidades del motor
Presenta una relación de compresión menor por lo que se reduce el rendimiento térmico del motor	Una potencia de motor alta y un buen funcionamiento con un nivel de consumo y emisiones bajo.
Presiones de 130 bares, bajo rendimiento	Presiones de inyección 2000 bares mejorando el rendimiento

1.8 SISTEMA DE INYECCION CRDi

En este sistema, la bomba genera alta presión que está disponible para todos los inyectores a través de una galería común, que puede ser controlada independiente de la revolución del motor (Bosch, Sistemas Modernos de Inyección a Diesel Unidades Completas y su despiece, 2015). Ciertos parámetros de funcionamiento son calculados por una unidad de control que recibe la información a través de sensores presentes en el motor, dichos elementos controlan el principio y fin de la inyección, así como también la presión del combustible.

El common-rail recibe esta denominación debido a que la distribución del combustible hacia los cilindros está constituida por un único riel al que se conectan todos los inyectores del sistema (Gracia García, 2015)

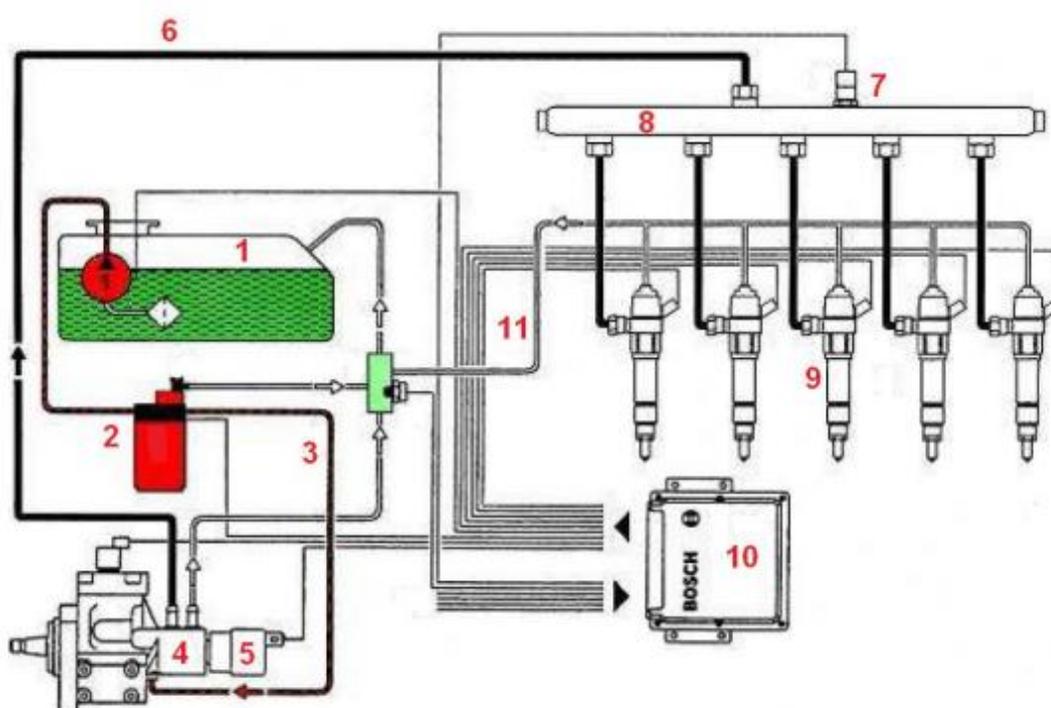


Figura 1.1 Sistema de inyección CRDi

Fuente: (Gómez Ullauri, 2012)

1.9 FUNCIONAMIENTO

La presión de inyección se genera independientemente del régimen del motor y del caudal de inyección. El sistema de Regulación Electrónica Diésel controla cada uno de los componentes (Coral De La Cadena, 2013). El combustible almacenado en el tanque a baja presión, es aspirado por una bomba de transferencia que puede estar internamente en la bomba de alta presión o presurizado por una bomba eléctrica dentro del tanque de

combustible, las presiones de inyección pueden variar desde unos 300 bar hasta 1600 bar, según las condiciones de funcionamiento (Castro Mediavilla & Gonzáles Torres, 2019).

La apertura de los inyectores es controlada por la unidad de control electrónico (ECU), además mejora el funcionamiento y reduce los niveles de emisiones de gases de escape (Salazar Montalván, 2015)

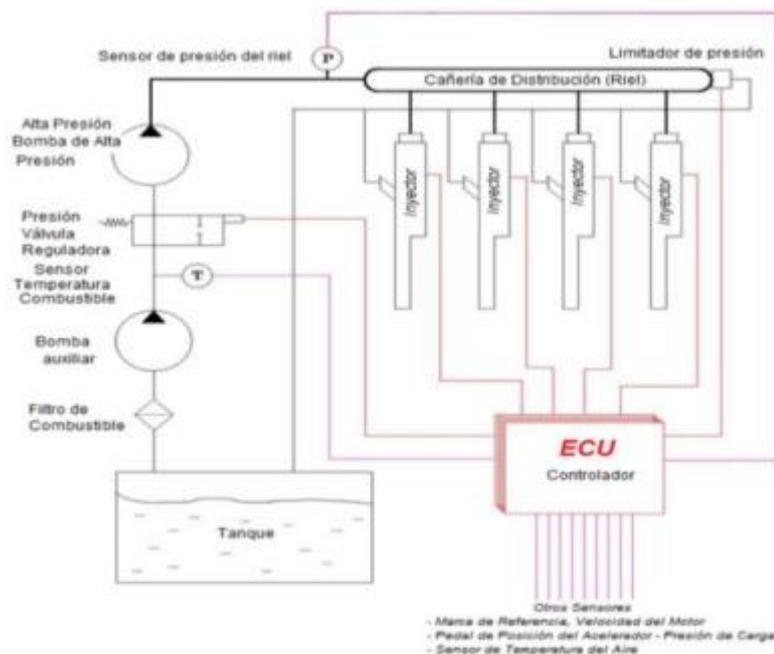


Figura 1.2 Funcionamiento del sistema CRDi

Fuente: (Castro Mediavilla & Gonzáles Torres, 2019)

1.10 VENTAJAS DEL SISTEMA CRDi

En el sistema CRDi el combustible está siempre disponible y mantiene una presión estable para un correcto funcionamiento de inyección, ya que dichos aspectos se generan de maneras separadas. A diferencia de los sistemas de inyección diésel tradicionales que generan de manera individual la presión del combustible para la inyección.

Las principales ventajas que poseen estos sistemas son:

- El combustible es inyectado de una manera más limpia y eficiente esto debido a que la velocidad y carga del motor no están directamente relacionados con la presión del diésel, derivando en una optimización de rendimiento y bajas emisiones.

- Presenta un ruido reducido en su funcionamiento ya que realiza pequeñas entregas de combustible antes de la inyección principal, lo que genera una producción más baja de óxidos de nitrógeno (NO_x).
- El sistema de inyección de combustible “Common Rail” es controlado electrónicamente para cumplir con una combustión óptima.

1.11 COMPARACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INYECCIÓN

Con el tiempo los fabricantes de motores han efectuado cambios de diseño importantes en el sistema de combustible. Los nuevos diseños han mejorado el rendimiento del motor y reducido las emisiones (Vallejo Castillo, 2015). Dichos cambios se efectuaron por la necesidad de un control más fino de la combustión para un mayor aprovechamiento energético. Además de las imposiciones ambientalistas que van siendo más estrictas con el pasar del tiempo.

Tabla 1.2 Propiedades y datos característicos de los sistemas de inyección

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, Regulación_electrónica_diesel_EDC., 2002)

1.12 COMPONENTES DEL SISTEMA CRDi

1.12.1 Bomba eléctrica de cebado de baja presión (Transferencia)

La bomba de transferencia es la encargada de succionar el combustible directamente desde el tanque para posteriormente enviarlo hacia la bomba de alta presión con una presión de transferencia de 5 a 6 bares. (Muñoz Vizhñay & Correa Gárate, 2017).

El combustible es succionado atreves de un conducto por depresión, esta es generada por la bomba que gira en sentido anti horario, cuando el volumen requerido por la bomba se completa, el diésel es pasado por un filtro y enviado hacia la bomba de alta presión.

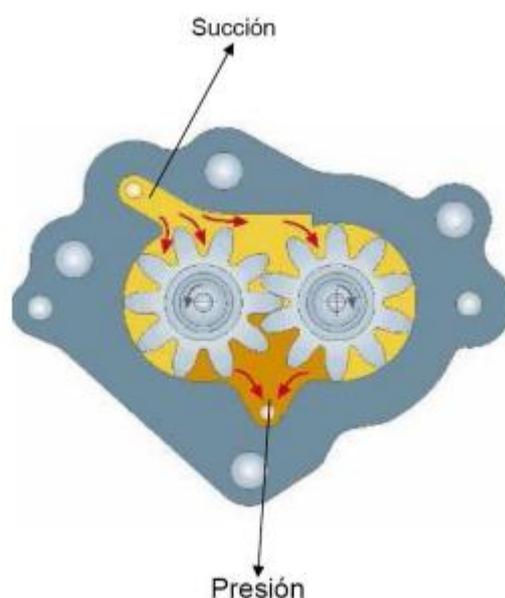


Figura 1.3 Bomba de baja presión

Fuente: Entrenamiento del sistema common rail, Bosch

1.12.2 Bomba de alta presión

La bomba de alta presión tiene como objetivo mantener la presión constante necesaria para un buen funcionamiento independientemente de las revoluciones del motor sean estas, bajas o altas.

El pistón distribuidor ejecuta un movimiento rotativo y axial (de vaivén). Cuando el pistón regresa al PMI (punto muerto inferior) libera la entrada del diésel en la cámara de alta presión a través de uno de los canales de alimentación. El pistón distribuidor avanza, comprimiendo el combustible en la cámara de alta presión, hasta alcanzar el PMS (punto muerto superior), enviando el combustible para uno de los cilindros del motor, a través de la porta válvula. (Bosch, Sistemas Modernos de Inyección a Diesel Unidades Completas y su despiece, 2015)

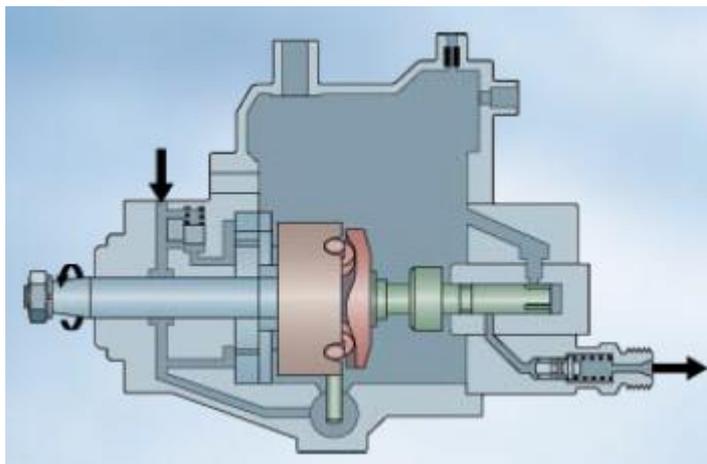


Figura 1.4 Bomba de alta presión

Fuente: (Bosch, Sistemas Modernos de Inyección a Diesel Unidades Completas y su despiece, 2015)

1.12.3 Riel

Es el elemento encargado de acumular la presión que proviene desde la bomba de alta presión y envía a los inyectores a través de las cañerías. Su estructura es de forma cilíndrica que evita los puntos donde se concentran los esfuerzos por las altas presiones (Cobo Baquerizo, 2013) El riel puede soportar presiones de hasta 2500 bares.



Figura 1.5 Riel de alta presión

Fuente: (Cobo Baquerizo, 2013)

1.12.4 Regulador de presión

La función principal es ajustar y modificar la presión del combustible en todo el sistema de alta presión, desde la bomba hasta la aguja del inyector. El regulador posee en su estructura, un diafragma y un resorte los cuales se abren y cierran tomando en cuenta la presión del combustible. Cuando la presión está por debajo de lo requerido por el regulador, la válvula permanece cerrada hasta que la bomba consiga presurizar el sistema y después de alcanzar la presión ideal en la línea, el regulador abre la válvula, permitiendo que el exceso de combustible vuelva al tanque.

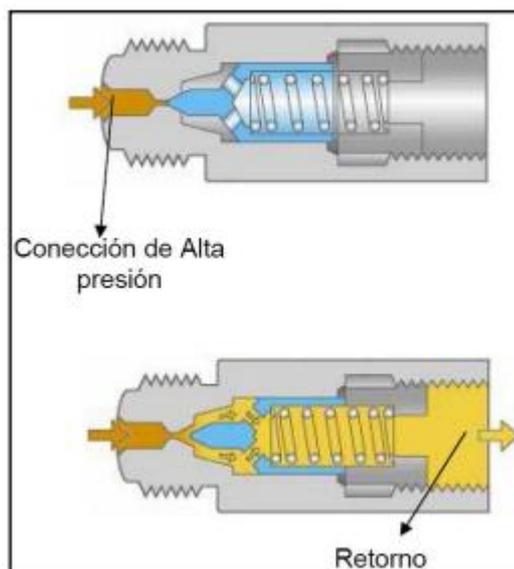


Figura 1.6 Regulador de presión

Fuente: (Gómez Ullauri, 2012)

1.12.5 Sistema electrónico de control

La regulación electrónica diésel es preparada 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. (Guevara Rodríguez & Becerra Tapia, 2022)

Este sistema tiene como división tres conjuntos principales:

- **Sensores:** son dispositivos capaces de medir magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas, en función de las condiciones de trabajo del motor.
- **Actuadores:** son componentes que se activan por media de la energía recibida de la unidad de control transformándolas en una orden de actuación, que puede ser hidráulica, neumática, eléctrica o automática.
- **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 (Guevara Rodríguez & Becerra Tapia, 2022)

1.12.6 Inyectores

La función que cumple un inyector es realizar la pulverización del combustible e introducirlo en la cámara de combustión para su correcta distribución. Para que esta atomización se ejecute es necesario que el combustible adquiriera una velocidad determinada y que la relación longitud-diámetro del orificio tenga un cierto valor. (Suntaxi Córdor, 2018)

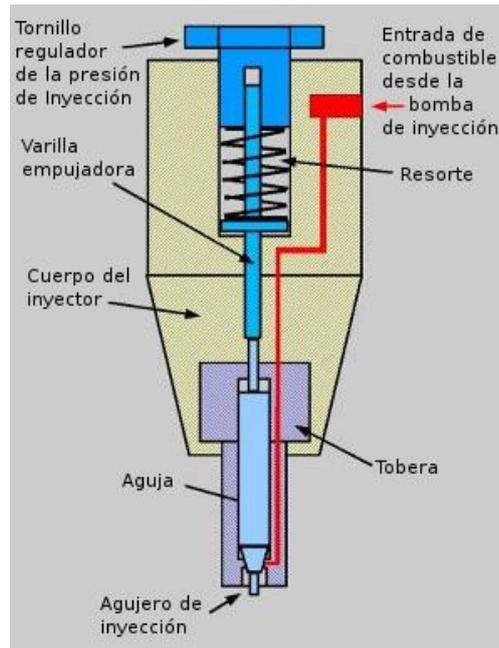


Figura 1.7 Inyector CRDi

Fuente: (Orrantia Lingen, 2018)

1.13 INYECTOR CRDi

El inyector utilizado en los sistemas CRDi se activa de forma electrónica a diferencia de los utilizados en los sistemas de bomba lineal y rotativa, consiguiendo más precisión a la hora de inyectar el combustible y se simplifica el sistema de inyección. (Carrasco Palomeque, 2011).

Estos inyectores presentan distintas características que se detallan a continuación, según (cita tesis pdf):

- El inyector pulveriza el combustible a presión de la rampa en la cámara, donde se produce la combustión del motor en función del volumen, calado, relación y modelo de inyección.
- La válvula encargada de controlar la inyección se denomina TWV, ajusta la presión de la cámara para controlar el inicio y final de la inyección. Un orificio es el encargado de controlar la relación de inyección manteniendo el régimen en el cual se abre la tobera.
- El pistón de mando es el encargado de abrir y cerrar la válvula cuando transmite la presión de la cámara de control a la aguja de la tobera.
- Cuando se produce la apertura de la válvula de la aguja de la tobera, se produce la pulverización del combustible y lo inyecta.

- Alcanza una alta presión de inyección y puede proporcionar hasta cinco inyecciones múltiples precisa.

1.13.1 Constitución de los inyectores electrónicos

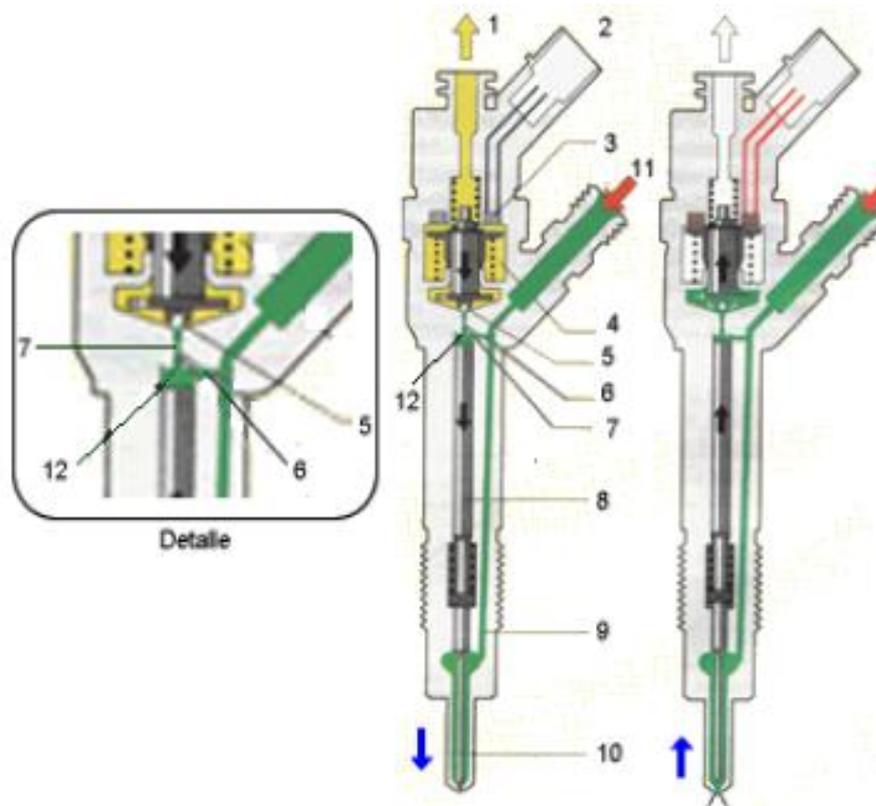


Figura 1.8 Partes del inyector electrónico CRDi

Fuente: (Barthelotti Iturralde, Estrella Murillo, & Mosquera Salcedo, 2017)

1. Conexión electrónica
2. Electroválvula
3. Muelle de apertura y cierre
4. Bola de la válvula
5. Paso del combustible
6. Estrangulador de entrada
7. Estrangulador de salida
8. Embolo de control de válvula
9. Conducto de combustible
10. Aguja del inyector
11. Ingreso de combustible a presión
12. Cámara de control

1.14 TIPOS DE INYECTORES CRDi

1.14.1 Inyector con válvula selenoide

Este inyector es también conocido como de bobina, son considerados como los de primera generación ya que fueron uno de los primeros en ser fabricados.

La atomización del combustible por parte de un inyector de bobina y la alta presión alcanza un margen de funcionamiento entre 350 a 1200 bares, aumentando el par y por tanto la potencia en todo el rango de revoluciones, de esta manera se reduce el consumo de combustible y la cantidad de emisiones contaminantes. (Auz Montenegro, 2018)

El funcionamiento de estos inyectores se puede dividir de cuatro maneras de operación:

Inyector en reposo (cerrado)

En la figura se muestra que la electroválvula se encuentra en estado de reposo y por lo tanto se encuentra cerrado, el estrangulamiento de salida que hace que la presión del combustible sea igual en la cámara de control que en el volumen de cámara de la tobera por lo que la aguja del inyector permanece apretado sobre su asiento en la tobera empujada por el muelle del inyector, pero sobre todo la aguja se mantiene cerrada porque la presión en la cámara de control y el volumen de cámara de la tobera actúan sobre áreas distintas.

La primera actúa sobre el émbolo de control y la segunda sobre la diferencia de diámetros de la aguja, Qué es un área menor y por lo tanto la fuerza que empuja la aguja contra el asiento es mayor que la fuerza en sentido contrario, qué tendería a abrirla. El muelle aunque ayuda aporta una fuerza muy pequeña (Medina Pacheco, 2011)

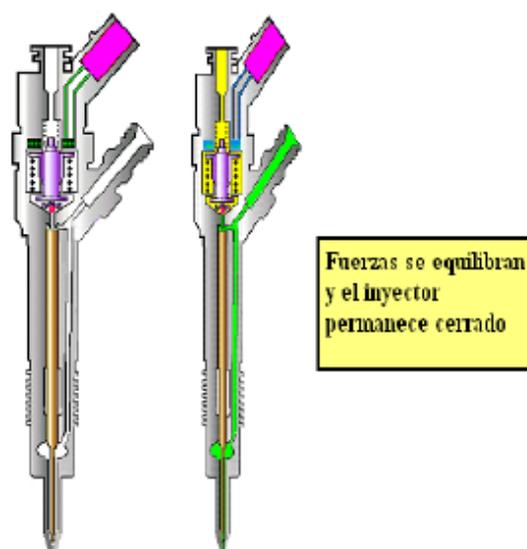


Figura 1.9 Inyector cerrado

Fuente: (Carrasco Palomeque, 2011)

Inyector semiabierto (inicio de inyección)

Cuando el terminal eléctrico inicia su excitación, se eleva dando apertura al paso de fuga de la cámara de control. Cuando el paso de fuga tiene apertura, el combustible de la cámara de control emerge y la presión disminuye. Con esta caída de presión dentro de la cámara de control, la presión de la aguja es impulsada hacia arriba e inicia la inyección. Cuando existen fugas de combustible desde la cámara de control se restringe el volumen de flujo mediante el orificio, así la tobera se abre gradualmente incrementando la relación de inyección. Al prolongar la aplicación de corriente al terminal eléctrico se da un momento en que la aguja alcanza la elevación máxima efectuándose la máxima relación de inyección. El combustible excedente retorna al depósito.

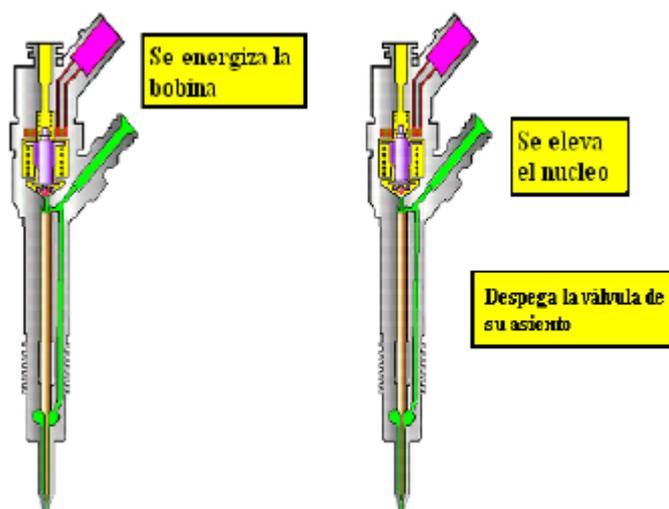


Figura 1.10 Inyector parcialmente abierto

Fuente: (Medina Pacheco, 2011)

Inyector totalmente abierto

La velocidad de apertura de la aguja del inyector queda determinada por la diferencia de flujo entre el estrangulador de entrada y el de salida. El émbolo de mando alcanza su tope superior y permanece retenido ahí mediante un volumen de combustible con efecto amortiguador (tope hidráulico). Este volumen se produce por el flujo de combustible que se establece entre el estrangulador de entrada y de salida. La tobera del inyector está ahora totalmente abierta y el combustible es inyectado en la cámara de combustión con una presión prácticamente equivalente a la existente en el acumulador. La distribución de fuerzas en el inyector es similar a la existente durante la fase de apertura. El caudal de combustible es, con una presión determinada, proporcional al tiempo de conexión de la válvula electromagnética y es independiente del

número de revoluciones del motor o de la bomba (inyección controlada temporalmente). (Castillejo Calle, 2014)

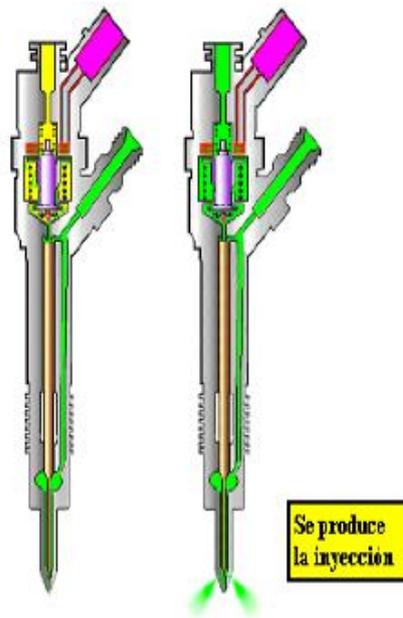


Figura 1.11 Inyector abierto

Fuente: (Carrasco Palomeque, 2011)

Inyector cerrado (final de la inyección)

Cuando el solenoide deja de recibir pulso, desaparece la fuerza electromagnética que atraía al vástago. La bolita desciende y se recupera la presión en la parte superior del pistón al entrar el combustible en el volumen de control a través del orificio de control de entrada. Esto hace que la aguja de la tobera descienda hasta apoyarse nuevamente sobre su asiento, poniendo fin a la inyección. (Gracia García, 2015)

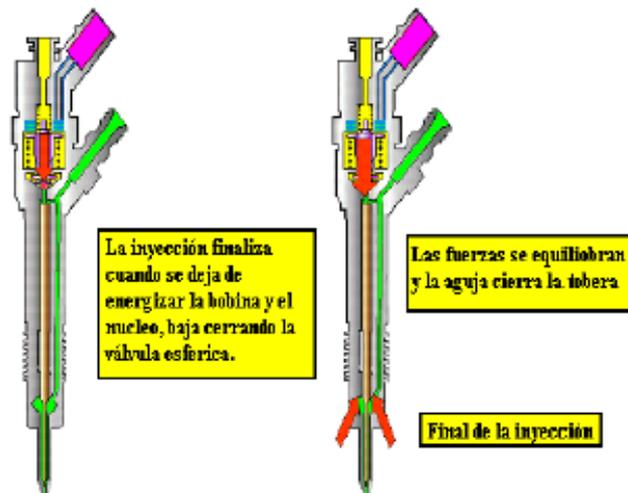


Figura 1.12 Inyector cerrado (final de la inyección)

Fuente: (Medina Pacheco, 2011)

1.14.2 Inyector piezoeléctrico

La finalidad del inyector es suministrar la cantidad requerida y dosificada de combustible en el momento correcto con una variación lo más mínimo que sea posible del volumen de inyección y demora en el comienzo de la inyección. (Ayora Rivera, 2017)

Estos inyectores trabajan con un elemento piezoeléctrico, el cual está formado por unas placas metálicas separadas por un dieléctrico de cuarzo, semejante a la construcción de un condensador de placas planas. (Gómez Ullauri, 2012).

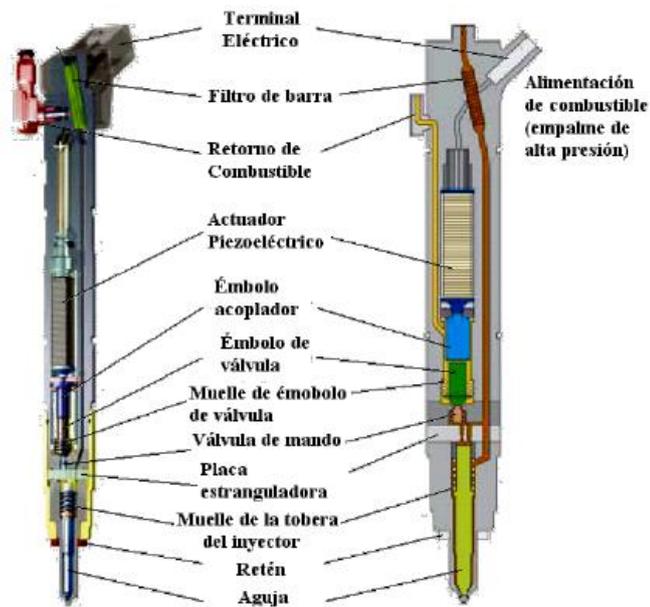


Figura 1.13 Constitución de inyector piezoeléctrico

Fuente: (Palacios Quiroz, 2016)

1.14.3 Actuador piezoeléctrico

Está constituido por una gran cantidad de elementos piezoeléctricos, para poder conseguir un recorrido de suficiente magnitud para la gestión del inyector. Al aplicarse la tensión el actuador piezoeléctrico se dilata hasta 0.03 mm con una tensión de excitación de 110-148 voltios. (Barco Vargas, 2010).

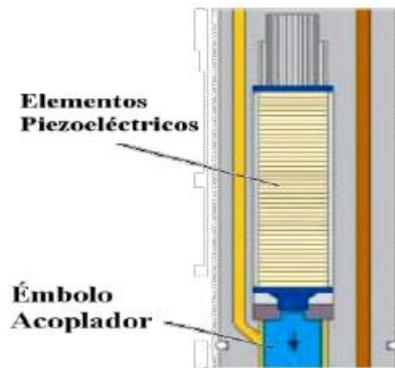


Figura 1.14 Actuador piezoeléctrico

Fuente: (Cabascango Oña & Dávila Auz, 2014)

Funcionamiento

El funcionamiento es similar a los inyectores de electroválvula y es controlado por un conjunto piezoeléctrico y palanca. Este está formado por varios cientos de capas de cuarzo cuya propiedad es deformarse cuando reciben un impulso eléctrico. El sistema tiene la ventaja de ser extremadamente rápido y por lo tanto se mejora la dosificación y el punto de inyección.

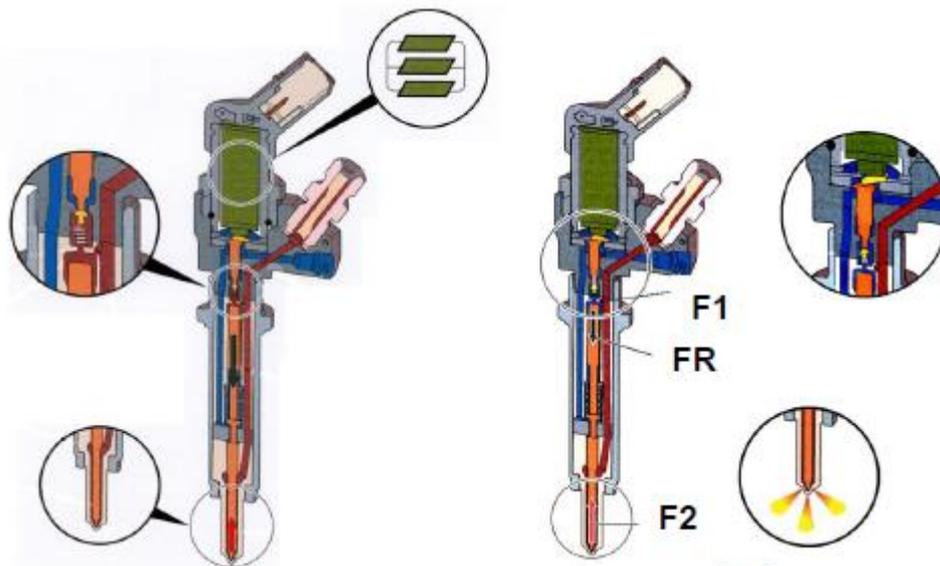


Figura 1.15 Funcionamiento inyector piezoeléctrico

(Cobo Baquerizo, 2013)

F1: Fuerza resultante de la presión en la cámara de control

F2: Fuerza de la cámara de presión

FR: Fuerza del resorte de calibración del inyector

Inyector cerrado

Cuando el resultado de las sumatorias de fuerzas de la cámara de control y la del resorte de calibración es menor a la fuerza de la cámara de presión se establece que el inyector está cerrado ya que, el piezoeléctrico de control se encuentra sin alimentación eléctrica, la seta de cierre presente en el cuarzo cierra el canal de retorno gracias a su resorte.

La alta presión es idéntica en el cámara de presión y cámara de control ($F1 = F2$).

El resorte de calibración mantiene la aguja en su asiento.

Inyector abierto

Cuando el resultado de las sumatorias de fuerzas de la cámara de control y la del resorte de calibración es mayor a la fuerza de la cámara de presión se establece que el inyector está abierto ya que, el control piezoeléctrico está alimentado. Se relaja y actúa sobre la palanca del amplificador. La palanca hace que el pistón se mueva ocasionando que el mando que presiona la seta de cierre creando así una fuga hacia el retorno. Debido a la boquilla, la presión cae en la cámara de control y no en la cámara de presión haciendo que el inyector se abra y rocié el combustible.

1.15 MARCAS DE SISTEMAS CRDi

1.15.1 Sistema CRDi Bosch

En la tabla 1.3 se detalla las principales características de los sistemas CRDi Bosch

Tabla 1.3 Características del Sistema CRDi BOSCH

NÚMERO	CARACTERÍSTICAS
1	Utiliza una bomba de transferencia eléctrica
2	En otros casos la transferencia es mecánica ya que incorpora una bomba mecánica a la bomba de alta presión
3	Posee una bomba de alta presión de 3 lóbulos que alimentan de combustible al riel de alta, estos lóbulos están dispuestos por una separación angular de 120°
4	Posee un sensor de presión en la rampa de alta denominada IPR (Sensor de presión del Riel).
5	Utiliza inyectores bobinados, la resistencia del inyector es de 0.5 a 0.8 ohm
6	La presión del inyector es de 220 Bar en mínima a 1350 Bar máximo

Fuente: (Valencia Villarroel, 2017)

1.15.2 Sistema CRDi Denso

En la tabla 1.4 se detalla las principales características de los sistemas CRDi Denso

Tabla 1.4 Características del Sistema CRDi DENSO.

NÚMERO	CARACTERÍSTICAS
1	Trabaja con una bomba de transferencia mecánica incorporada a la bomba de alta presión
2	Utiliza una bomba de 2 elementos radiales que trabajan por medio de un eje de levas
3	En algunas versiones el acumulador de presión o riel es de forma esférica
4	Este tipo de bombas poseen un sensor de temperatura del combustible y una válvula de control de succión SCV (Válvula de control de succión).
5	La presión de inyección en mínima es de 250 Bar y una máxima de 1600 Bar.
6	El control de presión de inyección la realiza los mismos inyectores, los cuales además de inyectar, son actuadores para regular la presión
7	Posee inyectores bobinados que tienen una resistencia interna de 0.2 ohm, lo que le otorga una respuesta rápida de trabajo

Fuente: (Valencia Villarroel, 2017)

1.15.3 Sistema CRDi Siemens

En la tabla 1.3 se detalla las principales características de los sistemas CRDi Siemens

Tabla 1.5 Características del sistema CRDi SIEMENS.

NÚMERO	CARACTERÍSTICAS
1	La bomba de transferencia es mecánica, está incorporada a la bomba de alta presión
2	Trabaja con una bomba de alta de presión dispuesta por tres lóbulos de accionamiento para generar alta presión del diésel, están dispuestos por una separación angular de 120°.
3	Posee un sensor denominado IPR (Sensor de presión del riel)
4	Trabaja con una válvula reguladora de caudal denominada SCV (Válvula de control de succión), esta regula la cantidad de combustible que se envía a comprimir en la etapa de alta presión
5	Utiliza inyectores piezoeléctricos, trabajan con un voltaje de alrededor de 100 a 140v y tiempos de inyección muy cortos de 0.3ms.
6	Presión de inyección mínima 250 Bar a 1600 Bar en máxima.
7	Una característica de este sistema es que realiza 5 inyecciones en un ciclo de trabajo, es decir 2 preinyecciones, una principal y 2 pos inyecciones. El objetivo de este tipo de inyecciones es disminuir el ruido y generar mucha más potencia con menos contaminación.

Fuente: (Valencia Villarroel, 2017)

1.15.4 Sistema CRDi Delphi

En la tabla 1.3 se detalla las principales características de los sistemas CRDi Delphi

Tabla 1.6 Características del Sistema CRDi DELPHI

NÚMERO	CARACTERÍSTICAS
1	Trabaja con una bomba de transferencia mecánica incorporada a la bomba de alta presión
2	Utiliza una bomba de 2 elementos radiales que trabajan por medio de un eje de levas
3	En algunas versiones el acumulador de presión o riel es de forma esférica
4	Este tipo de bombas poseen un sensor de temperatura del combustible y una válvula de control de succión SCV (Válvula de control de succión).
5	La presión de inyección en mínima es de 250 Bar y una máxima de 1600 Bar.
6	El control de presión de inyección la realiza los mismos inyectores, los cuales además de inyectar, son actuadores para regular la presión
7	Posee inyectores bobinados que tienen una resistencia interna de 0.2 ohm, lo que le otorga una respuesta rápida de trabajo

Fuente: (Valencia Villarroel, 2017)

CAPÍTULO II

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de investigación tiene como propósito diagnosticar el estado de los inyectores electrónicos en motores diésel CRDi, por medio de la realización de un estudio de presiones a diferentes revoluciones con la finalidad de obtener los rangos de caudales de inyección y retorno requeridos para un buen funcionamiento de los inyectores del sistema de riel común para un mejor desempeño de los vehículos que disponen de este tipo de sistema en su estructura.

2.2 MATERIALES

Los equipos que se utilizaron para esta investigación del diagnóstico del estado de los inyectores del sistema CRDi se detallan a continuación, mismos que permitieron obtener los valores de caudal y retorno de inyección de combustible para determinar el óptimo funcionamiento de los mismos.

La lista de equipos y materiales son instalados en un banco de pruebas que ayuda la obtención de parámetros de funcionamiento para el diagnóstico de los inyectores CRDi. En la Figura 2.1 se indica el equipo completo utilizado para la presente investigación.

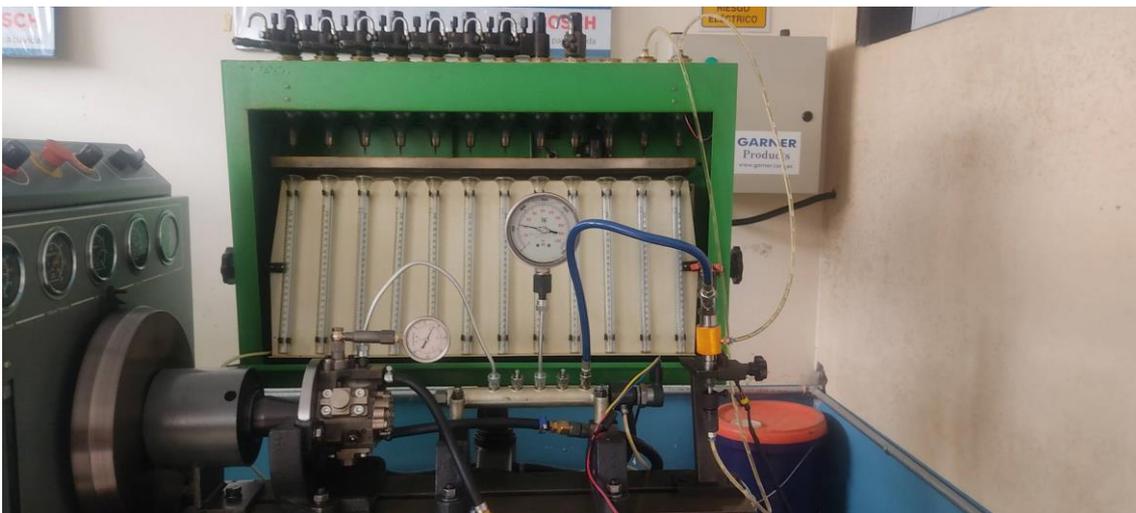


Figura 2.1 Banco de Pruebas sistema CRDi

A continuación, se presentan las especificaciones de los elementos más utilizados, así como sus respectivas características.

2.2.1 Bomba de inyección de alta presión

La CP1 es la primera generación de bomba de riel común de Bosch con pistón radial de 3 émbolos y puede generar una presión de combustible de hasta 1400 bar.

Tabla 2.1 Especificaciones técnicas de la bomba CP1

Especificaciones técnicas	CP1H
Número de cilindros	3
Presión del sistema (bar)	1400
Presión controlada por	Unidad de medida
Válvula de cierre del elemento (combustible)	No
Acoplamiento de accionamiento	Gear
Aplicación	PCV, LCV

2.2.2 Riel de combustible

- Fabricado en acero forjado para soportar un rango de presión de 1400 a 2700 bar
- Posee soportes para el sensor de presión del riel (RDS) o válvula de alivio de presión (DBV4) o válvula de control de presión (DRV1/2/3)
- Almacena el combustible a la presión requerida en cada momento, independientemente de la velocidad del motor y la carga.

2.2.3 Válvula DRV

Tabla 2.2 Especificaciones de la válvula reguladora de presión

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	Riel común
Peso	320 gr
Número de pines	2

2.2.4 Fuente de voltaje variable (WANPTEK KPS3010DF)



Figura 2.2 Fuente de voltaje variable

En la Tabla 2.3 se indica las características técnicas del regulador de voltaje variable.

Tabla 2.3 Características fuente de energía 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

2.2.5 Manómetros

En las tablas 2.5 y 2.6 se detalla las características de los manómetros de la presión de transferencia y la alta presión del sistema CRDi.

Tabla 2.4 Características Manómetro de baja presión

Características Manómetro de baja presión	
Marca	NUOVA FIMA
Ubicación	Bomba de alta presión
Presión máxima	20 bares
Presión de medición	5 – 7 bares
Medición	Presión de transferencia

Tabla 2.5 Características Manómetro de alta presión

Características Manómetro de alta presión	
Marca	NUOVA FIMA
Ubicación	Cuerpo del riel común
Presión máxima	2000 bares
Presión de medición	400 – 800 bares
Medición	Alta presión del riel

2.2.6 Cañerías de alta presión

Están construidas con un diámetro de externo de 6 mm y un diámetro interno de 2.4mm. Se encargan de conectar cada inyector con cada salida del riel permitiendo el paso del combustible y manteniendo su alta presión. Para esta investigación se utilizaron cañerías con terminaciones o acoples de 12mm, 14mm y 17mm.

**Figura 2.3:** Cañería de alta presión

2.2.7 Inyector Bosch 0445120 361CRIN2

- Voltaje de activación de entre 70 y 80 V.
- Variación de corriente entre 12 y 20 A
- Resistencia del inyector es de 0.5 a 0.8 ohm
- Presión de trabajo entre 220 y 1350 Bar

2.2.8 Inyector Bosch 0445110 186

- Voltaje de activación de entre 70 y 80 V.
- Variación de corriente entre 12 y 20 A
- Resistencia del inyector es de 0.5 a 0.8 ohm
- Presión de trabajo entre 220 y 1350 Bar

2.2.9 Inyector Bosch 0445110 350

- Voltaje de activación de entre 70 y 80 V.
- Variación de corriente entre 12 y 20 A
- Resistencia del inyector es de 0.5 a 0.8 ohm
- Presión de trabajo entre 220 y 1350 Bar

2.3 MÉTODO

Para este estudio se utilizó el método de medición, que recopiló datos de voltaje y corriente presentes en la válvula reguladora de presión, así como también el caudal de inyección y caudal de retorno. Todo esto sometido a diferentes aspectos de trabajo como lo es, diferentes presiones de funcionamiento y revoluciones por minuto. A su vez realizando un procedimiento de análisis de datos se determinó el estado de los inyectores electrónicos por medio de una comparativa de valores de un inyector nuevo, usado y dañado.

2.3.1 Montaje en el banco

Los equipos para el diagnóstico de los inyectores CRDi en función de diferentes presiones de operación, se instalan a continuación del banco de calibración de bombas de inyección. Estas conexiones se deben realizar de manera correcta con un ajuste apropiado de todos

elementos ya que al trabajar con elevadas presiones de funcionamiento pueden significar un riesgo para el operador.

En la figura 2.4 mostrada a continuación se puede apreciar todos los elementos a instalar para la obtención de datos y realización de pruebas.



Figura 2.4 Elementos del banco de pruebas

En el flujoograma presentado la figura 2.5 se muestra el proceso a seguir de las instalaciones de todos los equipos

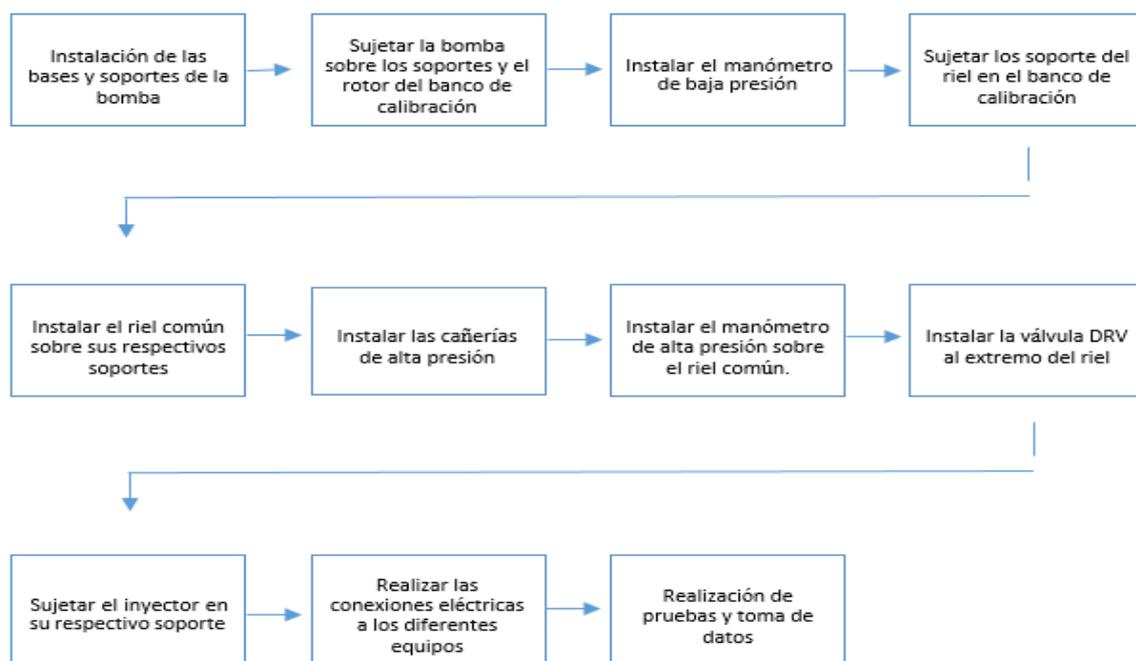


Figura 2.5 Flujo grama

Para un óptimo funcionamiento del sistema se debe instalar los equipos en orden específico que se detalla en el flujograma de la imagen 2.4. Inicialmente se instala los soportes y bases de la bomba de alta presión, para posteriormente unir la bomba al banco de pruebas que proporcionara el giro a la misma como se muestra en la imagen 2.6

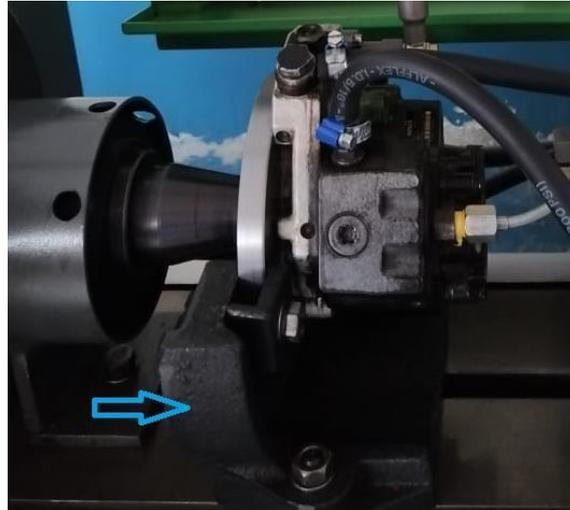


Figura 2.6 Bomba de alta presión con soportes

A continuación, se instala el manómetro de la presión de transferencia que tiene una denominación de 20 bares como máximo, este nos ayudara a determinar cuál es la presión de succión del combustible que debe variar entre 5 y 7 bares.

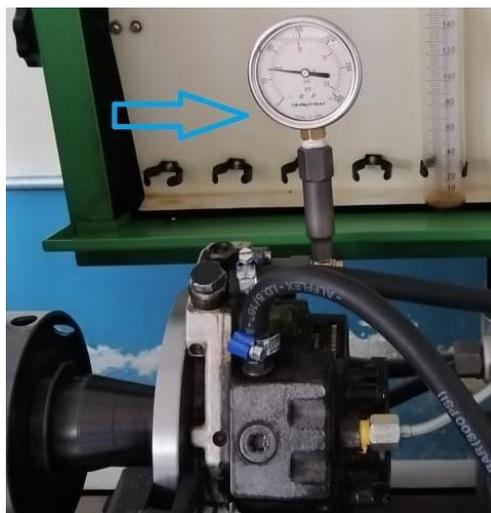


Figura 2.7 Manómetro de presión de transferencia

Ya que se encuentra instalada la bomba con sus respectivos soportes y manómetro, se instala el riel a continuación de la misma tomando en cuenta la distancia entre conectores de rosca

para que la cañería de alta presión calce se manera correcta, esto es muy importante ya que es la que transfiere la alta presión hacia el riel.



Figura 2.8 Instalación del riel común

Posteriormente después de instalar el riel común, se acopla el manómetro de alta presión que tiene una denominación máxima de 2000 bares a una de las salidas del riel, esto para poder tener una apreciación exacta de la presión con la que está trabajando el sistema. A demás se instala la válvula reguladora de presión que nos ayudara a modificar la presión de funcionamiento para realizar diferentes pruebas, todo esto a través del cambio de corriente y voltaje en la misma.

Es importante mencionar que en existen salidas en el riel que no serán utilizadas y es recomendable que se las selle con tapones para garantizar la hermeticidad en el sistema.

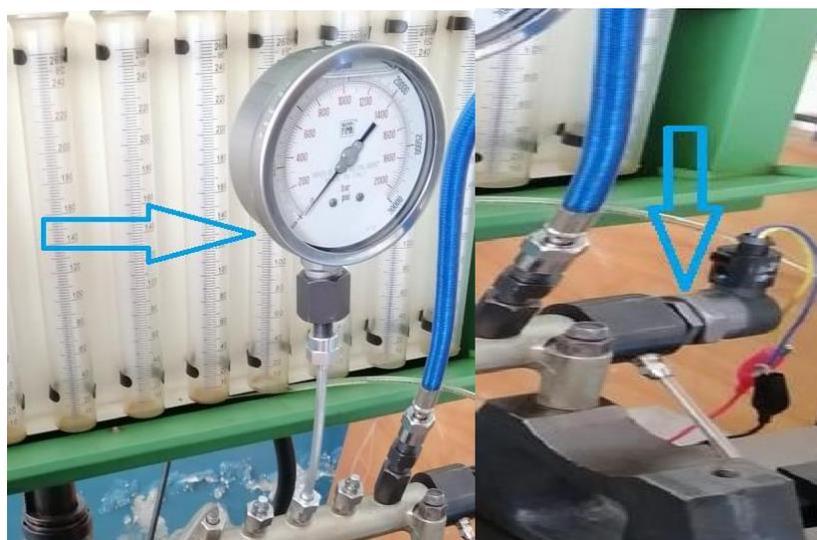


Figura 2.9 Instalación manómetro de alta presión y válvula reguladora de presión

Seguidamente se instala el inyector con su respectivo soporte y cañería de alta presión, así como también unas mangueras que nos ayudaran a trasladar el combustible inyectado y de retorno hacia las probetas para la respectiva medición de cantidad.

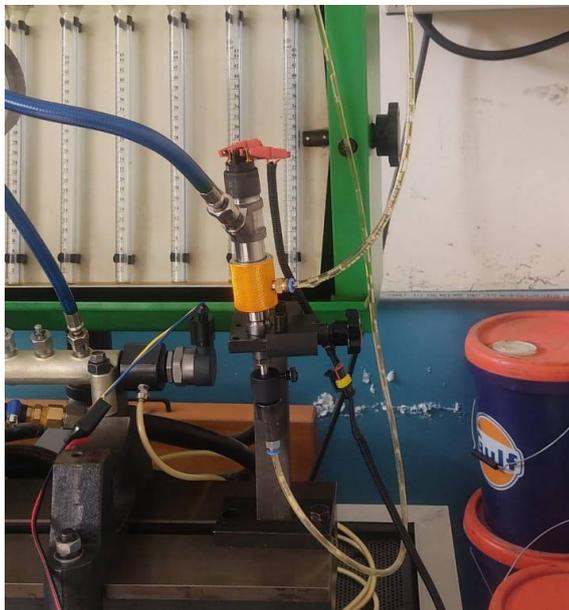


Figura 2.10 Instalación de inyector

Una vez realizada la instalación de todos los elementos, se procede a conectar las terminaciones eléctricas de la válvula reguladora de presión y la fuente que alimenta al inyector para su activación.



Figura 2.11 Conexión de terminales eléctricos

2.3.2 CONDICIONES DE PRUEBA

Para el desarrollo de las pruebas del estado de los inyectores CRDi se debe realizar un proceso que permitirá registrar los parámetros de funcionamiento y así determinar el estado de los mismos. A continuación, en la figura 2.12 se detalla los pasos para encender y poner en marcha el banco de pruebas.

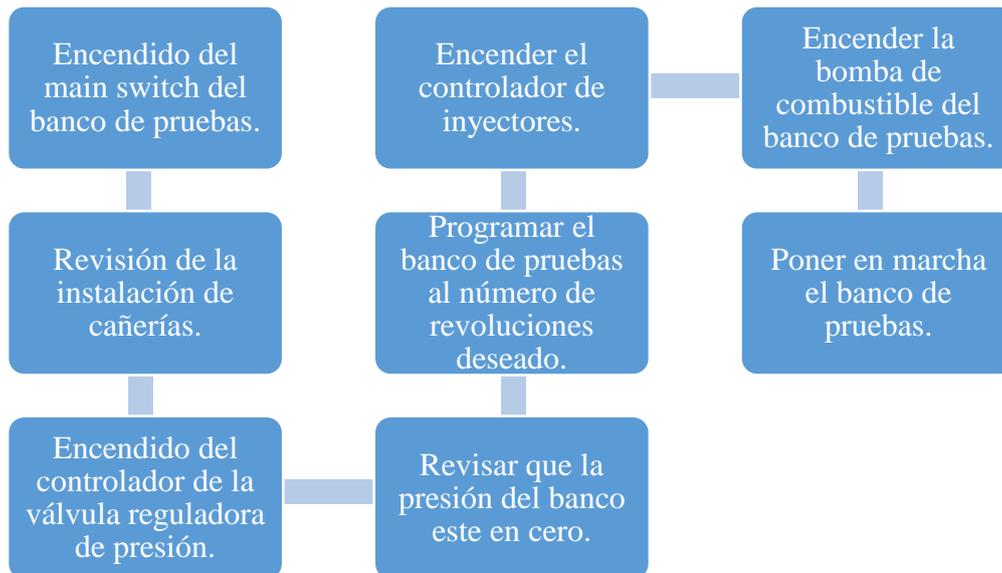


Figura 2.12 Secuencia de encendido

Posteriormente se debe encender los equipos electrónicos que ayudan a controlar la regulación de la válvula de presión y la inyección de los inyectores, como se muestra en la figura 2.13

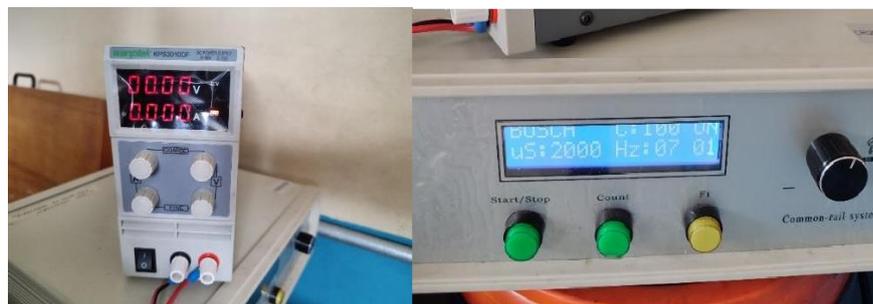


Figura 2.13 Equipos electrónicos de regulación

Para determinar los parámetros de funcionamiento de cada prueba se debe encender el módulo de control del banco de pruebas mostrado en la figura 2.14 con el cual se puede modificar las RPM y el tiempo de la prueba además de que este elemento se encarga de

poner en marcha la bomba de alta presión teniendo en cuenta el sentido de giro que debe tener la misma, para esta investigación la bomba debe girar en sentido anti horario.



Figura 2.14 Encendido del módulo controlador del banco

Para la obtención de los datos de inyección se utilizó un pulsador de inyectores mostrado en la figura 2.15 este genera pulsos de electricidad que hacen que se activen los inyectores y entren en funcionamiento, es importante mencionar que este pulsador puede modificar valores de trabajo como lo son: tiempos de pulsos, la frecuencia con la que trabajan, tipos de inyectores y diferentes marcas que existen en el mercado.



Figura 2.15 Generador de pulsos electrónicos

Con los inyectores funcionando, previamente alcanzada la presión en el riel requerida para la prueba por medio de la válvula reguladora de presión, se procede a tomar los valores del caudal de inyección y de retorno. Teniendo en cuenta que los pulsos de inyección serán 2000 uS. Y tendrán una frecuencia de 7 Hz.

Es importante mencionar que se analizara el inyector a diferentes presiones de funcionamiento (400-600-800) bar. Así como también diferentes RPM (500-700-900-1100). Con un tiempo estimado de prueba de 300 strong.

CÁPITULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se pone a consideración la comparativa de datos obtenidos en las pruebas realizadas a los inyectores CRDi a diferentes presiones y régimen de giro en diferentes estados de funcionamiento como: inyector nuevo o en buen estado, inyector usado e inyector en mal estado. Esto permitirá obtener valores referenciales y generar cierta información que permita determinar posteriormente el estado de otros inyectores y sus componentes.

A continuación se presenta los resultados obtenidos a través de graficas que representan el caudal de inyección y el caudal de retorno bajo los parámetros antes mencionados.

Para iniciar con la presentación de resultados, es importante mencionar que el voltaje y la corriente que necesita la DRV para generar presiones de funcionamiento de entre 400 y 800 bar. Puede variar y se encuentra en un rango de 1,61 V hasta 3,29 V además de 0,323 A hasta 0,779 A respectivamente.

3.2 PRUEBA INYECTOR NUEVO

Después de describir el proceso que se llevó a cabo se procede a presentar los valores de funcionamiento obtenidos del inyector en buen estado (nuevo). Estos valores servirán para realizar una comparación de datos que proporcionen los otros inyectores (usado y mal estado).

En la tabla 3.1 se detalla todos los valores obtenidos en la prueba de inyector nuevo como lo son: caudal de inyección y retorno, corriente y voltaje de la válvula reguladora de presión para que el riel alcance valores de funcionamiento.

Tabla 3.1 Registro de valores Inyector Nuevo

Registro de valores Inyector Nuevo					
Revoluciones	Presión del riel (bar)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Caudal de inyección (ml)	Caudal de retorno (ml)
500	400	2,13	0,48	21,88	5,52
	600	2,81	0,64	30,36	5,80
	800	3,16	0,70	32,40	6,24
700	400	2,00	0,42	15,68	3,88
	600	2,54	0,57	21,72	4,84
	800	3,15	0,70	22,96	4,88
900	400	1,78	0,39	12,48	3,08
	600	2,44	0,54	16,68	3,52
	800	3,23	0,71	19,28	3,88
1100	400	1,58	0,35	10,88	2,52
	600	2,43	0,54	13,60	2,88
	800	3,19	0,69	16,36	3,32

3.2.1 Inyector nuevo a 500 RPM

Teniendo en cuenta la tabla 2.7 se puede evidenciar que el voltaje y la corriente tienden a elevar su valor cuando la presión del riel va aumentando y lo hace a razón de entre (2.13 V a 3.16 V) y (0.48 A a 0.70 A) respectivamente. De acuerdo a como va aumentando la presión en el riel, el caudal de inyección y retorno va aumentando.

En la figura 3.1 se muestra la cantidad de caudal inyectado va aumentando, todo esto cuando el riel alcanza distintas presiones de funcionamiento y a 500 RPM. Dicha cantidad oscila entre 21.88 ml y 32.40 ml

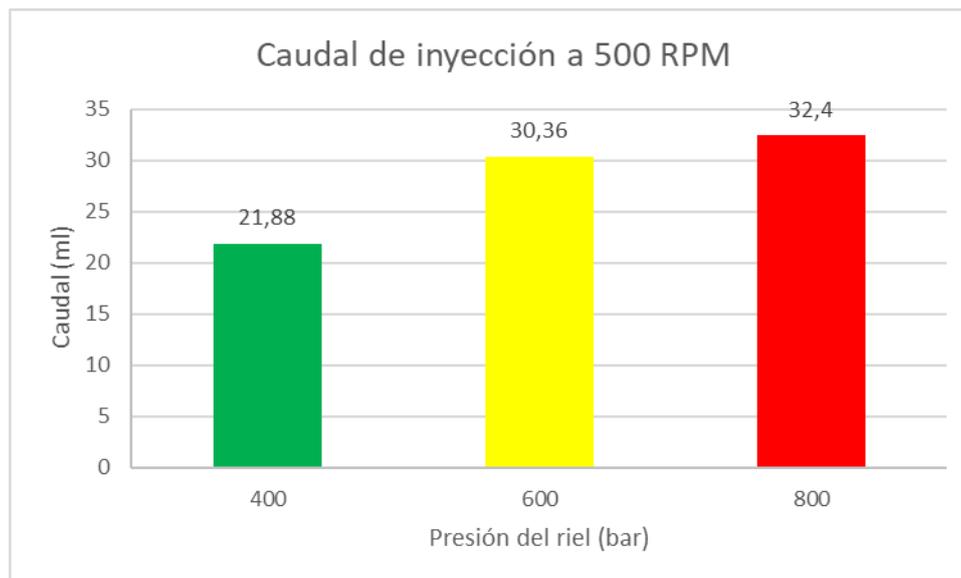


Figura 3.1 Valores de caudal de inyección a 500 RPM (nuevo)

En la Figura 3.2 se puede apreciar que la cantidad mínima de caudal de retorno hacia el tanque de combustible es de 5,22 ml y una máxima de 6,24 ml lo que indica que la cantidad de retorno va aumentando conforme va subiendo la presión en el riel.

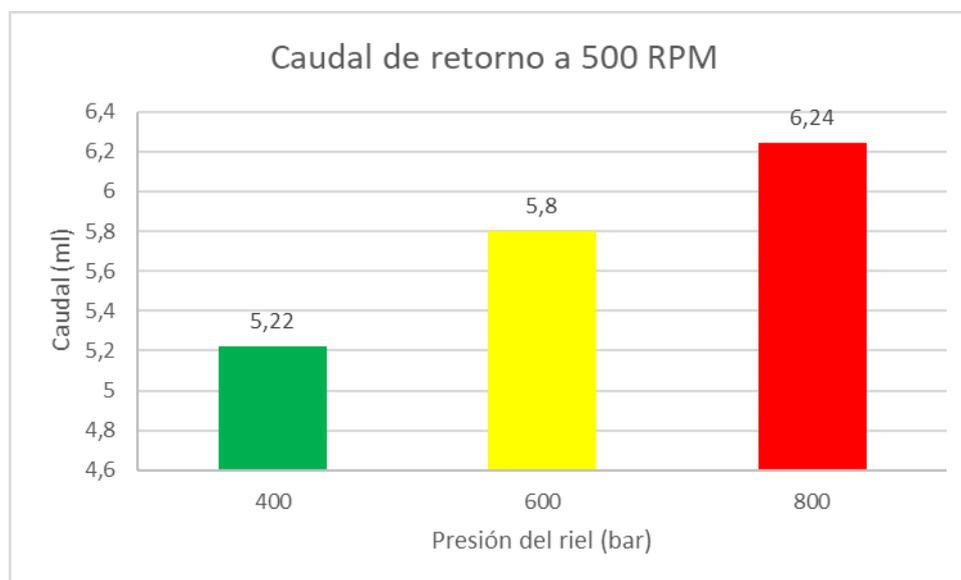


Figura 3.2 Valores de caudal de retorno a 500 RPM (nuevo)

3.2.2 Inyector nuevo a 700 RPM

Como se muestra en la tabla 3.1 el voltaje y la corriente que necesita el riel para alcanzar una presión de entre 400 bar y 800 bar. Varían y tienden a la alza oscilando entre (2 V a 3.15 V) y (0.42 A a 0.70 A) respectivamente.

En la figura 3.3 se puede apreciar la cantidad de combustible que inyecta, esta cantidad sube conforme la presión va aumentando teniendo valores progresivos de 15.68 ml a 22.96 ml con una variación de presión de 400 a 800 bar.

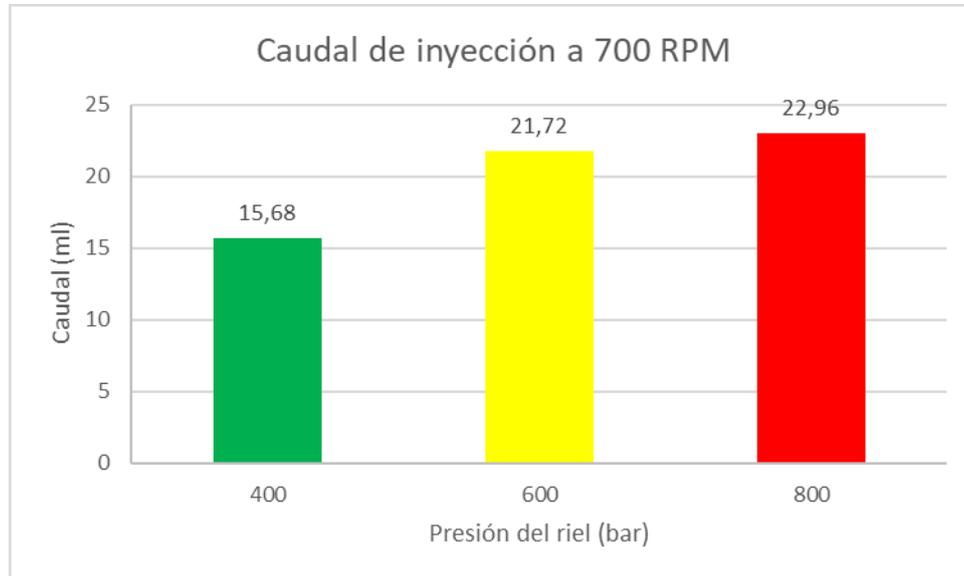


Figura 3.3 Valores de caudal de inyección a 700 RPM (nuevo)

Cuando el sistema trabaja a 700 RPM se puede notar que la cantidad de retorno de combustible es muy similar a 600 y 800 bar de funcionamiento, pero cuando se encuentra a 400 bar de funcionamiento la cantidad de caudal de retorno es menor a razón de 3.88 ml tal como se muestra en la figura 3.4

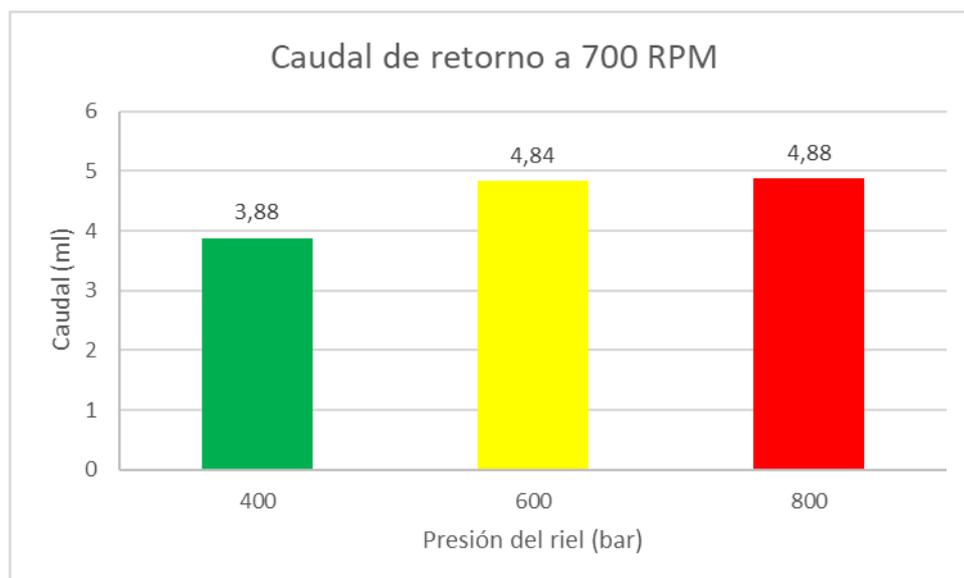


Figura 3.4 Valores de caudal de retorno a 700 RPM (nuevo)

3.2.3 Inyector nuevo a 900 RPM

Haciendo referencia en la tabla 3.1 para alcanzar las presiones de funcionamiento requeridas la corriente debe variar sus valores entre 0.39 y 0.71 amperios además del voltaje que debe tener 1.78 y 3.23 volts.

En la figura 3.5 se aprecia que el caudal de inyección máximo es de 19.28 ml y el menor es de 12.48 ml, teniendo en cuenta que las presiones de funcionamiento están entre 400 y 800 bares.

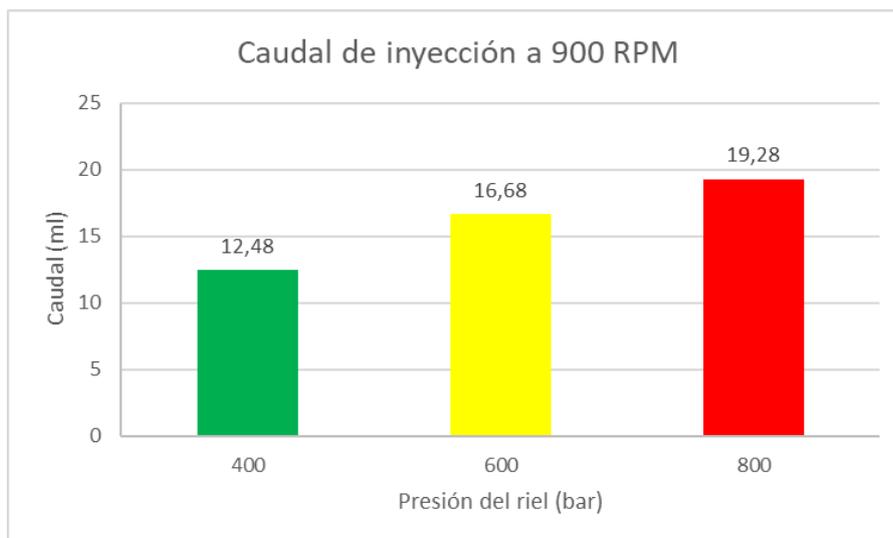


Figura 3.5 Valores de caudal de inyección a 900 RPM (nuevo)

La figura 3.6 muestra que la cantidad de combustible que retorna al tanque cuando el sistema se encuentra trabajando a 900 RPM, va disminuyendo con respecto a otras RPM y presenta un caudal mínimo de 3.08 ml a 400 bar el cual tiende a aumentar cuando las presiones en el sistema van aumentando.

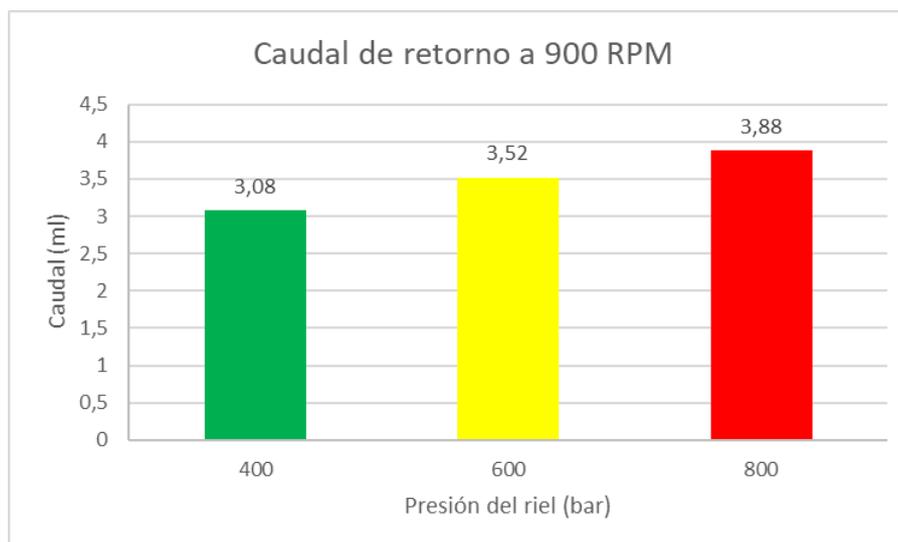


Figura 3.6 Valores de caudal de retorno a 900 RPM (nuevo)

3.2.4 Inyector nuevo a 1100 RPM

En la tabla 3.1 se muestra que la corriente y el voltaje tiene valores de (0.35 a 0.69) amperios y (1.58 y 3.19) volts respectivamente, para alcanzar las respectivas presiones que ayuden al análisis de caudales de combustible.

Se puede evidenciar en la Figura 3.7 que a una presión de 400 bar su caudal de inyección es 10.88 ml, además a una presión de 600 bar su caudal de inyección 13.6 ml, así como también a una presión de 800 bar se inyecta 16.36 ml

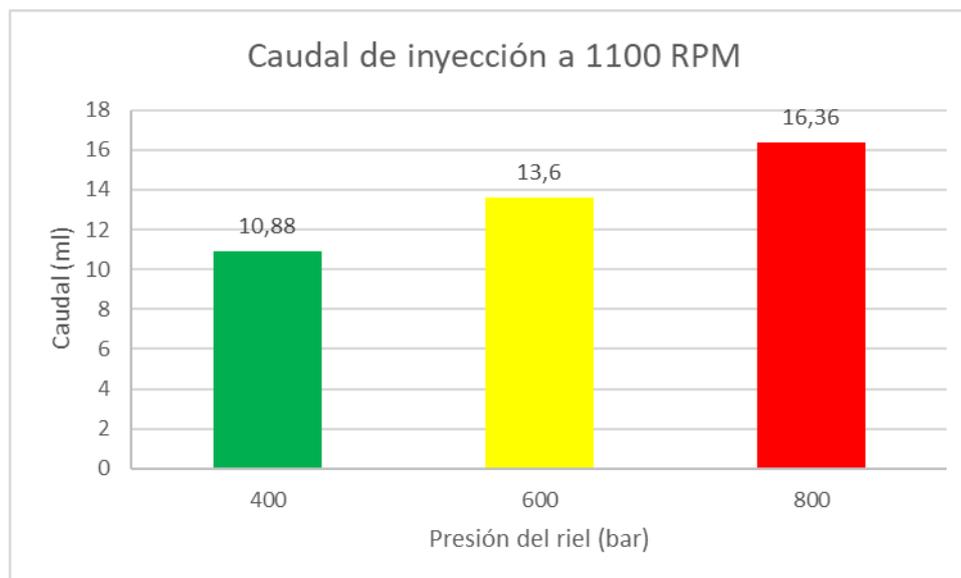


Figura 3.7 Valores de caudal de inyección a 1100 RPM (nuevo)

En la figura 3.8 se puede apreciar que la cantidad de combustible que retorna al tanque tiene una variación de 1 ml cuando el sistema trabaja entre a 400 bar y 800 bar. A 1100 RPM.

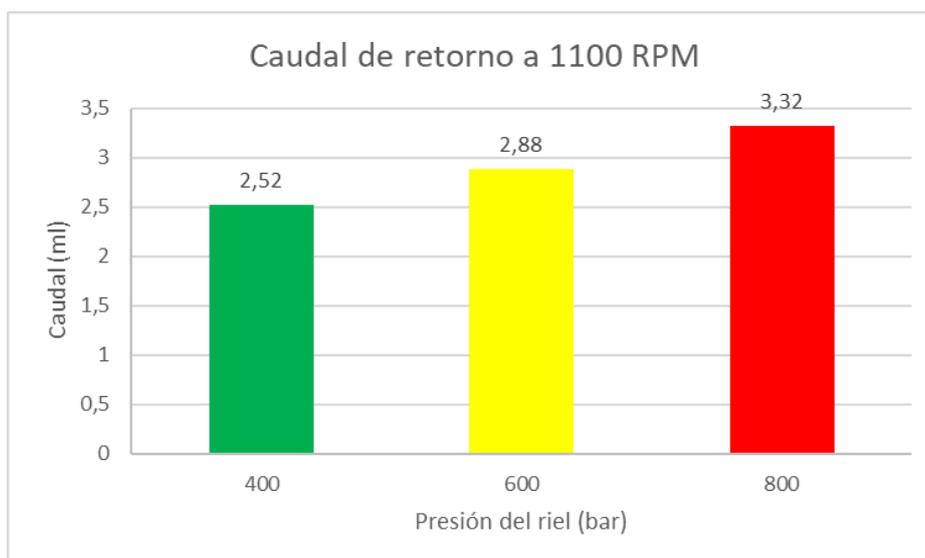


Figura 3.8 Valores de caudal de retorno a 1100 RPM (nuevo)

3.3 PRUEBA INYECTOR USADO

En la tabla 2.8 se detalla todos los valores obtenidos en la prueba de inyector usado como lo son: caudal de inyección y retorno, corriente y voltaje de la válvula reguladora de presión para que el riel alcance valores de funcionamiento.

Tabla 3.2 Registro de valores Inyector Usado

Registro de valores Inyector Usado					
Revoluciones	Presión del riel (bar)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Caudal de inyección (ml)	Caudal de retorno (ml)
500	400	1,94	0,45	13,32	8,04
	600	2,52	0,57	17,12	12,12
	800	3,06	0,61	19,40	11,92
700	400	1,89	0,43	9,68	6,76
	600	2,53	0,57	11,64	8,08
	800	3,16	0,70	14,44	7,96
900	400	1,76	0,39	7,48	5,70
	600	2,38	0,53	9,56	6,68
	800	3,07	0,68	11,24	5,68
1100	400	1,50	0,33	5,76	4,64
	600	2,32	0,52	7,68	5,96
	800	3,02	0,66	9,56	5,40

3.3.1 Inyector usado a 500 RPM

Teniendo en cuenta la tabla 3.2 se puede evidenciar que el voltaje y la corriente tienden a elevar su valor cuando la presión del riel va aumentando y lo hace a razón de entre (1.94 V a 3.06 V) y (0.45 A a 0.61 A) respectivamente. De acuerdo a como va aumentando la presión en el riel, el caudal de inyección y retorno va aumentando.

En la figura 3.9 se muestra la cantidad de caudal inyectado va aumentando, todo esto cuando el riel alcanza distintas presiones de funcionamiento y a 500 RPM. Dicha cantidad oscila entre 13.32 ml y 19.40 ml

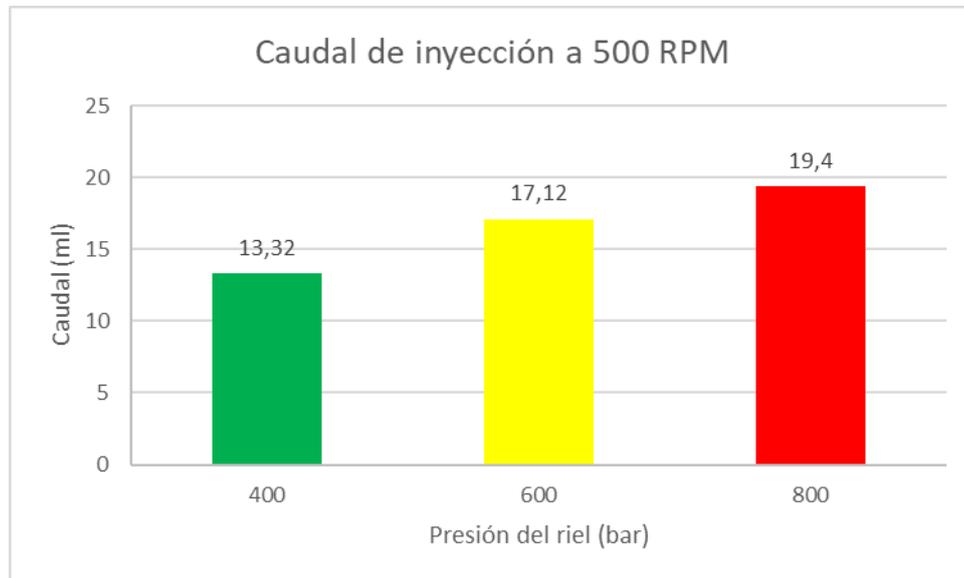


Figura 3.9 Valores de caudal de inyección a 500 RPM (usado)

En la Figura 3.10 se puede apreciar que la cantidad mínima de caudal de retorno hacia al tanque de combustible es de 8.04 ml y una máxima de 11.92 ml lo que indica que la cantidad de retorno va aumentando conforme va subiendo la presión en el riel. Es importante recalcar que la cantidad del retorno a 600 bar. Es ligeramente mayor a la de la presión de 800 bar.

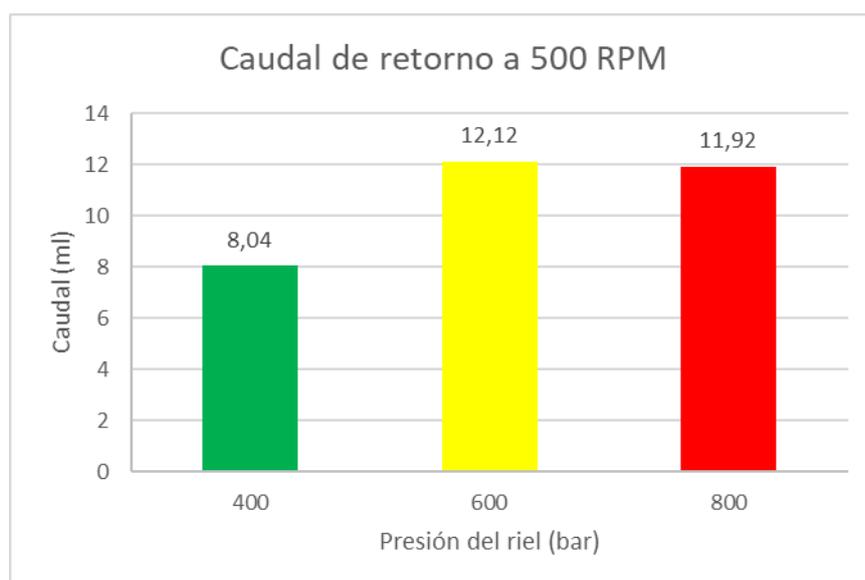


Figura 3.10 Valores de caudal de retorno a 500 RPM (usado)

3.3.2 Inyector usado a 700 RPM

Como se muestra en la tabla 3.2 el voltaje y la corriente que necesita el riel para alcanzar una presión de entre 400 bar y 800 bar. Varían y tienden a la alza oscilando entre (1.89 V a 3.16 V) y (0.43 A a 0.70 A) respectivamente.

En la figura 3.11 se puede apreciar la cantidad de combustible que inyecta, esta cantidad sube conforme la presión va aumentando teniendo valores progresivos de 9.68 ml a 14.44 ml con una variación de presión de 400 a 800 bar.

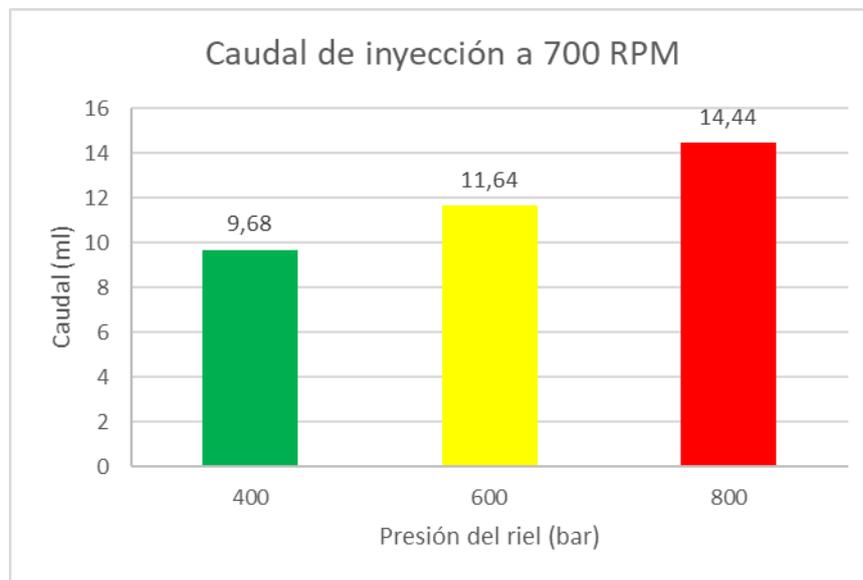


Figura 3.11 Valores de caudal de inyección a 700 RPM (usado)

Cuando el sistema trabaja a 700 RPM se puede notar que la cantidad de retorno de combustible es muy similar a 600 y 800 bar de funcionamiento, pero cuando se encuentra a 400 bar, de funcionamiento la cantidad de caudal de retorno es menor a razón de 6.76ml tal como se muestra en la figura 3.12

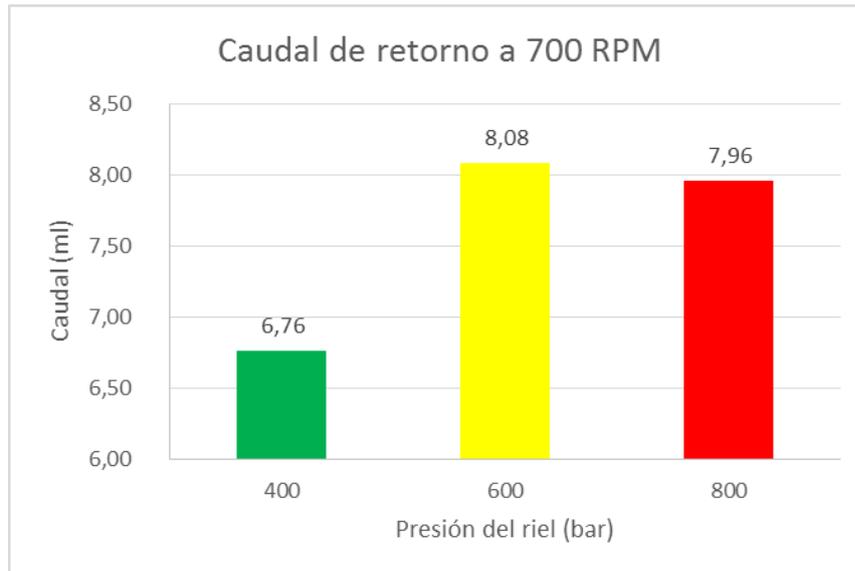


Figura 3.12 Valores de caudal de retorno a 700 RPM (usado)

3.3.3 Inyector usado a 900 RPM

Haciendo referencia en la tabla 3.2 para alcanzar las presiones de funcionamiento requeridas la corriente debe variar sus valores entre 0.39 y 0.68 amperios además del voltaje que debe tener 1.76 y 3.07 volts.

En la figura 3.13 se aprecia que el caudal de inyección máximo es de 11,24 ml y el menor es de 7.48 ml, teniendo en cuenta que las presiones de funcionamiento están entre 400 y 800 bares.

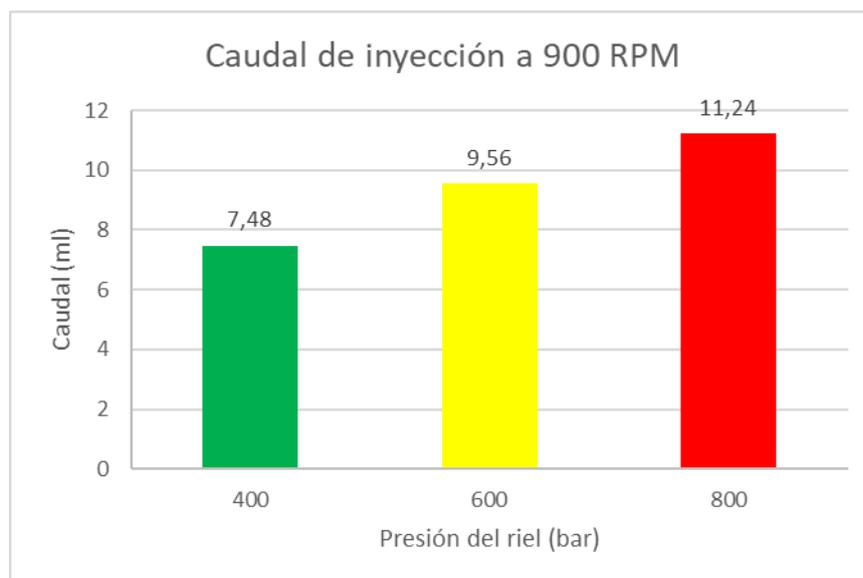


Figura 3.13 Valores de caudal de inyección a 900 RPM (usado)

La figura 3.14 muestra que la cantidad de combustible que retorna al tanque cuando el sistema se encuentra trabajando a 900 RPM, va a disminuyendo con respecto a otras RPM y presenta un caudal mínimo de 5.7 ml a 400 bar el cual tiende a aumentar cuando las presiones en el sistema van aumentando, teniendo una variación con respecto a los 800 bar de 0.02 ml

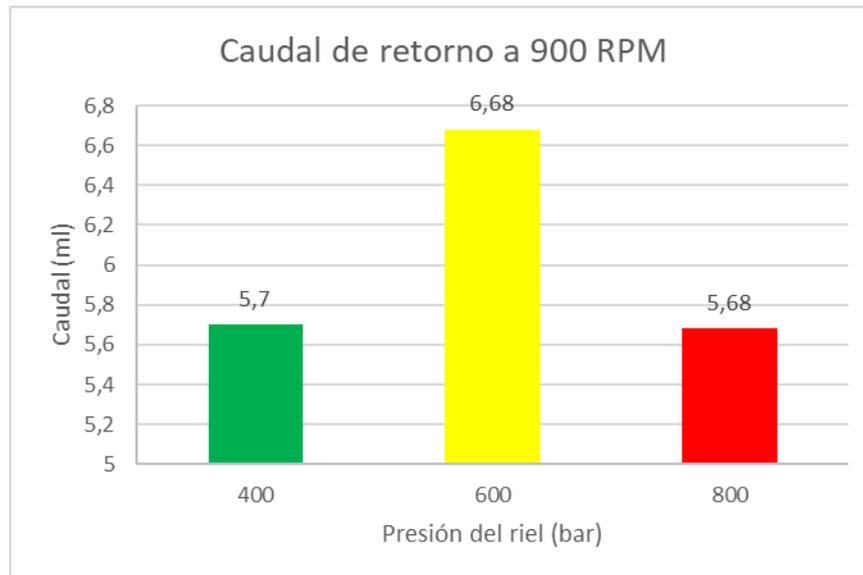


Figura 3.14 Valores de caudal de retorno a 900 RPM (usado)

3.3.4 Inyector usado a 1100 RPM

En la tabla 3.2 se muestra que la corriente y el voltaje tiene valores de (0.33 a 0.66) amperios y (1.50 y 3.02) volts respectivamente, para alcanzar las respectivas presiones que ayuden al análisis de caudales de combustible.

Se puede evidenciar en la Figura 3.15 que a una presión de 400 bar su caudal de inyección es 5.76 ml, además a una presión de 600 bar su caudal de inyección 7.68 ml, así como también a una presión de 800 bar se inyecta 9.56 ml.

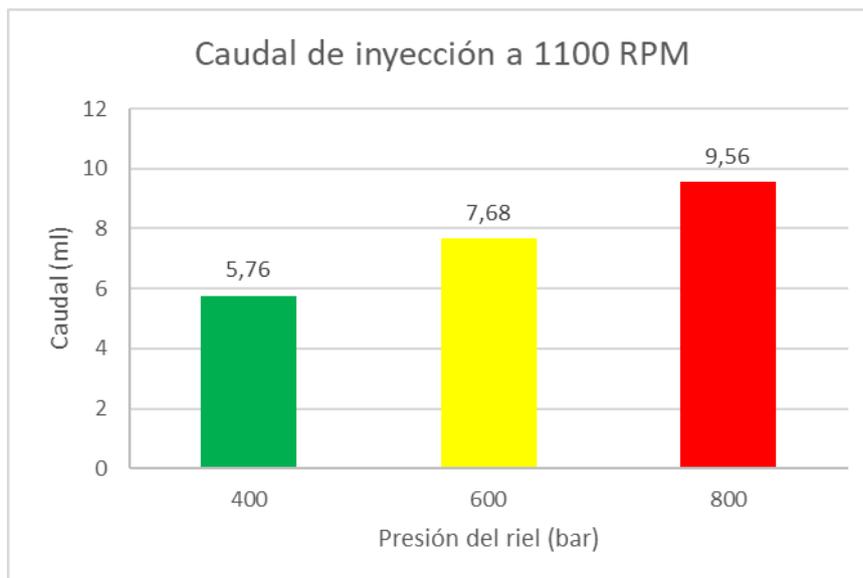


Figura 3.15 Valores de caudal de inyección a 1100 RPM (usado)

En la figura 3.16 se puede apreciar que la cantidad de combustible que retorna al tanque tiene una variación de 1.2 ml cuando el sistema trabaja entre diferentes rangos de presión como lo son a 400 bar y 800 bar. A 1100 RPM.

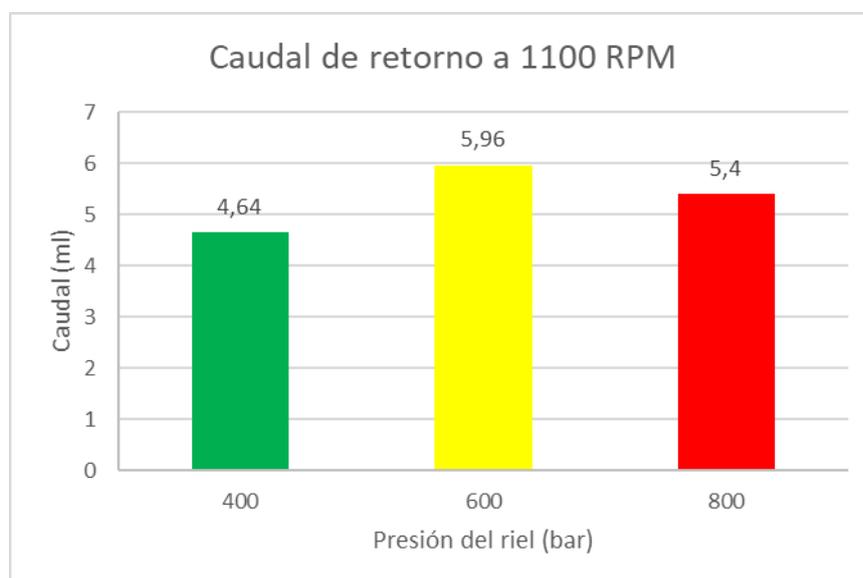


Figura 3.16 Valores de caudal de retorno a 1100 RPM (usado)

3.4 PRUEBA INYECTOR DAÑADO

En la tabla 3.3 se detalla todos los valores obtenidos en la prueba de inyector en mal estado como lo son: caudal de inyección y retorno, corriente y voltaje de la válvula reguladora de presión para que el riel alcance valores de funcionamiento

Tabla 3.3 Registro de valores Inyector Dañado

Registro de valores Inyector Dañado					
Revoluciones	Presión del riel (bar)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Caudal de inyección (ml)	Caudal de retorno (ml)
500	400	2,02	0,46	16,92	19,28
	600	2,69	0,60	22,48	25,20
	800	3,12	0,70	24,32	28,24
700	400	1,94	0,43	12,44	14,16
	600	2,60	0,58	15,76	18,20
	800	3,16	0,71	17,88	21,60
900	400	1,77	0,39	9,88	10,68
	600	2,47	0,55	12,28	14,08
	800	3,14	0,70	14,68	17,76
1100	400	1,61	0,35	7,96	8,88
	600	2,37	0,52	9,88	11,52
	800	3,09	0,68	11,72	14,52

3.4.1 Inyector dañado a 500 RPM

Teniendo en cuenta la tabla 3.3 se puede evidenciar que el voltaje y la corriente tienden a elevar su valor cuando la presión del riel va aumentando y lo hace a razón de entre (2.02V a 3.12V) y (0.46A a 0.70A) respectivamente. De acuerdo a como va aumentando la presión en el riel, el caudal de inyección y retorno va aumentando.

En la figura 3.17 se muestra la cantidad de caudal inyectado va aumentando, todo esto cuando el riel alcanza distintas presiones de funcionamiento y a 500 RPM. Dicha cantidad oscila entre 16.92 ml y 24.32 ml

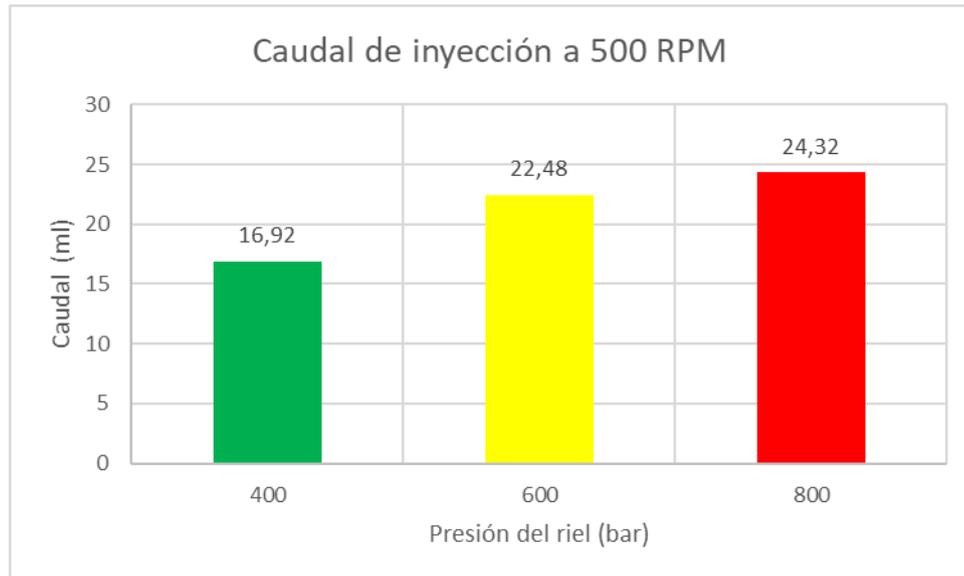


Figura 3.17 Valores de caudal de inyección a 500 RPM (dañado)

En la Figura 3.18 se puede apreciar que la cantidad mínima de caudal de retorno hacia al tanque de combustible es de 19.28 ml y una máxima de 28.24 ml lo que indica que la cantidad de retorno va aumentando conforme va subiendo la presión en el riel. Es importante recalcar que la cantidad del retorno a 600 bar no varía mucho en relación a la de la presión de 800 bar.

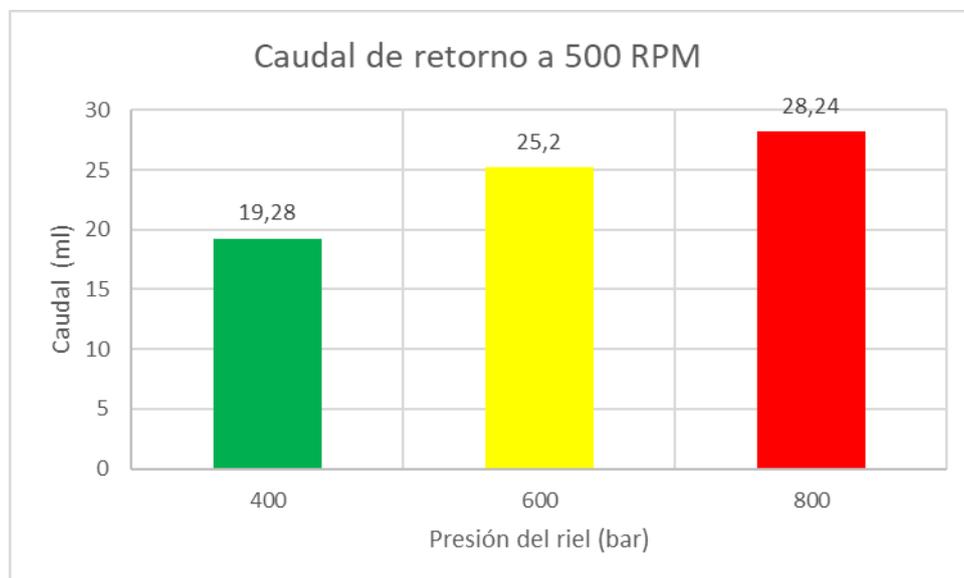


Figura 3.18 Valores de caudal de retorno a 500 RPM (dañado)

3.4.2 Inyector dañado a 700 RPM

Como se muestra en la tabla 3.3 el voltaje y la corriente que necesita el riel para alcanzar una presión de entre 400 bar y 800 bar. Varían y tienden a la alza oscilando entre (1.94 V a 3.16 V) y (0.43A a 0.71A) respectivamente.

En la figura 3.19 se puede apreciar la cantidad de combustible que inyecta, esta cantidad sube conforme la presión va aumentando teniendo valores progresivos de 12.44 ml a 17.88ml con una variación de presión de 400 a 800 bar.

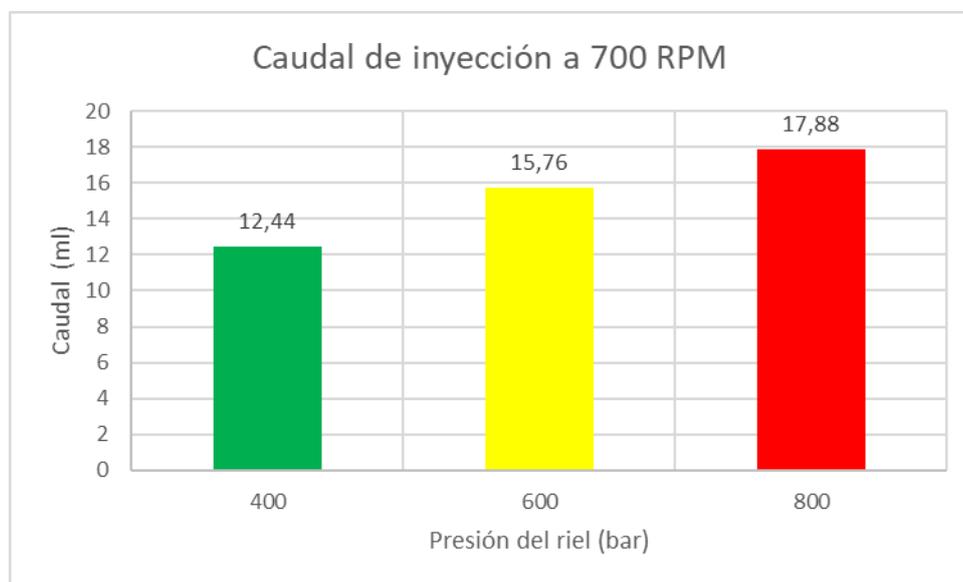


Figura 3.19 Valores de caudal de inyección a 700 RPM (dañado)

Cuando el sistema trabaja a 700 RPM se puede notar que la cantidad de retorno de cuando se encuentra a 400 bar de funcionamiento la cantidad de caudal de retorno es menor a razón de 14.16 ml y va aumentando progresivamente conforme aumenta la presión hasta 800 bar tal como se muestra en la figura 3.20

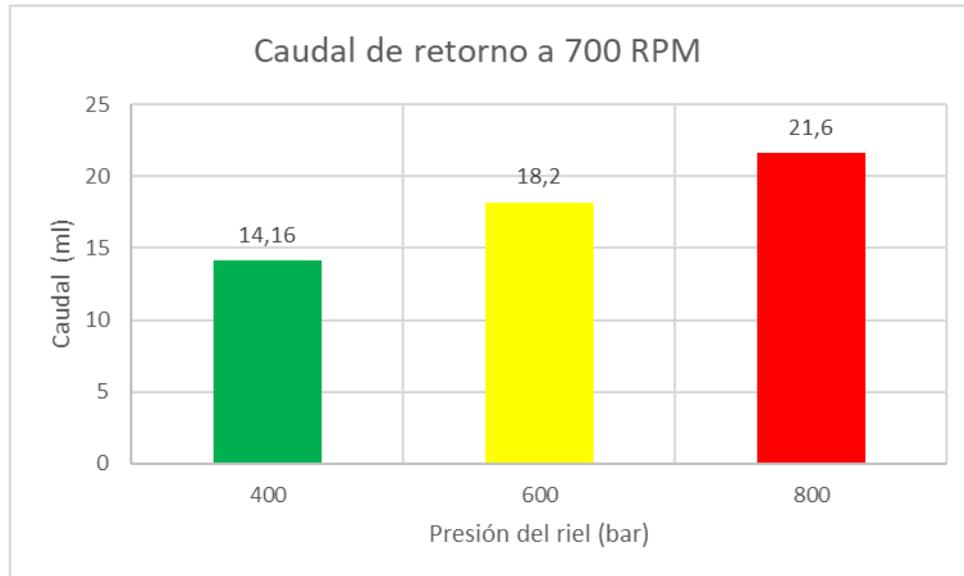


Figura 3.20 Valores de caudal de retorno a 700 RPM (dañado)

3.4.3 Inyector dañado a 900 RPM

Haciendo referencia en la tabla 3.3 para alcanzar las presiones de funcionamiento requeridas la corriente debe variar sus valores entre 0.39 y 0.70 amperios además del voltaje que debe tener 1.77 y 3.14 volts.

En la figura 3.21 se aprecia que el caudal de inyección máximo es de 14.68 ml y el menor es de 9.88 ml, teniendo en cuenta que las presiones de funcionamiento están entre 400 y 800 bares.

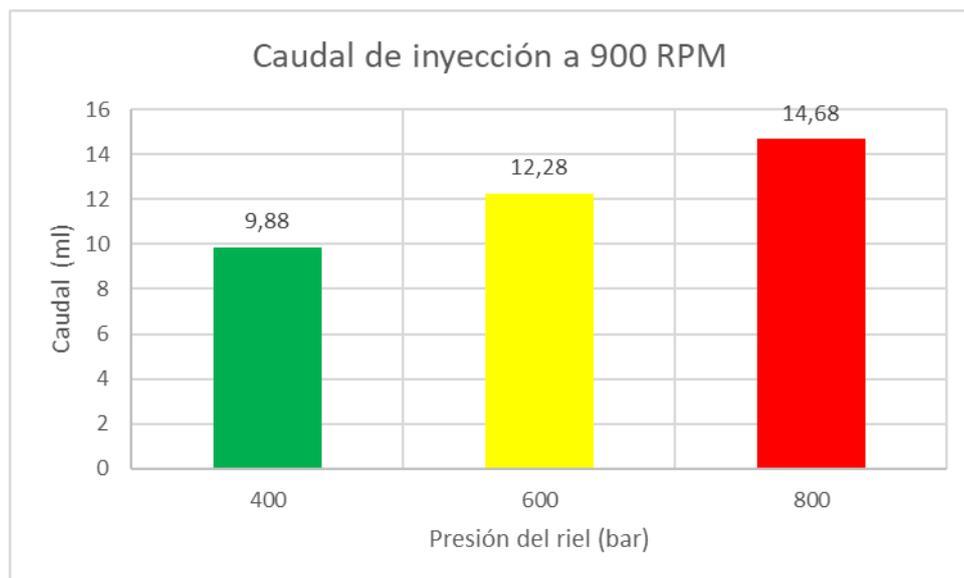


Figura 3.21 Valores de caudal de inyección a 900 RPM (dañado)

La figura 3.22 muestra que la cantidad de combustible que retorna al tanque cuando el sistema se encuentra trabajando a 900 RPM, va a disminuyendo con respecto a otras RPM y presenta un caudal mínimo de 10,68ml a 400 bar el cual tiende a aumentar cuando las presiones en el sistema van aumentando.

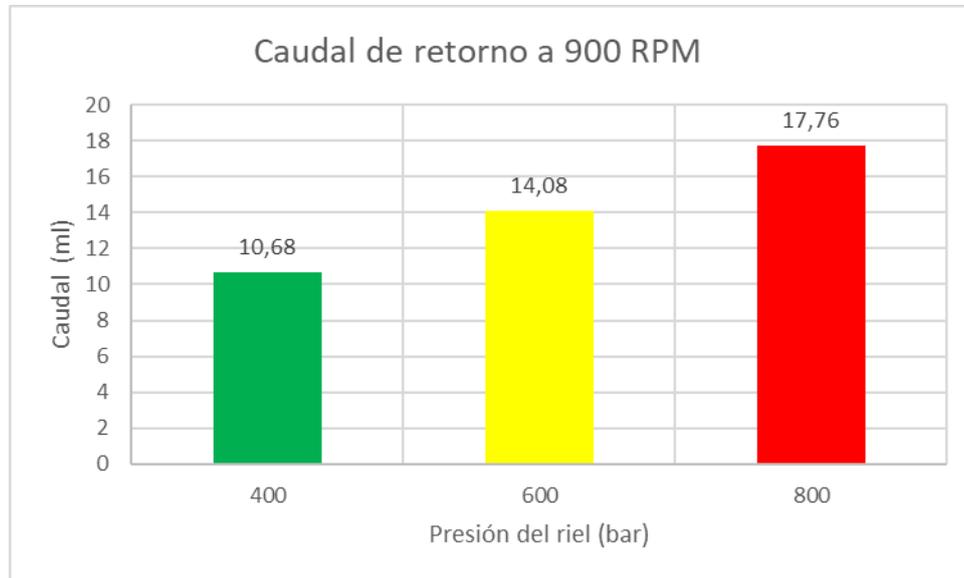


Figura 3.22 Valores de caudal de retorno a 900 RPM (dañado)

3.4.4 Inyector dañado a 1100 RPM

En la tabla 3.3 se muestra que la corriente y el voltaje tiene valores de (0.35 a 0.68) amperios y (1.61 y 3.09) volts respectivamente, para alcanzar las respectivas presiones que ayuden al análisis de caudales de combustible.

Se puede evidenciar en la Figura 3.23 que a una presión de 400 bar su caudal de inyección es 7.96 ml, además a una presión de 600 bar su caudal de inyección 9,88 ml, así como también a una presión de 800 bar se inyecta 11.72 ml.

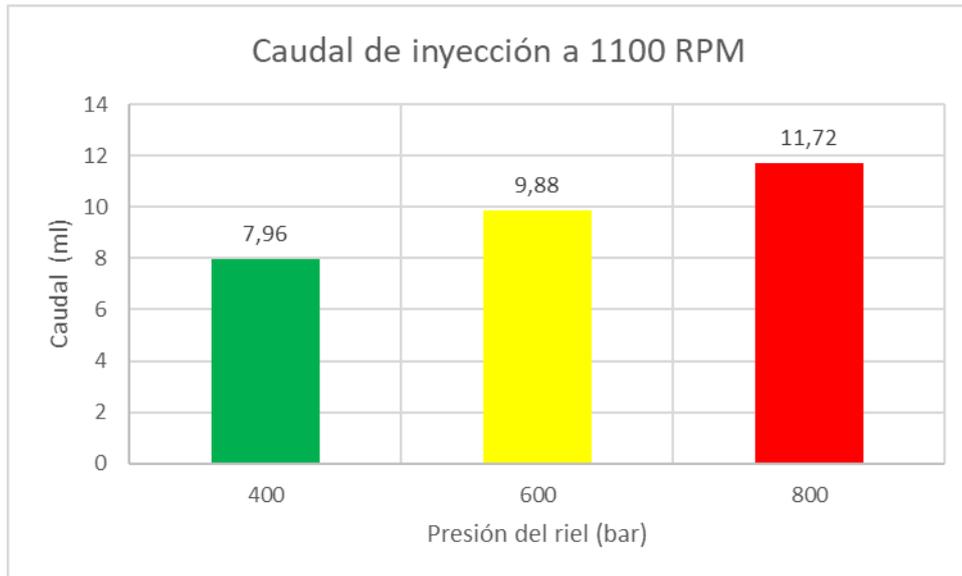


Figura 3.23 Valores de caudal de inyección a 1100 RPM (dañado)

En la figura 3.24 se puede apreciar que la cantidad de combustible que retorna al tanque tiene una variación de 6 ml aproximadamente cuando el sistema trabaja entre diferentes rangos de presión como lo son a 400 bar y 800 bar. A 1100 RPM

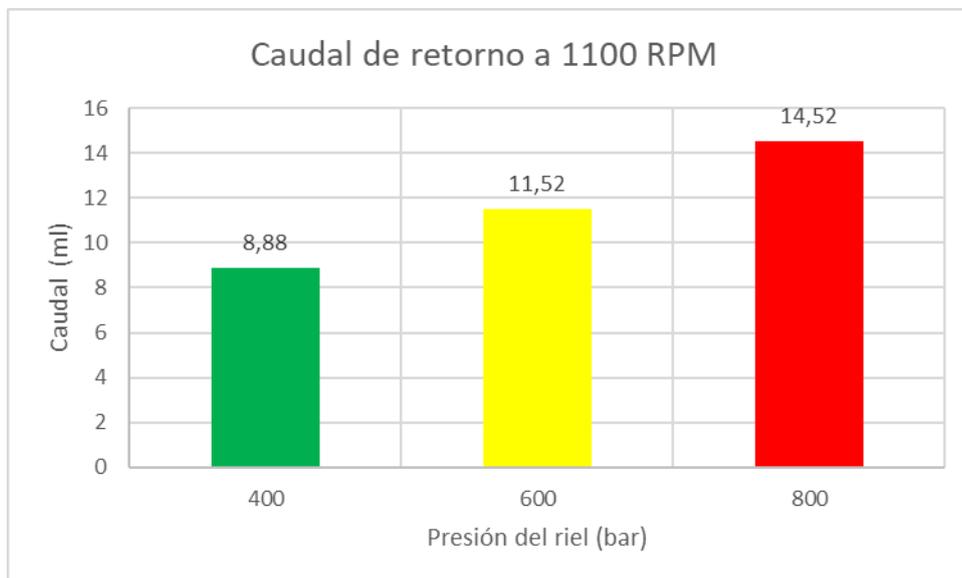


Figura 3.24 Valores de caudal de retorno a 1100 RPM (dañado)

3.5 COMPARACIÓN DE RESULTADOS A 500 RPM

3.5.1 Variación de cantidad de combustible inyectado y de retorno a 500 RPM

Conocidos los valores que deben oscilar en la válvula reguladora de presión para generar la misma, se procede a realizar la comparación de los caudales de inyección y retorno a 500 RPM y a diferentes presiones de funcionamiento.

En la imagen 3.25 se puede evidenciar que el inyector nuevo presenta mayor cantidad de combustible inyectado y menor cantidad de combustible de retorno en comparación de los otros inyectores independientemente de las presiones de funcionamiento en las que se encuentre trabajando.

En el caso del inyector usado presenta una menor cantidad de combustible inyectado con respecto al inyector nuevo y el inyector dañado, a su vez la cantidad de combustible de retorno alcanza un 60% del caudal de inyección.

Por su parte el inyector dañado muestra que tiene la mayor cantidad de combustible de retorno en las tres pruebas realizadas a 400, 600 y 800 bares de presión, por lo que esta supera a la cantidad de diésel que ingresa a la cámara de combustión.

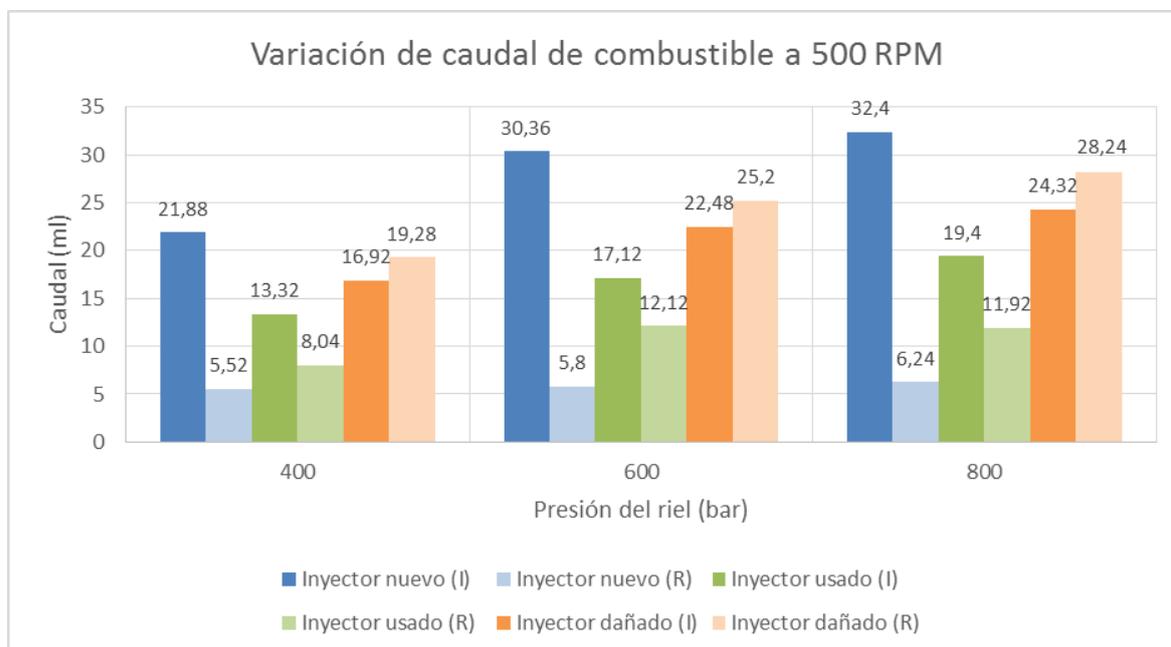


Figura 3.25 Variación de cantidad de combustible a 500 RPM

3.6 COMPARACIÓN DE RESULTADOS A 700 RPM

3.6.1 Variación de cantidad de combustible a 700 RPM

Una vez establecidos los valores que debe presentar la DRV para alcanzar las presiones requeridas de funcionamiento, se realiza la comparativa entre caudales de inyección y retorno en 3 inyectores de diferentes estados.

Como se muestra en la figura 3.26 en el caso del inyector nuevo presenta mayor cantidad de diésel inyectado en relación al inyector usado y dañado, con valores de 15,68 ml, 21,72 ml y 22,96 ml a 400, 600 y 800 bares respectivamente. Por su parte la cantidad de caudal de retorno representa el 20% del mismo en relación al combustible que llega a la cámara de combustión, todo esto a las mismas presiones de funcionamiento.

Por otro lado el inyector usado tiene una cantidad de combustible de retorno que representa el 60% de la cantidad de diésel que ingresa hacia la cámara de combustión. En el caso del inyector dañado el caudal de retorno es mayor al caudal de inyección en todas las pruebas realizadas a diferentes presiones de funcionamiento.

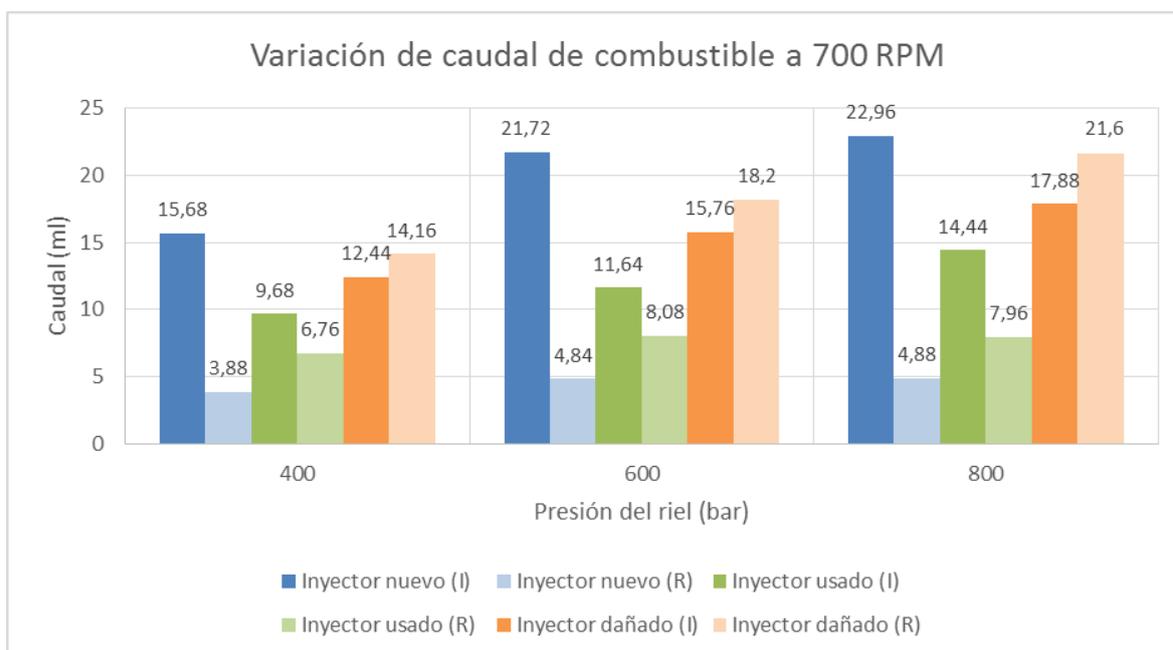


Figura 3.26 Variación de combustible a 700 RPM

3.7 COMPARACIÓN DE RESULTADOS A 900 RPM

3.7.1 Variación de cantidad de combustible a 900 RPM

En la figura 3.27 se puede apreciar que las cantidades de caudales de combustible en todas las pruebas van disminuyendo, esto debido a que aumentar las revoluciones por minuto en las condiciones de prueba, el tiempo estimado de la misma va reduciendo. Sin embargo el valor de las relaciones entre cantidad de combustible inyectado y el combustible de retorno siguen siendo las mismas.

En el caso del inyector nuevo, tiene la mayor cantidad de combustible y una cantidad de retorno estimada del 25%. En el inyector usado el caudal de retorno varía entre el 60% y el 70% de la cantidad que ingresa a la cámara de combustión y a su vez el inyector malo presenta una mayor cantidad de combustible de retorno en referencia a la del caudal de inyección.

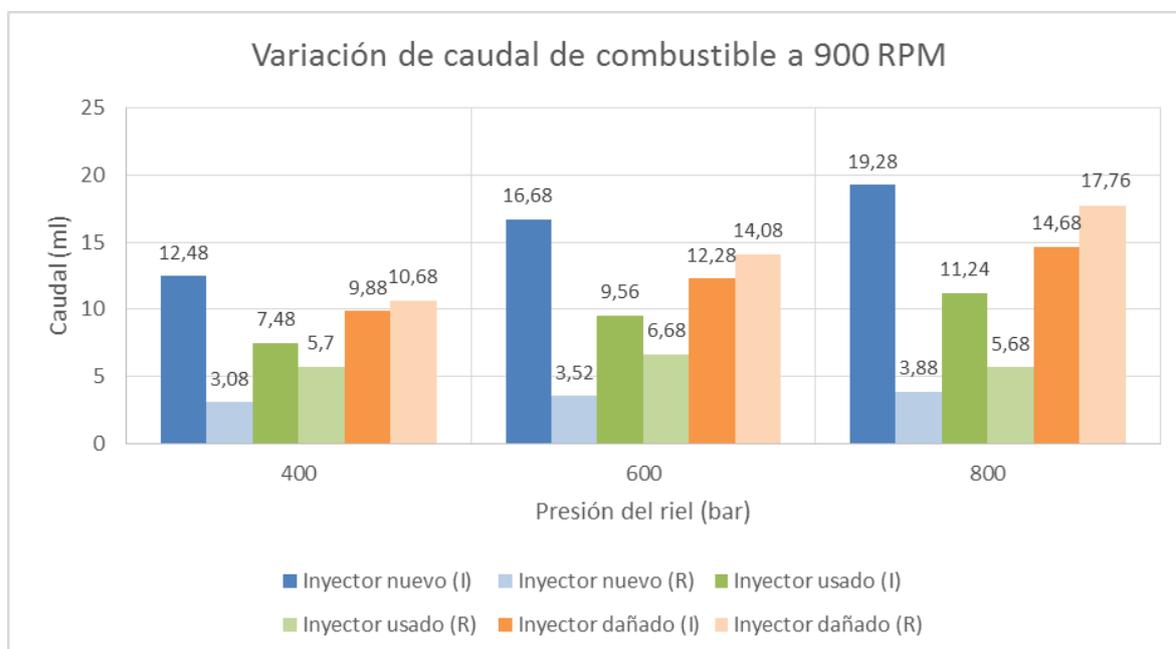


Figura 3.27 Variación de cantidad combustible a 900 RPM

3.8 COMPARACIÓN DE RESULTADOS A 1100 RPM

3.8.1 Variación de cantidad de combustible a 1100 RPM

Los resultados obtenidos en las pruebas a 1100 RPM se observa que se mantienen los porcentajes y relaciones entre caudales de inyección y retorno en comparación con las pruebas a RPM anteriores, como se muestra en la figura 3.28

En el inyector nuevo se mantiene mayor cantidad de combustible inyectado y su contra parte de combustible de retorno es la cuarta parte del caudal que ingresa la cámara de combustión en todas las presiones de funcionamiento.

Por otro lado, el rango de retorno en el inyector usado esta entre la sexta parte de la cantidad que inyecta, a su vez el inyector dañado presenta una cantidad mayor de caudal de retorno con respecto al combustible que inyecta, esto representa más del 100%.

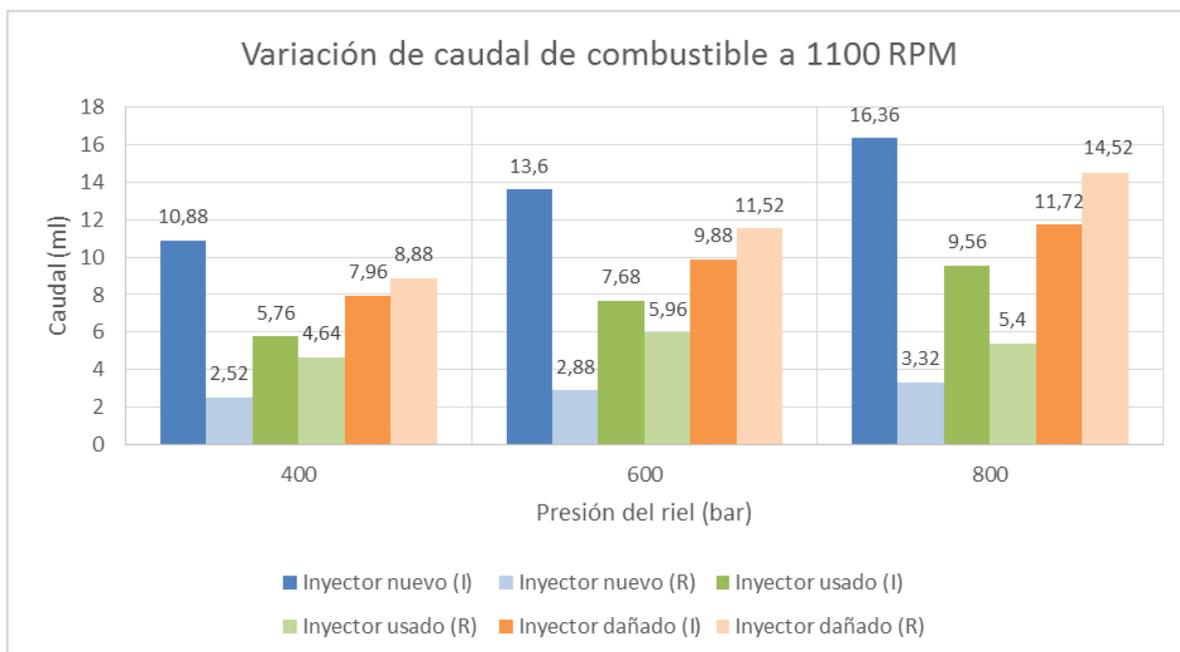


Figura 3.28 Variación de combustible a 1100 RPM

3.9 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez analizado los resultados se puede llegar a la conclusión que la variación entre caudales de inyección y retorno es muy importante para determinar el estado de un inyector CRDi. Una vez recolectados los valores de las pruebas al inyector nuevo o en buen estado, estos serán utilizados como punto de referencia principal para establecer un rango y un porcentaje que determine el estado del inyector.

Teniendo en cuenta las pruebas realizadas a un inyector nuevo a diferentes presiones de funcionamiento y a diferente régimen se puede establecer que: el inyector se encuentra en buen estado cuando el caudal de retorno es la cuarta parte de la cantidad de diésel inyectado, es decir este valor debe representar el 25% del mismo.

En el caso del inyector usado el valor del caudal de inyección y de retorno varia un poco con respecto al inyector nuevo por el desgaste interno que puede presentar estos inyectores,

este variación puede oscilar en un rango del 60% que determinaría que el inyector se encuentra en un rango de funcionamiento aceptable.

Por otro lado el inyector dañado en todas las pruebas realizadas a diferentes presiones y RPM presento que la cantidad de caudal de retorno hacia el tanque de combustible es mayor a la cantidad que inyecta e ingresa a la cámara de combustión, esto representaría un incremento del 100% lo que determinaría que un inyector se encuentra en mal estado y no cumple con los parámetros óptimos de funcionamiento, por lo cual necesita ser reparado o en su defecto reemplazado.

Es importante mencionar que se debe estimar un porcentaje de margen de error que contempla variaciones que pueden presentar se entre otros aspectos de funcionamiento como son presiones o RPM, además de inyectores que tengan componentes extras o en su defecto diferentes marcas de fabricantes, este valor de variación se estima en un +-10% por lo cual los parámetros que determinan el estado de los inyectores CRDi varían un poco su valor.

Tabla 3.4 Variación de caudales generales

Resultados de variación de caudal en inyectores CRDi							
RPM	Presión del riel (bar)	Caudal de inyección (ml)			Caudal de retorno (ml)		
		Nuevo	Usado	Dañado	Nuevo	Usado	Dañado
500	400	21,88	13,32	16,92	5,52	8,04	19,28
	600	30,36	17,12	22,48	5,8	12,12	25,20
	800	32,4	19,4	24,32	6,24	11,92	28,24
700	400	15,68	9,68	12,44	3,88	6,76	14,16
	600	21,72	11,64	15,76	4,84	8,08	18,2
	800	22,96	14,44	17,88	4,88	7,96	21,6
900	400	12,48	7,48	9,88	3,08	5,7	10,68
	600	16,68	9,56	12,28	3,52	6,68	14,08
	800	19,28	11,24	14,68	3,88	5,68	17,76
1100	400	10,88	5,76	7,96	2,52	4,64	8,88
	600	13,6	7,68	9,88	2,88	5,96	11,52
	800	16,36	9,56	11,72	3,32	5,4	14,52

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Para alcanzar la presión de funcionamiento deseada (400, 600, 800) bares para las respectivas pruebas a (500, 700, 900, 1100) RPM, la válvula DRV debe proporcionar valores de voltaje y corriente que oscilan entre: para 500 RPM: 1.94V a 3.16V y 0.45A a 0.70A, para 700 RPM: 1.89V a 3.16V y 0.42A a 0.71A, para 900 RPM, 1.76V a 3.23V y 0.39A a 0.71A, para 1100 RPM, 1.50V a 3.19V y 0.33A a 0.69A. Respectivamente.
- Con la implementación del banco de pruebas se pudo realizar un análisis más integral de los sistemas presentes en el inyector, como lo son el sistema eléctrico y el sistema mecánico. A diferencia de un diagnóstico con otros equipos electrónicos (osciloscopio, scanner o multímetro) que solo puede determinar el correcto funcionamiento de la parte eléctrica, además esta implementación ayuda a comprobar el estado de otros elementos del sistema CRDi como lo son: la bomba de alta presión, la válvula reguladora de presión.
- En esta investigación se determinó los parámetros de inyección a diferentes presiones y a diferente régimen en inyectores CRDi. Dando como resultado que la variación de caudal en los inyectores (nuevo y usado) que son los que se encuentre dentro de un rango de trabajo aceptable tienen un caudal de inyección que oscila entre 5.76 ml y 32.4 ml y la cantidad de caudal de retorno esta entre 2.52 ml y 12.12 ml.
- En este trabajo de investigación se estableció una relación en porcentaje entre la cantidad de combustible inyectado y retorno de combustible para determinar el estado de los inyectores. Independientemente si el inyector es nuevo o usado, este se encuentra en buen estado cuando el porcentaje de la cantidad de caudal de retorno oscila entre un 15% y 75% con respecto al caudal que se inyecta al motor, lo que significa que está en un rango óptimo de funcionamiento y si el porcentaje de combustible de retorno representa el 90% o más de la cantidad de diésel inyectado, el inyector no cumple parámetros de funcionamiento y por consiguiente se encuentra en mal estado.

4.2 RECOMENDACIONES

- En investigaciones posteriores se recomienda buscar más información con respecto a inyectores piezoeléctricos ya que el campo automotriz está en constante evolución y los fabricantes siguen innovando en nuevas tecnologías y podrían cambiar ciertas configuraciones de dichos elementos.
- Al momento de realizar las instalaciones de los equipos de diagnóstico, en el caso de las conexiones de cañerías de alta presión se recomienda asegurarse de que se encuentran con un cierre hermético con el inyector y el riel común de combustible ya que al trabajar con altas presiones estas podrían desconectarse y causar graves lesiones al operador.
- En aporte a los estudiantes del sector automotriz se recomienda realizar las pruebas de diagnóstico bajo diferentes parámetros de funcionamiento a inyectores piezoeléctricos ya que no se tiene un precedente o registro de valores que ayude a determinar el estado de los mismos y si se encuentran en rangos de trabajo óptimo.
- En la recolección de datos específicamente en la medición de caudales, es recomendable vaciar muy bien las probetas antes de realizar una nueva medición ya que el diésel al ser un aceite su evacuación del recipiente colector por efecto de la gravedad es muy tardía y esto puede generar que la cantidad de combustible que se recolecta varíe y el diagnóstico no sea muy preciso.

BIBLIOGRAFÍA

1. Almarza Padilla , D. E. (2018). *DESCRIPCIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA COMMOR RAIL MONTADO EN EL MOTOR HYUNDAI D4EA*. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11673/42436>
2. Auz Montenegro, S. J. (2018). *Estudio de la entrega de carga en inyectores CRDI en periodo de mantenibilidad [Tesis Pregrado. Universidad Internacional del Ecuador]*. Repositorio digital UIDE. Obtenido de <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/2753>
3. Ayora Rivera, J. L. (2017). *Análisis y comprobación del funcionamiento de inyectores CRDI piezoeléctricos con el equipo CRT-3500 de KIA [Tesis de Pregrado. Universidad Internacional del Ecuador]*. Repositorio Digital UIDE. Obtenido de <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/2313>
4. Barco Vargas, W. X. (2010). *Diseño y construcción de un banco de prueba para inyectores electrónicos a diesel para un sistema common rail [Tesis de Pregrado. Universidad Politécnica Salesiana]*. Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/2367>
5. Barthelotti Iturralde, F. E., Estrella Murillo, D. F., & Mosquera Salcedo, A. X. (2017). Estudio del desgaste de los elementos mecánicos de los inyectores en períodos regulares. [Tesis de Pregrado. Universidad Internacional del Ecuador]. Obtenido de <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/1919>
6. Becerra Tapia, C. J. (2022). *Evaluación a base de presiones de bombas de alta presión en sistemas Common Rail [Tesis de Pregrado. Universidad Técnica del Norte]*. Repositorio Digital Universidad Técnica del Norte. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11998>
7. Bosch, R. (2002). Regulación_electrónica_diesel_EDC.
8. Bosch, R. (2013). *Diesel Systems. Sistemas Common Rail CRS3*. Madrid: Marketing Iberia.
9. Bosch, R. (2014). Productos de inyección diesel. *Sistemas Diesel Bosch*, 1.
10. Bosch, R. (2015). Sistemas Modernos de Inyección a Diesel Unidades Completas y su despiece. *Bosch Innovación para tu vida*. Obtenido de www.boschautopartes.mx
11. Cabascango Oña, M. G., & Dávila Auz, F. P. (2014). *Diseño y construcción de un simulador didáctico de inyectores diesel piezoeléctricos con visualización gráfica de señales operativas a través de un osciloscopio. [Tesis de Pregrado. Universidad de*

- las Fuerzas Armadas ESPE*]. Repositorio de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/8809>
12. Carrasco Palomeque, J. J. (2011). *Diseño y construcción de un banco de pruebas de inyectores diesel tipo mecánico y electrónico [Tesis de Pregrado. Universidad del Azuay]*. Dspace de la Universidad del Azuay. Obtenido de <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/6070>
 13. Castillejo Calle, A. (2014). *Sistemas de Inyección en Motores Diesel [Trabajo fin de Grado. Universidad de Sevilla]*. Depósito de Investigación Universidad de Sevilla. Obtenido de <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/90174/fichero/TFG.+Alejandro+Castillejo+Calle.pdf>
 14. Castro Mediavilla, J. J., & Gonzáles Torres, M. E. (2019). *Análisis comparativo del funcionamiento del inyector de un motor CRDI bajo diferentes alturas geográficas [Universidad Internacional del Ecuador]*. INNOVA Research Journal. doi:<https://doi.org/10.33890/innova.v4.n1.2019.906>
 15. Cobo Baquerizo, G. X. (2013). *Análisis de averías en componentes diesel crdi (common rail direct injection) [Tesis de Pregrado. Universidad del Azuay]*. Dspace de la Universidad del Azuay. Obtenido de <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/3278>
 16. Coral De La Cadena, F. A. (2013). *Diseño e Implementación de un Banco de Pruebas de Inyectores de Vehículos a Diesel CRDI para la Escuela de Ingeniería Automotriz [Tesis de Grado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]*. Repositorio Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2963>
 17. Gómez Ullauri, D. A. (2012). *Estudio de factibilidad para la construcción de un banco de pruebas para inyectores del sistema Common Rail Bosch [Tesis de Pregrado. Universidad del Azuay]*. Dspace de la Universidad del Azuay. Obtenido de <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/1433>
 18. Gracia García, B. (2015). *CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA DE UN INYECTOR DIESEL SOLENOIDE PARA MOTORES DUAL FUEL [Tesis de Pregrado. Universitat Politècnica de Valencia]*. RiuNet repositorio UPV. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10251/54724>

19. Guevara Rodríguez, W. N., & Becerra Tapia, C. J. (2022). *Evaluación a base de presiones de bombas de alta presión en sistemas Common Rail [Tesis de Pregrado. Universidad Técnica del Norte]*. Repositorio Digital Universidad Técnica del Norte. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11998>
20. Medina Pacheco, D. A. (2011). *Diseño y construcción de un banco de pruebas de inyectores diesel tipo mecánico y electrónico [Tesis de Pregrado. Universidad del Azuay]*. Dspace de la Universidad del Azuay. Obtenido de <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/6070>
21. Muñoz Vizhñay, J. F., & Correa Gárate, A. J. (2017). *Diseño y construcción de un sistema didáctico funcional de limpieza de inyectores electrónicos diésel Bosch [Tesis de Pregrado. Universidad del Azuay]*. Dspace de la Universidad del Azuay. Obtenido de <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/6856>
22. Orrantia Lingen, E. X. (2018). *Estudio de factibilidad para la implementación de un laboratorio de sistemas de inyección diésel en la ciudad de Guayaquil [Tesis Pregrado. Universidad Internacional del Ecuador]*. Repositorio Digital UIDE. Obtenido de <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/2730>
23. Palacios Quiroz, W. V. (2016). *Guía de operación del banco de pruebas de inyectores electrónicos CRDI (MT - 3000). [Tesis de Pregrado. Universidad Técnica del Norte]*. Repositorio Digital Universidad Técnica del Norte. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/4922>
24. Salazar Montalván, M. Á. (2015). *Análisis del desempeño de motores CRDi (Common rail direct injection) a través de formas de onda procesadas por osciloscopio [Tesis de Pregrado. Escuela Politécnica Nacional]*. Repositorio Digital - EPN. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/11722>
25. Suntaxi Córdor, C. G. (2018). *Estudio de la entrega de carga en inyectores CRDI en periodo de mantenibilidad [Tesis Pregrado. Universidad Internacional del Ecuador]*. Repositorio Digital UIDE. Obtenido de <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/2753>
26. Troya Reyes, D. M. (2017). *DIAGNÓSTICO;REPARACIÓN Y ENSAMBLAJE;INYECTORES DIESEL;COMMON RAIL [Tesis de Pregrado. UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR]*. Repositorio Digital UIDE. Obtenido de <http://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/2314>

27. Valencia Villarroel, J. L. (2017). *Diseño y construcción de un banco de pruebas para el sistema common rail. [Tesis de Pregrado. Universidad Tecnológica Equinoccial].* Repositorio Digital UTE. Obtenido de <http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/14172>
28. Vallejo Castillo, A. F. (2015). *Sistemas de inyección diésel electrónico, para servicio automotriz pesado. Principio de funcionamiento [Tesis de grado. Universidad de San Carlos de Guatemala].* Repocitorio USAC.
29. Zapatería, O. (2001). Conceptos fundamentales sobre la inyección diesel . *Mecánica y electricidad* .

ANEXOS



Figura A 1 Toma de datos caudales

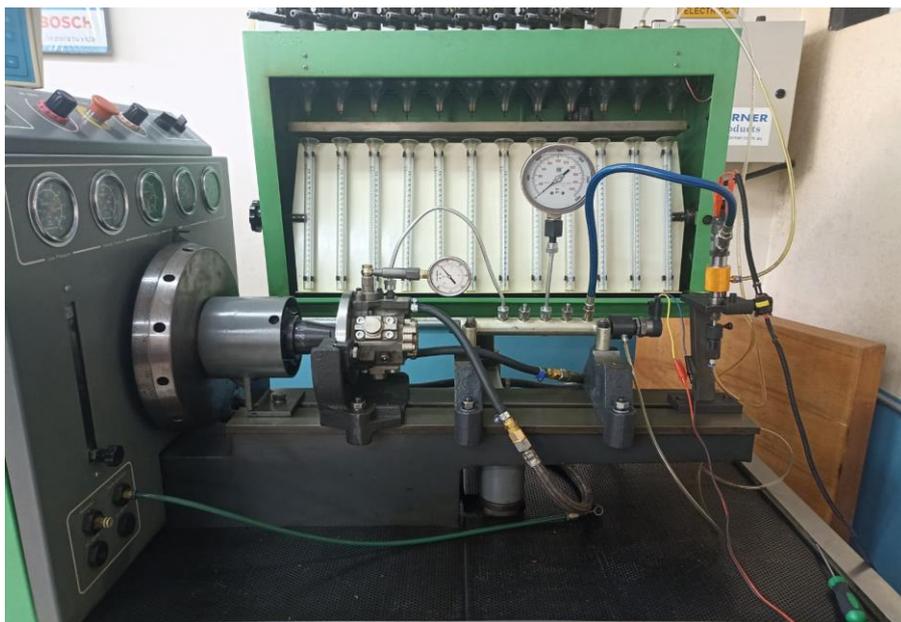


Figura A 2 Banco de pruebas (esquema general)



Figura A 3 Equipos de control electrónico