



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**TEMA: “ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS MECÁNICOS Y
ELECTRÓNICOS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ALTA
PRESIÓN DEL CONJUNTO CRDI DEL MOTOR DIÉSEL KIA 2.0L TIPO
D4EA”**

AUTOR: MOLINA SANTAMARÍA, JHONATAN JAVIER

DIRECTOR: ING. ERAZO LAVERDE, WASHINGTON GERMÁN

LATACUNGA

2019



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

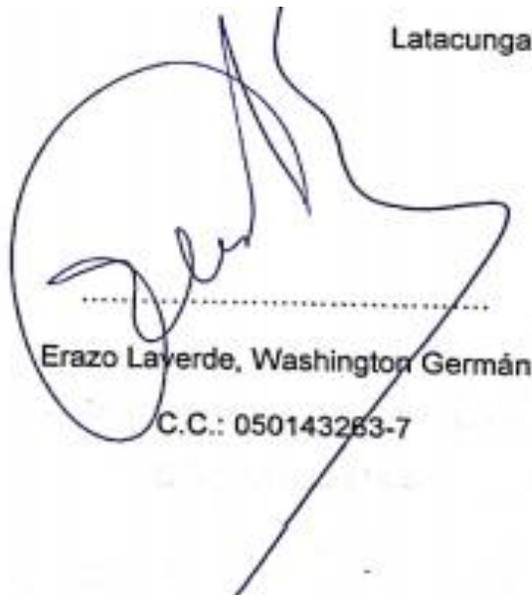
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **“ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS MECÁNICOS Y ELECTRÓNICOS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ALTA PRESIÓN DEL CONJUNTO CRDI DEL MOTOR DIÉSEL KIA 2.0L TIPO D4EA”** fue realizado por el señor Molina Santamaría Jhonatan Javier, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 14 de junio del 2019



.....
Erazo Layerde, Washington Germán
C.C.: 050143263-7



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Molina Santamaría Jhonatan Javier con cédula de ciudadanía 172178443-5 declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación **“ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS MECÁNICOS Y ELECTRÓNICOS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ALTA PRESIÓN DEL CONJUNTO CRDI DEL MOTOR DIÉSEL KIA 2.0L TIPO D4EA”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 14 de junio del 2019



Molina Santamaría, Jhonatan Javier

C.C.: 1721784435



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORIZACIÓN

Yo, Molina Santamaría Jhonatan Javier con cédula de ciudadanía 172178443-5, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación **“ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS MECÁNICOS Y ELECTRÓNICOS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ALTA PRESIÓN DEL CONJUNTO CRDI DEL MOTOR DIÉSEL KIA 2.0L TIPO D4EA”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 14 de junio del 2019



Molina Santamaría, Jhonatan Javier

C.C.: 1721784435

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado a mis padres, José Luis y Ely quienes me han apoyado de manera incondicional, gracias por sus consejos, esfuerzo, ser mi guía, por estar siempre a mi lado cuando más los necesite.

A mis hermanos José y Martin, quienes siempre me apoyaron y presionaron, ya que son mi motivación.

A Dennisse por su paciencia, apoyo, comprensión y amor. Por siempre empujarme para seguir adelante.

A mis abuelitos: Martha por siempre estar pendiente de mí, en que no me falte la alimentación, Paco por sus consejos y alegría que le caracterizan, Elba por ser una mujer independiente y que me ha brindado su apoyo, José por la fuerza de luchar ante la adversidad.

A mis tíos Marco y Paty, por siempre estar preocupados por mí, desearme lo mejor y más que tíos los considero como hermanos.

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la fuerza para seguir adelante en momentos difíciles.

A mis padres por el apoyo, estar pendientes cada día de mí, sin ellos esto no sería posible.

A todos los ingenieros que me supieron brindar su conocimiento a lo largo de carrera universitaria.

Al ingeniero German Erazo por el apoyo en esta investigación, por su tiempo y dedicación.

Al ingeniero Luis Mena por el apoyo en esta investigación.

Al ingeniero Juan Castro, quien me brindó su apoyo en momentos adversos.

A mis amigos con los que compartí buenos momentos.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xvii

CAPÍTULO I

MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1	Antecedentes investigativos	1
1.2	Planteamiento del problema	2
1.3	Justificación e importancia	3
1.4	Objetivos	4
1.4.1	Objetivo general.....	4

1.4.2	Objetivo específicos	5
1.5	Metas	5
1.6	Hipótesis	6
1.7	Variables de investigación	6
1.7.1	Variable independiente	6
1.7.2	Variable dependiente	6
1.8	Metodología de la investigación	7

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Sistema de inyección CRDI (Common Rail Direct Injection)	12
2.1.1.	Funcionamiento sistema CRDI	13
2.1.2.	Principales partes del sistema	15
2.1.3.	Ventajas.....	19
2.1.4.	Aplicaciones.	21
2.1.5.	Fallas más comunes.	21
2.2.	Sistemas de inyección Bosch	23
2.2.1.	Funcionamiento	23
2.3.	Componentes	24
2.3.1.	Bujías de incandescencia	24

2.3.2.	Unidad de control electrónico.....	28
2.3.3.	Sistema de baja presión	29
2.3.4.	Sistema de alta presión	39

CAPÍTULO III

IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DEL MOTOR KIA 2.0L TIPO D4EA

3.1.	Construcción del banco de pruebas	56
3.1.1.	Construcción de la estructura	56
3.1.2.	Montaje del motor	57
3.1.3.	Ensamblaje de los componentes del motor.....	58
3.1.4.	Construcción del tablero	59
3.2.	Protocolo de pruebas	60
3.2.1.	Equipos.....	60
3.2.2.	Pruebas de los actuadores con el multímetro	68
3.2.3.	Comprobación de los actuadores con el osciloscopio	71
3.2.4.	Prueba con la pinza amperimétrica Brain Bee	72
3.2.5.	Diagnóstico por imágenes de los actuadores con el detector de fallas y osciloscopio FADOS9F1	73
3.2.6.	Comprobación de los actuadores con el scanner.....	73
3.2.7.	Comprobación de la prueba de retorno.....	74

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS MECÁNICOS Y ELECTRÓNICOS DE CADA

ACTUADOR DEL CONJUNTO CRDI DEL MOTOR D4EA

4.1.	Introducción.....	77
4.2.	Inyectores.....	77
4.2.1.	Pruebas con multímetro	78
4.2.2.	Pruebas con osciloscopio	79
4.2.3.	Pruebas de corriente.....	81
4.2.4.	Pruebas con osciloscopio y pinza amperimétrica	86
4.2.5.	Pruebas con escáner	94
4.3.	Válvula IPR	96
4.3.1.	Pruebas con el multímetro	96
4.3.2.	Pruebas con el osciloscopio.....	97
4.3.3.	Pruebas con el escáner	100
4.4.	Bomba de baja presión.....	101
4.4.1.	Pruebas con el multímetro	102
4.4.2.	Pruebas con el osciloscopio.....	103
4.4.3.	Pruebas con el escáner	104
4.5.	Bujías de incandescencia o precalentamiento	105

4.5.1.	Pruebas con el multímetro	105
4.5.2.	Pruebas con el osciloscopio.....	106
4.6.	Prueba de retorno de combustible.....	107
4.7.	Prueba de diagnóstico por imágenes	109

CAPÍTULO V

MARCO ADMINISTRATIVO

5.1.	Recursos	115
5.1.1.	Recursos humanos	115
5.1.2.	Recursos Tecnológicos.....	115
5.1.3.	Recursos Materiales	116
5.2.	Análisis de costos de la investigación.....	117
5.2.1.	Costo de la Construcción del Banco de pruebas.....	117
5.2.2.	Costo de las pruebas	118
5.2.3.	Costo total de la investigación	118

CONCLUSIONES	120
---------------------------	------------

RECOMENDACIONES	122
------------------------------	------------

BIBLIOGRAFÍA	123
---------------------------	------------

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Variable independiente: Sistema CRDI</i>	6
Tabla 2 <i>Variable dependiente: Parámetros mecánicos y electrónicos</i>	7
Tabla 3 <i>Metodología, instrumentación y laboratorios donde se llevó a cabo el proyecto.</i>	9
Tabla 4 <i>Cuadro general de fallas del sistema de alimentación de combustible</i>	22
Tabla 5 <i>Características del osciloscopio automotriz OTC 3840F</i>	60
Tabla 6 <i>Partes del osciloscopio automotriz OTC 3840F</i>	61
Tabla 7 <i>Características del osciloscopio automotriz Hantek 1008c</i>	62
Tabla 8 <i>Características del detector de fallas y osciloscopio FADOS9F1.</i>	63
Tabla 9 <i>Especificaciones de la pinza amperimétrica Bran Bee.</i>	65
Tabla 10 <i>Especificaciones y características del escáner Auto Boss V-30</i>	67
Tabla 11 <i>Características del multímetro automotriz TRUPER MUT-105</i>	67
Tabla 12 <i>Partes del multímetro TRUPER MUT-105</i>	68
Tabla 13 <i>Pruebas de los actuadores</i>	71
Tabla 14 <i>Pasos para efectuar la prueba de retorno de combustible</i>	74
Tabla 15 <i>Características de los actuadores analizados.</i>	77
Tabla 16 <i>Características de los inyectores analizados</i>	78
Tabla 17 <i>Características de prueba de los inyectores por medio del multímetro</i>	79
Tabla 18 <i>Códigos de falla de los inyectores</i>	95
Tabla 19 <i>Cables de la válvula IPR.</i>	96
Tabla 20 <i>Valores de voltaje de la válvula IPR.</i>	97
Tabla 21 <i>Código de falla de la válvula IPR</i>	101

Tabla 22 <i>Cables de la bomba de baja presión.</i>	101
Tabla 23 <i>Valores de voltaje de la bomba de baja presión.</i>	102
Tabla 24 <i>Código de falla de la bomba de baja presión.</i>	104
Tabla 25 <i>Cables de la bujía de incandescencia.</i>	105
Tabla 26 <i>Valores de voltaje de las bujías de incandescencia.</i>	106
Tabla 27 <i>Colaboradores de la investigación</i>	115
Tabla 28 <i>Recursos tecnológicos</i>	116
Tabla 29 <i>Recursos Materiales</i>	116
Tabla 30 <i>Costo de la Construcción del banco de pruebas</i>	117
Tabla 31 <i>Costo de las pruebas</i>	118
Tabla 32 <i>Costo total de la investigación.</i>	119

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Árbol de problemas.	3
Figura 2. Configuración general del sistema common rail (CRDI).....	16
Figura 3. Sectores del sistema de inyección Common Rail	17
Figura 4. Partes del sistema Common Rail en un motor Diésel	18
Figura 5. Bujía de incandescencia.....	24
Figura 6. Fases de incandescencia en las bujías.	26
Figura 7. Estructura de una bujía de incandescencia.	27
Figura 8. Unidad de control electrónico	28
Figura 9. Esquema de señales que recibe y proporciona la ECU	29
Figura 10. Depósito de combustible	30
Figura 11. Bomba de paletas.....	32
Figura 12. Partes de la bomba de paletas	32
Figura 13. Presión de transferencia según las revoluciones de la bomba.....	33
Figura 14. Regulador de presión de transferencia	33
Figura 15. Esquema del sistema Common Rail con bomba de ruedas dentadas	34
Figura 16. Esquema del sistema Common Rail con bomba eléctrica de combustible.	35
Figura 17. Bomba de montaje en el depósito de combustible.....	36
Figura 18. Cañería de combustible de la línea de aja presión.	37
Figura 19. Filtro de combustible y sus partes.....	38
Figura 20. Esquema del circuito de la parte de alta presión.....	39

Figura 21. Esquema de funcionamiento de bomba de alta presión	40
Figura 22. Esquema de una bomba de alta presión del sistema Common Rail	41
Figura 23. Acumulador de presión	43
Figura 24. Válvula reguladora de presión	46
Figura 25. Partes del inyector	47
Figura 26. Esquema de funcionamiento del inyector	50
Figura 27. Proceso de activación de la válvula electromagnética de alta presión para una inyección	51
Figura 28. Impulso de inyección	52
Figura 29. Estructura del inyector piezoeléctrico	53
Figura 30. Muestra de cinco inyecciones	54
Figura 31. Tuberías de alta presión	55
Figura 32. Estructura tubular del banco de pruebas	57
Figura 33. Ensamble de motor Kia 2.0L tipo D4EA en la estructura tubular.....	58
Figura 34. Ensamble de los componente del motor Kia 2.0L	58
Figura 35. Tablero del banco de pruebas	59
Figura 36. Partes del osciloscopio OTC 3840F	61
Figura 37. Osciloscopio Hantek 1008c	62
Figura 38. Detector de fallas y osciloscopio FADOS9F1	64
Figura 39. Pinza amperimétrica Brain Bee	65
Figura 40. Medidor de retorno de combustible.....	66
Figura 41. Escáner AUTOBOSS V-30	66
Figura 42. Partes del multímetro.....	68
Figura 43. Oscilograma ralenti	80

Figura 44. Oscilograma 1500rpm	80
Figura 45. Oscilograma 2500rpm	81
Figura 46. Curvas de corriente a ralenti.....	82
Figura 47. Curvas de corriente a ralenti.....	82
Figura 48. Curvas de corriente a 1500rpm.	83
Figura 49. Curvas de corriente a 1500rpm	84
Figura 50. Curvas de corriente a 2500rpm.	84
Figura 51. Curvas de corriente a 2500rpm.	85
Figura 52. Oscilograma de inyección y corriente a ralenti.	87
Figura 53. Oscilograma de inyección y corriente a 1500rpm.	87
Figura 54. Oscilograma de inyección y corriente a 2500rpm.	88
Figura 55. Oscilograma de inyección y corriente a ralenti.	89
Figura 56. Oscilograma de inyección y corriente a 1500rpm.	89
Figura 57. Oscilograma de inyección y corriente a 2500rpm.	90
Figura 58. Oscilograma de inyección y corriente a ralenti.	91
Figura 59. Oscilograma de inyección y corriente a 1500rpm.	91
Figura 60. Oscilograma de inyección y corriente a 2500rpm.	92
Figura 61. Oscilograma de inyección y corriente a ralenti.	93
Figura 62. Oscilograma de inyección y corriente a ralenti.	93
Figura 63. Oscilograma de inyección y corriente a 2500rpm.	94
Figura 64. Oscilograma de la válvula IPR a ralenti.	98
Figura 65. Oscilograma de la válvula IPR a ralenti.	98
Figura 66. Oscilograma de la válvula IPR a 1500rpm.	99
Figura 67. Oscilograma de la válvula IPR a 1500rpm	99

Figura 68. Oscilograma de la válvula IPR a 2500rpm.....	100
Figura 69. Oscilograma de la válvula IPR a ralentí.	100
Figura 70. Oscilograma de la bomba de baja presión.....	103
Figura 71. Oscilograma de la bomba de baja presión.....	104
Figura 72. Oscilograma de las bujías de incandescencia.	107
Figura 73. Caudal de retorno en ralentí.	108
Figura 74. Caudal de retorno en 1500rpm	108
Figura 75. Caudal de retorno en 2500rpm	109
Figura 76. Diagrama del circuito equivalente de la bomba de baja presión.	110
Figura 77. Diagrama del circuito equivalente de la válvula IPR.	110
Figura 78. Diagrama del circuito equivalente del inyector #1	111
Figura 79. Diagrama del circuito equivalente del inyector #2	111
Figura 80. Diagrama del circuito equivalente del inyector #3.....	112
Figura 81. Diagrama del circuito equivalente del inyector #2.	112
Figura 82. Diagrama del circuito equivalente de las bujías de precalentamiento.	113
Figura 83. Diagrama eléctrico de sensores y actuadores del motor Kia 2.0L tipo D4EA.	114

RESUMEN

Los avances tecnológicos que se presentan en el sistema de inyección diésel por conducto común se llevan a cabo gracias a las necesidades y exigencias medio ambientales. El sistema CRDI ayuda a reducir los gases contaminantes ya que posee una mejor pulverización de combustible, control electrónico de inyección, tiempos más precisos de la misma y una combustión óptima en la cámara gracias a la eficiente mezcla proporcionada. La presente investigación consiste en el análisis del sistema de alta presión del conjunto CRDI en el motor diésel Kia 2.0L determinando los parámetros mecánicos y electrónicos para un correcto funcionamiento del mismo. Se realizó un protocolo de pruebas permitiendo medir valores de voltaje, analizar las curvas de corriente y funcionamiento, características de los actuadores, con la finalidad de servir como guía a futuro para estudios relacionados. Para el desarrollo de esta investigación, se utilizaron herramientas y equipos como: multímetro truper, osciloscopio Hantek 1008c, osciloscopio OTC, escáner AUTOBOSS V-30, pinza amperimétrica Brain Bee, detector de fallas por imagen FADOS9F1, medidor de volumen de retorno diésel en sistemas CRDI. Con los equipos anteriormente mencionados se realizan pruebas a ralentí, 1500rpm y 2500rpm, las que permiten determinar los parámetros de funcionamiento del sistema de alta presión como también de todo el motor.

PALABRAS CLAVES

- **INYECCIÓN DIRECTA COMMON RAIL**
- **AUTOMÓVILES - ACTUADORES**
- **AUTOMÓVILES - CONTROL ELECTRÓNICO**

ABSTRACT

The technological advances that are presented in the system of diesel injection by common conduit are carried out thanks to the needs and environmental requirements. The CRDI system helps to reduce polluting gases since it has a better fuel spraying, electronic control of injection, more precise times of the same and an optimal combustion in the chamber thanks to the efficient mixture provided. The present investigation consists in the analysis of the high pressure system of the CRDI unit in the Kia 2.0L diesel engine, determining the mechanical and electronic parameters for its correct operation. A test protocol was carried out, allowing the measurement of voltage values, analyzing the curves of current and operation, characteristics of the actuators, with the purpose of serving as a guide for the future for related studies. For the development of this research, tools and equipment were used such as: truper multimeter, Hantek 1008c oscilloscope, OTC oscilloscope, AUTOBOSS V-30 scanner, Brain Bee amperometric clamp, FADOS9F1 image failure detector, diesel return volume meter in systems CRDI With the aforementioned equipment, tests are performed at idle, 1500rpm and 2500rpm, which allow to determine the operating parameters of the high pressure system as well as the entire engine.

KEYWORDS

- **COMMON RAIL DIRECT INJECTION**
- **CAR - ACTUATORS**
- **CAR - ELECTRONIC CONTROL**

CAPÍTULO I

1. MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Antecedentes investigativos

En el campo automotriz siempre va a existir una evolución continua de los motores de combustión interna adaptándose cada vez más a las exigentes reglas ambientales en cuanto a la emisión de gases contaminantes, es así que este ha ido evolucionando con el tiempo, antes se utilizaban motores muy grandes y ruidosos, hoy en día existen más pequeños y eficientes a la vez, todo gracias a los avances tecnológicos.

Las mejoras en los sistemas de inyección ya no solo se enfocan en generar un excelente rendimiento del motor de encendido por compresión, ahora también reducen las emisiones contaminantes con la final de cumplir con las exigentes normas ambientales.

(Castillejo Calle, 2014) menciona que: “En la actualidad existen sistemas que son capaces de controlar la inyección de forma totalmente electrónica, con presiones de inyección muy elevadas. Solo así se consigue cumplir la legislación vigente sobre emisiones” (p.4).

(Bosch, 2005) menciona que: “Los requisitos del sistema CRDI para reducir el consumo de combustible, sustancias nocivas presentes en los gases de escape, y un funcionamiento más silencioso del motor exigen, a su vez, estándares más elevados en los sistemas de inyección” (p.4).

Los motores diésel con inyección electrónica tienen alta precisión y control sobre la misma , la cual logra una pulverización eficiente dentro de la cámara de combustión esto gracia a la presión generada por la bomba, con lo que consigue reducir los NOx y las emisiones que son perjudiciales para el medio ambiente (Batallas Espinoza, 2017)

El sistema de inyección electrónica CRDI posee una tecnología avanzada en comparación a los anteriores sistemas de inyección, esta investigación se basa en el análisis del comportamiento mecánico y electrónico de los actuadores de dicho sistema, para analizar su correcto funcionamiento y de esta manera lograr un óptimo desempeño dentro del sistema CRDI y del motor en general.

1.2 Planteamiento del problema

Las exigencias medio ambientales que existen a nivel mundial, como también el alto índice de consumo de combustible, han llevado aplicar la electrónica en los motores diésel, a través de avances tecnológicos en el sistema de inyección como lo es el conjunto CRDI, para una respuesta más precisa a los requerimientos mejorando la combustión del vehículo.

El constante desarrollo en las tecnologías del sistema de inyección electrónica CRDI, requiere de una actualización continua de conocimientos sobre el funcionamiento del sistema. En tal virtud el problema a resolver es determinar los parámetros mecánicos y electrónicos del motor Kia 2.0L, ya que se presenta la necesidad de investigar sobre el funcionamiento óptimo del sistema de inyección electrónico CRDI, como de los parámetros mecánicos y electrónicos.

Por lo cual la presente investigación busca estrategias para el desempeño del motor diésel CRDI, que ayuden a reducir el consumo de combustible como también de los gases contaminantes producidos por el trabajo del motor y a su vez aumentar la potencia del motor.

Mediante esta investigación, se obtendrá un diagnóstico útil y efectivo sobre el funcionamiento electrónico y mecánico del sistema de alta presión en el conjunto CRDI.

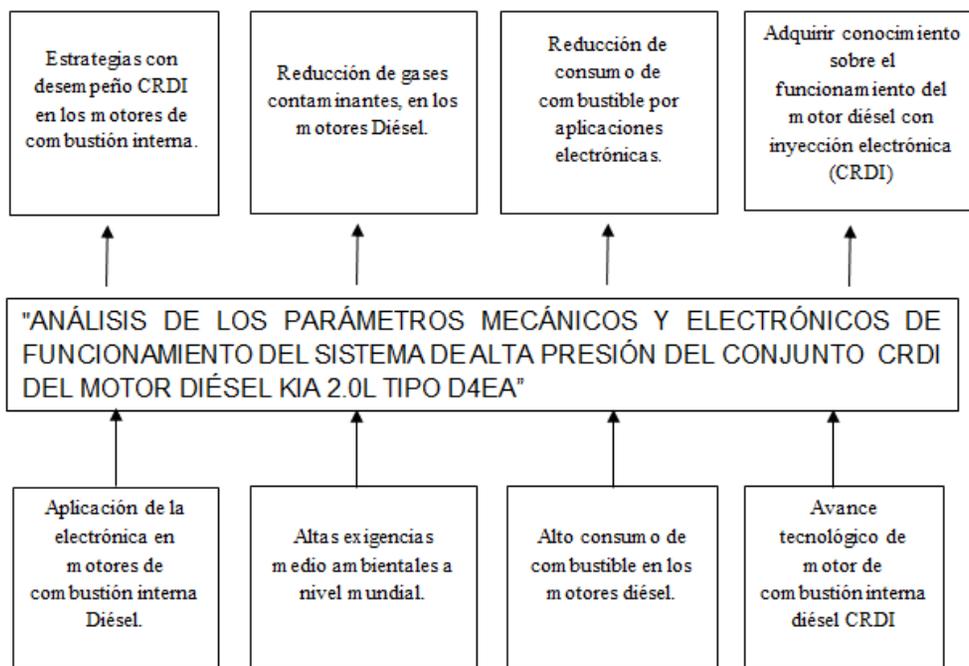


Figura 1. Árbol de problemas.

1.3 Justificación e importancia

En Ecuador existe una gran demanda de motores diésel tanto para vehículos livianos como para el transporte pesado, los cuales poseen sistema de inyección CRDI y cada vez mayor tecnología dentro de los mismos. Por lo cual se convierte en prioridad analizar el funcionamiento de cada elemento que comprende el sistema de inyección

electrónico de alta presión, con la finalidad de evaluar el estado de trabajo de cada componente, ya que gracias a la labor de cada uno de los actuadores se logra tener un menor consumo de combustible, reducción de las emisiones contaminantes y aumento de potencia en el motor.

Bustillos y Simbaña (2018) mencionan que:

El constante crecimiento automotor en nuestro país se ha generado por la innovación de avances tecnológicos que se presenta continuamente, en la que se incluye el sistema de inyección CRDI, ya que la misma ofrece ventajas en las cuales abarca minuciosamente un espacio más amplio en el mercado, es indispensable estar a la vanguardia de la información técnica especializada que nos permite brindar mantenimiento y uso adecuado al sistema (p.5).

Con esta investigación se obtiene información sobre el funcionamiento de los diferentes componentes del sistema de inyección de alta presión que comprenden el conjunto CRDI, lo cual sirve de base en el diagnóstico de posibles fallas dentro del sistema de inyección electrónico de alta presión, como también ampliar el conocimiento sobre el correcto funcionamiento del sistema CRDI, con la finalidad de medir en tiempo real cada uno de sus elementos.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general.

Analizar los parámetros de desempeño mecánico y electrónico del sistema de inyección de alta presión del conjunto CRDI del motor Kia 2.0L, para optimizar operaciones de diagnóstico y la localización de fallas.

1.4.2 Objetivo específicos

- Recopilar información de fuentes confiables como son manuales, libros, artículos científicos, tesis relacionadas que faciliten el desarrollo del proyecto.
- Analizar los datos de funcionamiento del sistema de alta presión del conjunto CRDI a diferentes regímenes del motor.
- Elaborar el banco de pruebas para el motor diésel Kia 2.0L CRDI tipo D4EA.
- Realizar el protocolo de pruebas para analizar el funcionamiento de los diferentes actuadores del sistema de control electrónico del sistema CRDI.
- Obtener las curvas de funcionamiento y valores de voltaje correspondientes a los diferentes actuadores del sistema de alta presión, con instrumentos de medición y diagnóstico automotriz.
- Analizar los datos resultantes de cada una de las pruebas de los componentes del sistema de inyección electrónica CRDI.

1.5 Metas

- Elaborar un banco de pruebas electrónicas del sistema CRDI, con un motor KIA 2.0L tipo D4EA, el cual permita realizar las pruebas pertinentes para la obtención de información confiable, en un periodo doce semanas.
- Realizar las pruebas de los parámetros mecánicos y electrónicos del sistema CRDI con los diferentes tipos de instrumentos automotrices como multímetro, osciloscopio, escáner, diagnóstico de imágenes y probador de retorno de combustible, en un periodo de tres semanas.

- Identificar las curvas características de cada actuador del sistema de inyección CRDI, como también los valores de voltaje, en un periodo de dos semanas.

1.6 Hipótesis

El análisis de los parámetros mecánicos y electrónicos del sistema de alta presión del conjunto CRDI del motor diésel KIA 2.0L permitirá realizar un diagnóstico efectivo en el sistema CRDI, con lo cual servirá como guía para un mejor reconocimiento de averías y de los códigos de falla que se pueden presentar en el sistema.

1.7 Variables de investigación

1.7.1 Variable independiente

Sistema CRDI.

Tabla 1

Variable independiente: Sistema CRDI

Concepto	Categoría	Indicador	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Es un sistema electrónico de inyección de combustible para motores diésel de inyección directa.	Académico Tecnológico	Presión del sistema de alimentación	[Psi]	Medición Experimentación	Protocolo de pruebas
		Voltajes de operación del control electrónico	[V]	Medición Experimentación	Protocolo de pruebas
		Técnicas de autodiagnóstico	[DTC]	Medición Experimentación	Protocolo de pruebas
		Parámetros de ingreso de aire	[V] [°C]	Medición Experimentación	Protocolo de pruebas

1.7.2 Variable dependiente

Control electrónico.

Tabla 2*Variable dependiente: Parámetros mecánicos y electrónicos*

Concepto	Categoría	Indicador	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Los parámetros mecánicos y electrónicos de los actuadores del sistema CRDI son datos que nos especifican las condiciones en las cuales trabajan y con esto influyen en el desempeño del sistema CRDI y en consecuencia del motor. (Bustillos y Simbaña, 2018)	Académico Tecnológico	Voltaje de activación del inyector	[V] [S]	Medición Experimentación	Protocolo de pruebas
		Corriente de activación del inyector	[A]	Medición Experimentación	Protocolo de pruebas
		Voltaje de activación de las bujías de incandescencia	[V]	Medición Experimentación	Protocolo de pruebas
		Presión del riel de combustible	[V] [psi]	Medición Experimentación	Protocolo de pruebas
		Voltaje de activación válvula IPR	[V]	Medición Experimentación	Protocolo de pruebas
		Voltaje de activación de la bomba de combustible	[V]	Medición Experimentación	Protocolo de pruebas
		Temperatura del Combustible	[V] [°C]	Medición Experimentación	Protocolo de pruebas

1.8 Metodología de la investigación

Para el desarrollo de la investigación se manejarán diversos métodos y técnicas, los cuales serán aplicados con mayor o menor énfasis según las etapas de la investigación, los métodos que se utilizarán son la deducción, la síntesis, la inducción, el análisis, lo experimental, y la comparación de los resultados para lograr alcanzar los objetivos planteados. (Ruiz, 2007)

- **Método deductivo**

El método deductivo permitió analizar las características, parámetros de funcionamiento, como también las pruebas a realizarse sobre el comportamiento mecánico y electrónico de los actuadores del sistema CRDI, para establecer información confiable acerca del desempeño de los mismos mediante el protocolo de pruebas.

- **Método inductivo**

Para el desarrollo de la investigación fue necesario aplicar el método inductivo, el mismo que permitió estimar un rango de valores de voltaje de los actuadores del sistema de alta presión, por medio de instrumentos de diagnóstico automotriz que permitieron establecer los valores de voltaje en los que oscilan cada uno de los actuadores.

- **Método experimental**

Con el método experimental se realizaron las pruebas de funcionamiento sobre los parámetros mecánicos y electrónicos del sistema de alta presión en el conjunto CRDI, además de obtener curvas características del comportamiento de cada uno de los actuadores dependiendo de las revoluciones que se encuentre el motor, con lo cual se obtuvo resultados fiables de cada uno de los actuadores.

- **Método analítico**

En esta investigación se utilizó el método analítico con la finalidad de obtener valores a través de instrumentos de diagnóstico automotriz en base al protocolo de

pruebas, para analizar el comportamiento mecánico y electrónico de cada actuador del sistema CRDI.

- **Método de síntesis**

El método de síntesis se aplicó en los tipos de pruebas, a diferentes revoluciones del motor, para obtener los datos en manera ordenada y sintetizada del correcto funcionamiento de trabajo del sistema de alta presión del conjunto CRDI.

- **Método comparativo**

Este método permitió comparar los diferentes resultados analizados de las curvas características de funcionamiento, valores de voltaje, y posibles códigos de falla (DTC), la variación que presentan los actuadores del sistema CRDI según el protocolo realizado.

- **Método de la medición**

Mediante el método de medición se obtuvo los valores de voltajes de los diferentes actuadores del sistema de inyección, estos datos se obtuvieron con la ayuda de los instrumentos de diagnóstico automotriz luego de cada protocolo de pruebas.

Tabla 3

Metodología, instrumentación y laboratorios donde se llevó a cabo el proyecto.

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
Método deductivo	El método deductivo permitió analizar las características, parámetros de funcionamiento, como también las pruebas a realizarse sobre el comportamiento mecánico y electrónico de los actuadores del sistema CRDI, para establecer información	<ul style="list-style-type: none"> • Osciloscopio automotriz Hantek • Escáner Automotriz AUTOBOSS V-30 • Multímetro automotriz • Banco de Pruebas Motor Kia 2.0L tipo D4EA 	Laboratorio de Motores de Combustión Interna y Rectificación de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga

CONTINÚA



	confiable acerca del desempeño de los mismos mediante el protocolo de pruebas.		
Método inductivo	Para el desarrollo de la investigación fue necesario aplicar el método inductivo, el mismo que permitió estimar un rango de valores de voltaje de los actuadores del sistema de alta presión, por medio de instrumentos de diagnóstico automotriz que permitieron establecer los valores de voltaje en los que oscilan cada uno de los actuadores.	<ul style="list-style-type: none"> • Osciloscopio automotriz Hantek • Escáner Automotriz AUTOBOSS V-30 • Multímetro automotriz • Banco de Pruebas Motor Kia 2.0L tipo D4EA 	Laboratorio de Motores de Combustión Interna y Rectificación de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga
Método experimental	Con el método experimental se realizaron las pruebas de funcionamiento sobre los parámetros mecánicos y electrónicos del sistema de alta presión en el conjunto CRDI, además de obtener curvas características del comportamiento de cada uno de los actuadores dependiendo de las revoluciones que se encuentre el motor, con lo cual se obtuvo resultados fiables de cada uno de los actuadores.	<ul style="list-style-type: none"> • Osciloscopio automotriz OTC • Escáner Automotriz G Scan • Multímetro automotriz • Banco de Pruebas Motor Kia 2.0L tipo D4EA 	<ul style="list-style-type: none"> • Laboratorio de Motores de Combustión Interna y Rectificación de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga
Método analítico	En esta investigación se utilizó el método analítico debido a que se obtuvo valores mediante el uso de instrumentos de diagnóstico automotriz en base al protocolo de pruebas, para analizar el	<ul style="list-style-type: none"> • Osciloscopio automotriz Hantek • Escáner Automotriz AUTOBOSS V-30 • Multímetro automotriz 	Laboratorio de Motores de Combustión Interna y Rectificación de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga



	comportamiento mecánico y electrónico de cada actuador del sistema CRDI.	<ul style="list-style-type: none"> • Banco de Pruebas Motor Kia 2.0L tipo D4EA 	
Método de síntesis	El método de síntesis se aplicó en los tipos de pruebas, a diferentes revoluciones del motor, para obtener los datos en manera ordenada y sintetizada del correcto funcionamiento de trabajo del sistema de alta presión del conjunto CRDI.	<ul style="list-style-type: none"> • Osciloscopio automotriz Hantek • Escáner Automotriz AUTOBOSS V-30 • Multímetro automotriz • Banco de Pruebas Motor Kia 2.0L tipo D4EA 	Laboratorio de Motores de Combustión Interna y Rectificación de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga
Método comparativo	Este método permitió comparar los diferentes resultados analizados de las curvas características de funcionamiento, valores de voltaje, y posibles códigos de falla (DTC), la variación que presentan los actuadores del sistema CRDI según el protocolo realizado.	<ul style="list-style-type: none"> • Osciloscopio automotriz Hantek • Escáner Automotriz AUTOBOSS V-30 • Multímetro automotriz • Banco de Pruebas Motor Kia 2.0L tipo D4EA 	Laboratorio de Motores de Combustión Interna y Rectificación de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga
Método de la medición	Mediante el método de medición se obtuvo los valores de voltajes de los diferentes actuadores del sistema de inyección, estos datos se obtuvieron con la ayuda de los instrumentos de diagnóstico automotriz luego de cada protocolo de pruebas.	<ul style="list-style-type: none"> • Osciloscopio automotriz Hantek • Escáner a automotriz AUTOBOSS V-30 • Multímetro automotriz • Banco de Pruebas Motor Kia 2.0L tipo D4EA 	Laboratorio de Motores de Combustión Interna y Rectificación de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Sistema de inyección CRDI (Common Rail Direct Injection)

Es importante conocer a que hace referencia el sistema de inyección de combustible, a continuación se mencionan algunos aportes que elaboraran ciertos autores.

El conducto común fue elaborado por colaboradores de Alfa Romero y Magnetti Marelli pero su implementación no fue la mejor. Años después Bosch lo patentó y decidió incluirlo en el sistema de inyección, cambiando su nombre por acumulador de combustible (Cabezas Bejarano & Freire Poveda, 2018)

(Bosch R. , 1999) en el manual de la técnica del automóvil menciona: “El sistema de inyección de almacenamiento “Common Rail” hace posible la integración del sistema de inyección en el motor diésel junto con ampliaciones de funciones y conseguir grados adicionales de libertad para el desarrollo de la combustión.” (p.521).

Según (Castillejo Calle, 2014) menciona que:

El Common Rail es uno de los sistemas de inyección más perfeccionados que existen actualmente. Permite cumplir todos los requisitos planteados a los motores diésel, que cada vez son más estrictos. La integración de los sistemas Common Rail en los motores diésel de inyección directa ha supuesto un paso más en la mejora de estos motores (p.86).

Por otro lado tenemos al autor (Denso, 2007) quien afirma: “El sistema de riel común utiliza un tipo de cámara de acumulación llamada riel para almacenar combustible presurizado e inyectores que contienen válvulas de solenoide controladas electrónicamente para inyectar el combustible presurizado en los cilindros”. (p.4).

(Bosch, 2005) El sistema Common Rail es uno de los más perfeccionados que existe, este ofrece una alta maleabilidad en el ajuste de la inyección al motor.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente el sistema de inyección de combustible tiene un acumulador llamado riel, que mantiene la presión del diésel para luego pasar a los inyectores quienes son controlados electrónicamente, además son los encargados de pulverizar el diésel en el cilindro. El sistema common rail permite cumplir con los estrictos requisitos de mejora del motor diésel.

2.1.1. Funcionamiento sistema CRDI

Varios autores explican el funcionamiento del sistema de inyección por acumulador común.

(Bosch, 2005) menciona que:

En el sistema de inyección por acumulador common rail se encuentran separadas la generación de presión y la inyección. La presión que se genera en la inyección es independiente del régimen del motor como también del caudal. El sistema de regulación electrónica diésel (EDC) controla cada uno de los componentes (p.6).

Gil (2002) menciona que:

El sistema, desarrollado en colaboración con Bosch permite determinar una inyección ideal. La inyección se realiza mediante alta presión gracias a una rampa de inyección común para todos los inyectores electromagnéticos, llamada "Common Rail". Dicha rampa de inyección común está sometida a alta presión. La presión de inyección puede llegar a ser de aproximadamente 1.350 bar a altas vueltas" (p.18).

Según (Millares 1986). "El sistema de inyección, al ser controlado por la ECU del motor (la presión, la relación y el calado de inyección), es independiente, y por lo tanto, no se ve afectado por el régimen o la carga del motor".

En los sistemas de inyección directa común riel la presión del combustible está a disposición del requerimiento del motor. Según (Armas & Vaca, 2013) en las inyecciones por acumulador, la generación de presión y la inyección de carburante son realizadas por separado, la alta presión generada está separada de las revoluciones del motor y de la cantidad de carburante inyectado. Con esto los autores tratan de decir que la presión en el riel va a ser constante, ya que es regulada por medio de una válvula que permite a la presión no exceder ni tampoco ser deficiente.

(Denso, 2007) refiere que:

Debido a que la ECU del motor controla el sistema de inyección (incluida la presión de inyección, la velocidad de inyección y el tiempo de inyección), el sistema de inyección es independiente y, por lo tanto, no se ve afectado por la velocidad o la carga del motor, se puede controlar la cantidad y el tiempo de inyección a un alto nivel de precisión, incluso es posible la inyección múltiple (inyecciones de combustible múltiples en una sola carrera de inyección (p.4).

De acuerdo a lo planteado por estos autores en el sistema de inyección por acumulador común, la presión que se amontona en el riel es independiente al régimen de revoluciones que se encuentre el motor, con esto se logra dentro del riel común una presión estable en todo momento, esto se sucede gracias a la válvula instalada en el riel, que se encarga de regular la presión dentro del mismo, para que luego realice cada inyector la pulverización de combustible, todo esto controlado por la ECU del motor, para así tener un funcionamiento óptimo del mismo.

2.1.2. Principales partes del sistema

Las principales partes del sistema común riel según (Denso, 2007) quien menciona que: “El sistema de control de rampa común se puede dividir en líneas generales en las cuatro áreas siguientes: sensores, ECU del motor, EDU y actuadores” (p.6).

- **Sensores:** Detectan el estado del motor y de la bomba.
- **ECU del motor:** Recibe señales de los sensores, calcula la cantidad de inyección y el tiempo de inyección adecuado para un funcionamiento óptimo del motor y envía las señales apropiadas a los actuadores.
- **EDU:** Permite la activación de los inyectores en altas velocidades. Existen además algunos tipos con circuito de carga dentro de la ECU que cumplen con la misma función que la EDU, por ende no existe la EDU.
- **Actuadores:** Proporcionan la cantidad y tiempo de inyección óptimos según las señales enviadas desde la ECU del motor. (Denso, 2007)

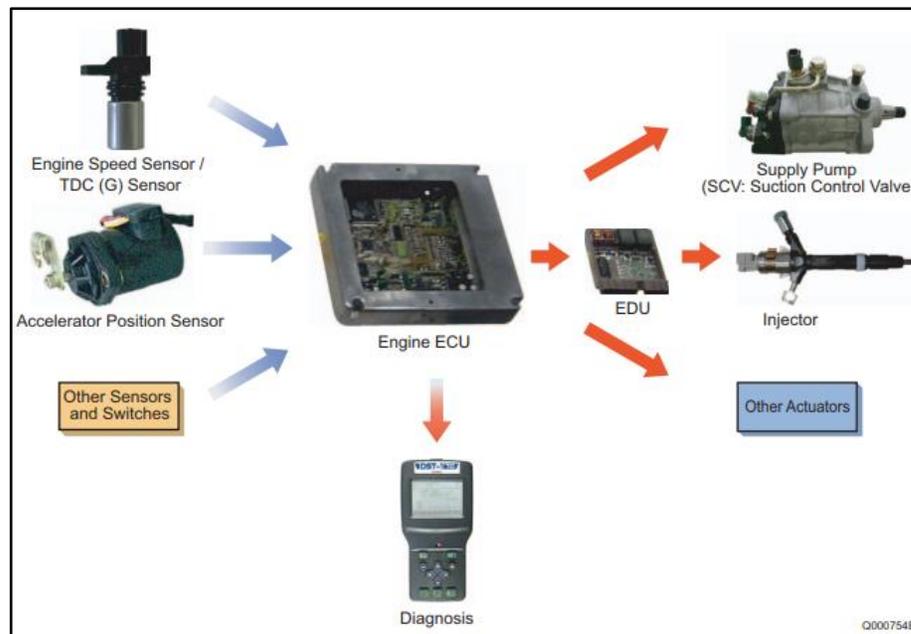


Figura 2. Configuración general del sistema common rail (CRDI)

Fuente: (Denso, 2007)

El mismo autor divide en 4 principales grupo al sistema CRDI, entre los cuales están los sensores que son los encargados de enviar señales de lo que está sucediendo en el motor, la ECU del motor recibe las señales de los sensores para evaluarlas, calcula el tiempo y cantidad de inyección de combustible, posteriormente envía señal a los actuadores. Además menciona la función de la EDU que es la de activar a los inyectores en altas velocidades.

Por otro lado está el autor (Bosch, 2005) quien menciona que: “El sistema Common Rail comprende los siguientes tres grupos principales”

- **Parte de baja presión:** Con los componentes de alimentación de combustible.
- **Parte de alta presión:** Comprende por la bomba de alta presión, las tuberías de combustible de alta presión, el conducto común y los inyectores.

- **Sistema de Regulación Electrónica Diésel (EDC):** Comprendido por los sensores, unidad de control y elementos de regulación (actores) del sistema (p.5).

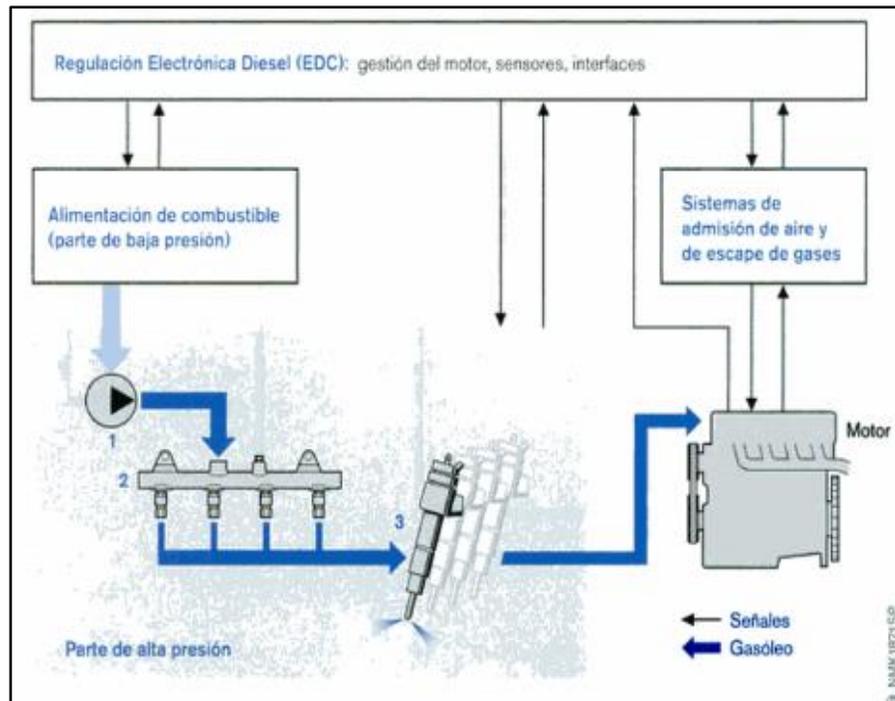


Figura 3. Sectores del sistema de inyección Common Rail

Fuente: (Bosch, 2005)

De las partes señaladas anteriormente menciona que los principales componentes del sistema CRDI son:

1. Tubería de retorno de combustible.
2. Tubería de combustibles de alta presión hacia el inyector.
3. Inyector.
4. Conducto común.
5. Sensor de presión del conducto común (FRP).

6. Tubería de combustible de alta presión hacia el conducto común.
7. Retorno de combustible y válvula reguladora de presión (IPR).
8. Bomba de alta presión (p.4).

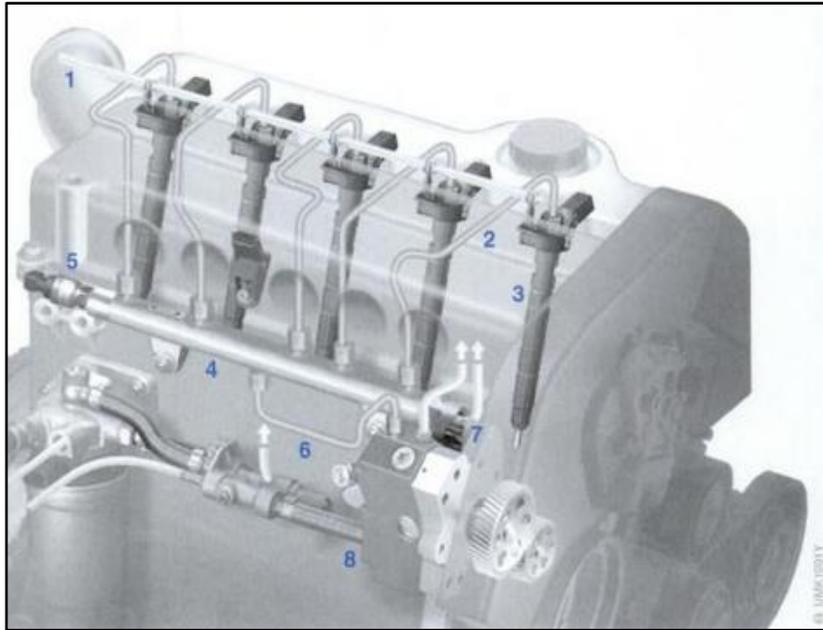


Figura 4. Partes del sistema Common Rail en un motor Diésel

Fuente: (Bosch, 2005)

(Bosch, 2005) menciona que al sistema común rail lo divide en tres grupos que son: el de baja presión, el de alta presión y Sistema de Regulación Electrónica Diésel (EDC). Dentro de los grupos anteriores se encuentran las partes más importantes que compone a cada uno, entre las que están: la tubería de retorno de combustible, tubería de combustibles de alta presión hacia el inyector, el inyector, conducto común, sensor de presión del conducto común (FRP), tubería de combustible de alta presión hacia el

conducto común, retorno de combustible, válvula reguladora de presión (IPR) y la bomba de alta presión.

2.1.3. Ventajas

Existen varias ventajas del sistema de inyección por acumulador común entre las que se encuentran:

- Reducción de gases contaminantes
- Extensas posibilidades de cambio en la configuración de la presión y los momentos de inyección. (Bosch, 2005).
- (Bosch, 2005) menciona que: “El sistema Common Rail contribuye a incrementar la potencia específica y a reducir el consumo de combustible, la emisión de ruidos y la expulsión de sustancias nocivas de los motores Diésel”.(p.5)
- (Denso, 2007) en su manual afirma que algunas de las ventajas son: “Disminuye dramáticamente la cantidad de humo negro que normalmente emite un motor diésel durante el arranque y la aceleración. Como resultado, el escape las emisiones de gases son más limpias y reducidas, y se logra una mayor potencia de salida”. (p.4).
- Gracias al estricto control de la inyección, que genera la combustión, se disminuye la salida de gases contaminantes y además se menora el consumo de combustible, incrementa la potencia, reduce las vibraciones y sonidos del motor (Castillejo, 2014).
- (Denso, 2007) nos menciona en su manual que como ventajas están:
 - Reducir los gases de escape (NOx, PM, monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC) y humo).

- Mejorar la economía de combustible.
 - Reduce el ruido.
 - Mejorar la potencia de salida y el rendimiento de conducción.(p.1)
 - Algunas de las demandas del sistema CRDI es mayor presión de inyección, tasa de inyección optimizada, mayor precisión en el tiempo de inyección Control, y mayor precisión de control de cantidad de inyección.(p.2)
- Mejorar la potencia y torque del vehículo
 - Altas presiones de inyección a bajas revoluciones del motor permite conseguir una baja generación de humos.
 - Disminución de ruido y contaminación gracias a la preinyección, como también un mejor arranque en frío

(Cabascango, Dávila, Mena & Erazo, 2014) mencionan que las ventajas del CRDI son:

- Optimización del consumo de combustible, tanto en bajo como alto régimen.
- El motor genera más potencia y torque, así una mejor aceleración, velocidad final y fuerza en todo momento. (p.2)

De acuerdo a lo mencionado anteriormente entre las ventajas principales del sistema CRDI se encuentra: tener el control sobre la presión y momentos de inyección, con lo que se obtiene una mejor pulverización de combustible y se reduce el consumo del mismo, existe disminución en los gases contaminantes, menor ruido de motor, mayor eficiencia, torque y potencia.

2.1.4. Aplicaciones.

En la actualidad el sistema CRDI es el más utilizado por los vehículos diésel de última generación, existen varias aplicaciones en el campo Automotriz.

(Bosch, 2005) afirma que el sistema de inyección por acumulador common rail se ocupa en los siguientes vehículos:

- Turismos, desde los motores muy económicos de tres cilindros, con una cilindrada de 0,8 litros, 30 kW (41 CV) de potencia y 100 Nm de par motor y un consumo de combustible de 3,5 l/100 km, hasta los motores de ocho cilindros de los vehículos de la gama superior, con aproximadamente 4 litros de cilindrada, 180 kW (245 CV) de potencia y 560 Nm de par motor.
- Vehículos industriales ligeros, con potencias de hasta 30 kW/cilindro.
- Vehículos industriales pesados, inclusive locomotoras y navíos con potencias de hasta aproximada 200 kW/cilindro. (p.4)

2.1.5. Fallas más comunes.

Algunas de las principales fallas del sistema de alimentación de combustible en un motor diésel CRDI se detallan en el siguiente cuadro.

Tabla 4

Cuadro general de fallas del sistema de alimentación de combustible.

Nº	FALLAS	VARIABLES	CAUSAS
1	Humo negro	Inyector	Desconexión eléctrica del inyector
2	Mayor opacidad		Resistencia interna del bobinado fuera de rango
3	Ralentí inestable		Caudal de retorno fuera de rango
4	Ruido del motor fuera del límite		Tobera de inyección desgastada
5	El motor demora en arrancar	Filtro de combustible	Filtro sucio
6	Humo blanco		Presencia de agua en el filtro
7	La luz testigo de presencia de agua se enciende		
8	El motor no arranca	Bomba eléctrica de combustible	Falta de corriente de alimentación
			Relé de la bomba averiado
			Fusible quemado
		Sensor de presión del riel	Bomba eléctrica en corto circuito
			Baja presión de combustible en el riel
			Falta de señal de alimentación
9	El motor se apaga	Regulador de presión del riel	Sensor averiado
			Voltaje muy bajo de lo normal
			Cable del conector del sensor no deriva a masa
			Desconexión eléctrica del regulador
10	Mayor caudal de inyección	Sensor de temperatura del combustible	Resistencia interna del regulador fuera de rango
11	Aumento de emisiones		Desconexión del sensor de combustible
			Resistencia del sensor fuera de rango

Fuente: (Barros & Pulla, 2016)

El desgaste de los elementos que comprende el sistema CRDI, puede producir un aumento de emisiones contaminantes, pérdida en el rendimiento y potencia del motor. Esto se origina por: mantenimientos inadecuados, calidad del diésel deficiente, no cambiar los filtros de combustible periódicamente, altas revoluciones del motor (Barros Fajardo & Omar, 2016)

Las fallas anteriormente mencionadas causan el aumento del consumo de combustible, como también de las emisiones contaminantes, afectando de esta manera el medio ambiente y a la economía del propietario del vehículo.

2.2. Sistemas de inyección Bosch

2.2.1. Funcionamiento

El sistema de inyección CRDI mediante la ECU del motor comanda las válvulas solenoides, las cuales permiten que suba la aguja dentro del inyector generando la pulverización del combustible dentro de la cámara de combustión (Allaica Tzetzta & Condor Robalino, 2014)

(Bosch, 2005)menciona que: “La separación de la generación de presión y de la inyección se efectúa con ayuda de un volumen de acumulación. El combustible sometido a presión se encuentra disponible para la inyección en el volumen de acumulación del Common Rail” (p.6).

La bomba de alta presión es accionada por el motor con la finalidad de generar la presión de inyección requerida, la misma que es independiente del número de revoluciones a las que se encuentre girando el motor, esta se acumula en el conducto común, donde es regulada por un sensor y una válvula (Bosch, 2005).

2.3. Componentes

2.3.1. Bujías de incandescencia

Es importante conocer sobre el uso y las funciones que cumplen las bujías de incandescencia en el motor diésel, se detallará algunos criterios planteados por diferentes autores.

Los calentadores o también conocidos como bujías de incandescencia para el autor (Beru, 2002) cumplen la siguiente función:

Cuanto más baja es la temperatura, tanto peor son las condiciones para un encendido rápido y una combustión completa y ecológica. Para que el arranque no sea demasiado largo o casi imposible con temperaturas bajas, se utilizan medios auxiliares para ayudar el arranque en frío. Estos compensan las adversas condiciones de arranque e inician el encendido a tiempo uniformemente, para una combustión estable. Un componente de ayuda para el arranque en frío es el calentador (p.3).

En los motores de inyección directa existe un calentamiento previo del aire que es aspirado, esto se lo realiza con las bujías de incandescencia de espiga, las cuales transforman la energía que reciben en calor, la mayor parte se concentra en el filamento de calefacción, con lo cual la temperatura aumenta drásticamente en su punta (Bosch R. , 1999).



Figura 5. Bujía de incandescencia

De acuerdo a lo planteado por los autores las bujías de incandescencia son un elemento que sirve para calentar el aire de admisión, especialmente en condiciones de temperaturas bajas, con lo cual se ayuda al arranque en frío del motor, proporcionando una combustión estable y reduciendo las emisiones contaminantes.

(Bosch R. , 1999) indica que las bujías de incandescencia de espiga en el tiempo se dividen en dos fases:

Fase de arranque: La bujía se tiene que calentar en el menor tiempo posible a la temperatura requerida para el arranque (aprox. 850 °C). Está situada en una zona de la cámara de combustión, en el cual se forma una mezcla inflamable. En las bujías modernas de incandescencia la temperatura requerida se alcanza aprox. A los 4 segundos.

Fase de incandescencia residual: Después del arranque la bujía continua activada para mejorar el aumento de revoluciones y reducir las emisiones de humo azul y los ruidos de la combustión durante el calentamiento. Estos tiempos duran en la marcha un máximo de 180 segundos. (p.538)

El autor (Beru, 2002) nos menciona que:

El calentamiento electrónicamente controlado comienza con el accionamiento del arranque en la llave de encendido y dura de 2 a 5 segundos, con unas temperaturas externas normales, hasta la disponibilidad para el arranque. El tiempo de calentamiento posterior dura hasta 3 minutos después del arranque del motor, para minimizar las emisiones de substancias nocivas y el ruido (p.7).

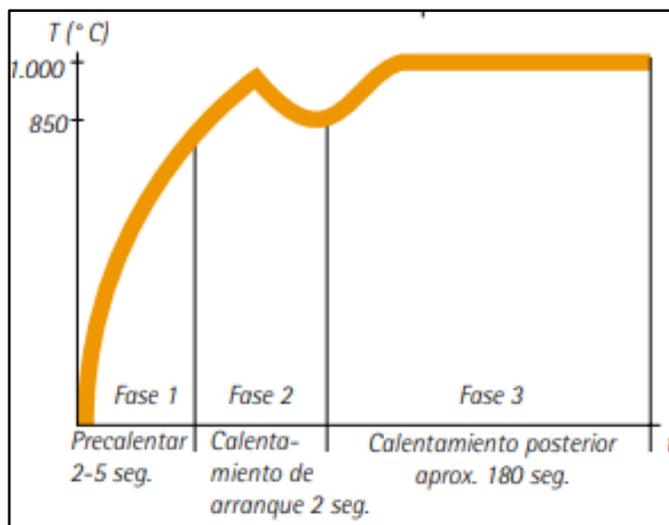


Figura 6. Fases de incandescencia en las bujías.

Fuente: (Beru, 2002)

Como detallan los autores existen dos fase de accionamiento de las bujías de incandescencia: la fase de arranque empieza al colocar la llave en el encendido del motor, esta fase dura aproximadamente 4 segundos, la segunda fase es la de incandescencia residual o calentamiento posterior, la cual sirve para reducir las emisiones contaminantes como también los ruidos del motor diésel, por eso son tan importantes para el encendido.

Las bujías de precalentamiento están compuestas por el cuerpo del calentador, la varilla, el espiral calentador y regulador, así como el bulón de conexión. La varilla incandescente se encuentra presionada a prueba de gas dentro de la carcasa. El calentador está aislado con una junta tórica o una pieza de plástico en el elemento de conexión. El calentador recibe la energía eléctrica de la batería. Por medio de un equipo electrónico se controla el tiempo de incandescencia (Beru, 2002).

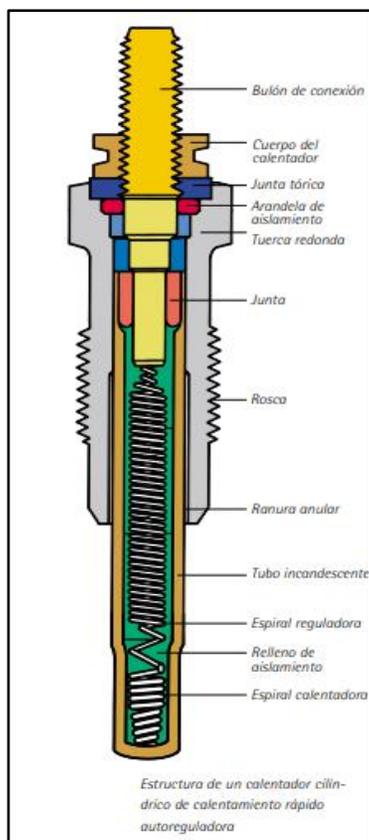


Figura 7. Estructura de una bujía de incandescencia.

Fuente: (Beru, 2002)

La unidad de control es la encargada de supervisar el tiempo de activación de las bujías de espiga incandescente y de su seguridad. Con el fin de impedir caídas de tensión, la vía de corriente hacia las bujías se conduce mediante pernos roscados (Bosch, 1999).

De acuerdo a lo citado anteriormente las bujías de incandescencia son un elemento que ayuda al arranque del motor en condiciones adversas, son comandadas por la unidad de control la cual se encarga de manejar el tiempo de incandescencia al encendido como también el post encendido del mismo.

2.3.2. Unidad de control electrónico

Según (Delphi, 2007) afirma que: “Es el corazón del sistema de control de la inyección. Asegura el funcionamiento del sistema de inyección, y puede también asegurar la gestión motor, incluso del vehículo” (p.59).

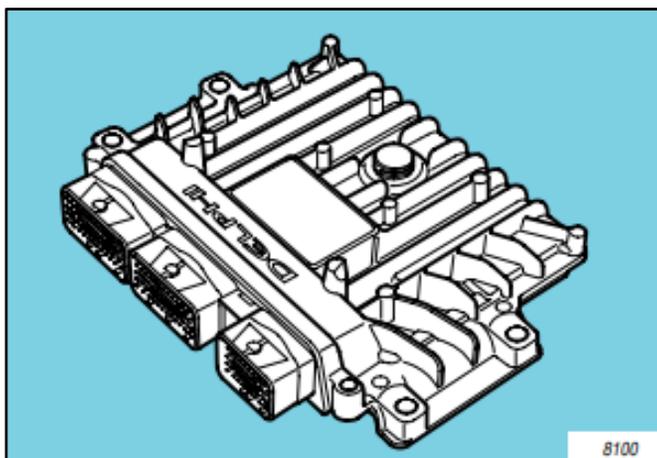


Figura 8. Unidad de control electrónico

Fuente: (Delphi, 2007)

El autor (Bosch, 2002) indica que:

Procesa la información de los sensores y transmisores de valores teóricos conforme a determinados procesos de cálculo matemático (algoritmos de control y regulación). Ella activa los elementos actuadores mediante señales de salida eléctricas. La unidad de control viene a ser además el interface para otros sistemas y para diagnóstico del vehículo (p.38).

(Denso, 2007) afirma que:

La ECU del motor comprueba constantemente el estado del motor a través de las señales de los sensores, calcula las cantidades de inyección de combustible, etc., según las condiciones, activa los actuadores y los controles para mantener el motor

en una posición de estado óptimo. Los inyectores son accionados por la EDU o el circuito de carga en la ECU del motor (p.60).

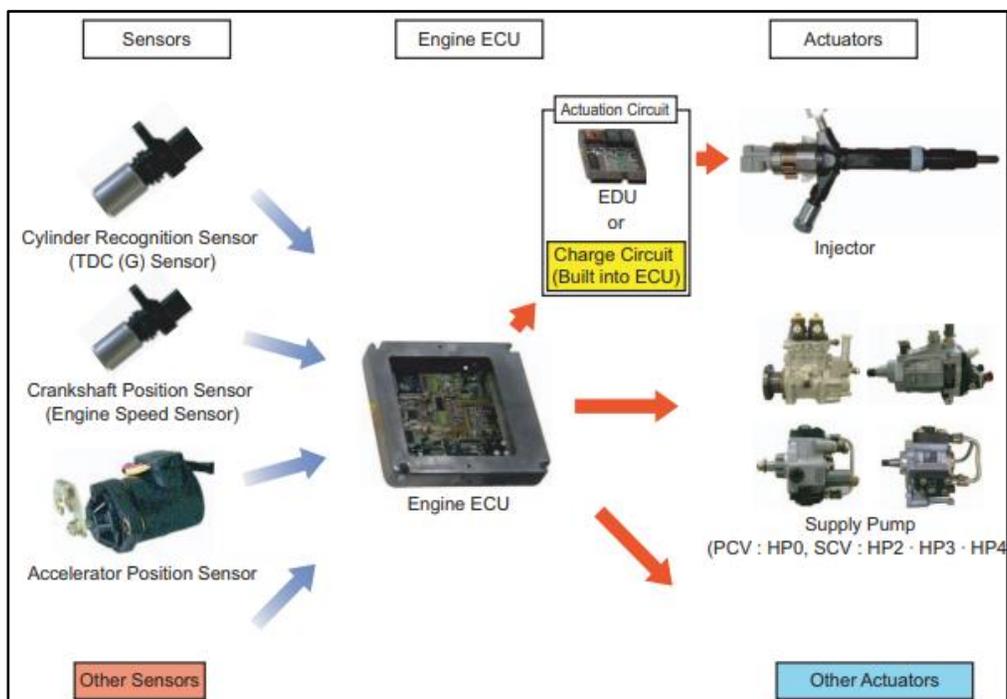


Figura 9. Esquema de señales que recibe y proporciona la ECU

Fuente: (Denso, 2007)

Según Delphi (2007) se la conoce también como calculador a la unidad de control electrónico:

Que controla la inyección (caudal, avance, inyección múltiple...) y la presión del raíl en función de las condiciones de funcionamiento del motor. El calculador asegura también el control de las funciones anexas tales como la EGR (Recirculación gas de salida), el precalentamiento, el aire acondicionado (p.7).

2.3.3. Sistema de baja presión

(Bosch, 2005) menciona que:

El sistema de alimentación de combustible cumple una función consistente en la acumulación y filtrado del combustible necesario, así como de aportar combustible a

una determinada presión de suministro al sistema de inyección en todas las condiciones de servicio. En algunas aplicaciones se efectúa adicionalmente el enfriamiento del retorno de combustible (p.18).

a. Depósito de combustible

Bosch (2005) afirma que el depósito de combustible debe cumplir ciertas características:

- El depósito de combustible se encarga de almacenar el combustible.
- Debe ser resistente a la oxidación y estanco frente a una presión de una magnitud doble a la de servicio, pero como mínimo de 0.3 bares de sobre presión.
- La sobrepresión generada debe eliminarse automáticamente mediante aberturas o válvulas de seguridad adecuadas.
- Al circular por curvas, en posición oblicua o en caso de choques no debe derramarse combustible por la boca de llenado ni por los dispositivos de compensación de presión.(pp.18-19)

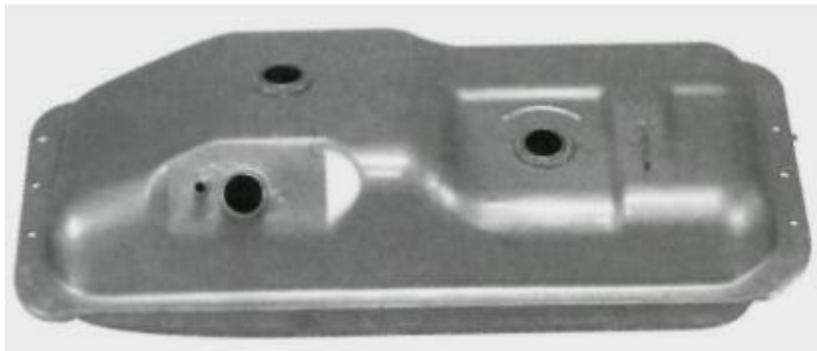


Figura 10. Depósito de combustible

Fuente: (Correa Gárate & Muñoz Vizhñay, 2016)

b. Bomba de baja presión

(Denso, 2007) menciona que: “La bomba de alimentación, que está integrada en la bomba de suministro, extrae combustible del tanque de combustible y lo alimenta a la cámara de la bomba a través del filtro de combustible” (p.14).

(Bosch, 2005) afirma que: “En los sistemas Common Rail para turismos se utilizan bombas eléctricas de combustible o bombas de ruedas dentadas para la alimentación del combustible a la bomba de alta presión” (p.10).

(Delphi, 2007) menciona que: “Un primer nivel de bombeo, llamado bomba de transferencia, aspira el combustible a partir del depósito del vehículo, a través del filtro, y lo envía hacia la bomba principal a una presión, llamada presión de transferencia (aproximadamente 6 bar)” (p.11).

(Delphi, 2007) menciona que: La tecnología empleada es la bomba de paletas, que se compone de los elementos siguientes:

- Un rotor arrastrado por el eje de la bomba AP. El enlace está asegurado por canales.
- Una excéntrica fijada en el cuerpo de la bomba AP. El posicionamiento de la excéntrica está asegurado por dos pasadores descentrados para evitar los errores de montajes.
- Una placa provista de dos agujeros alargados: El orificio de aspiración y el orificio de expulsión.
- Cuatro paletas repartidas a 90 grados. Cada paleta está impulsada contra la excéntrica mediante un muelle helicoidal. (p.11)

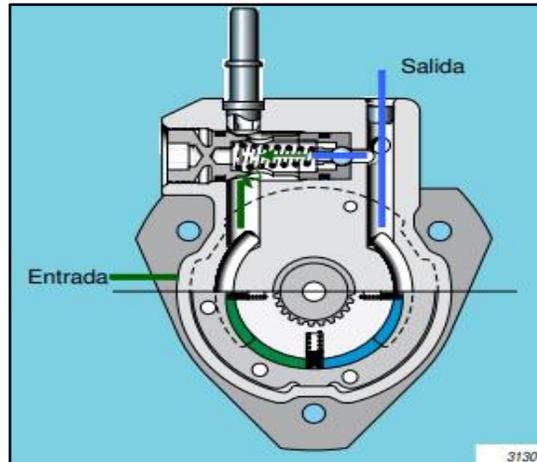


Figura 11. Bomba de paletas

Autor: (Delphi, 2007)

Denso (2007) menciona que:

El árbol de levas acciona el rotor de la bomba de alimentación y las paletas se deslizan a lo largo de la circunferencia interior del anillo excéntrico. Junto con la rotación del rotor, la bomba extrae combustible del tanque de combustible y lo descarga a la SCV y al mecanismo de bombeo (p.14).

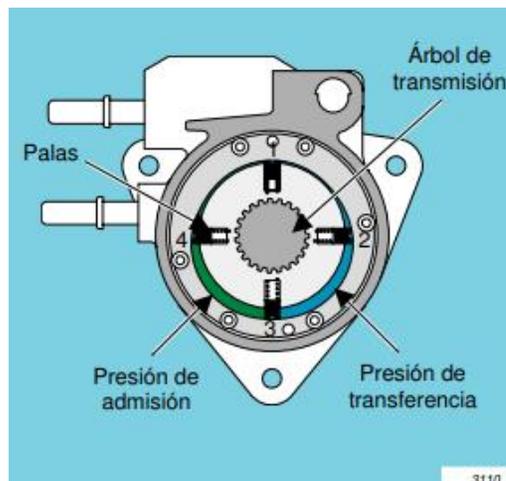


Figura 12. Partes de la bomba de paletas

Autor: (Delphi, 2007)

(Delphi, 2007) afirma que: “Una válvula de regulación permite mantener la presión de transferencia a un valor casi constante (aproximadamente 6 bar) en toda la banda de funcionamiento del motor reenviando una parte del carburante a la entrada de la bomba” (p.12)

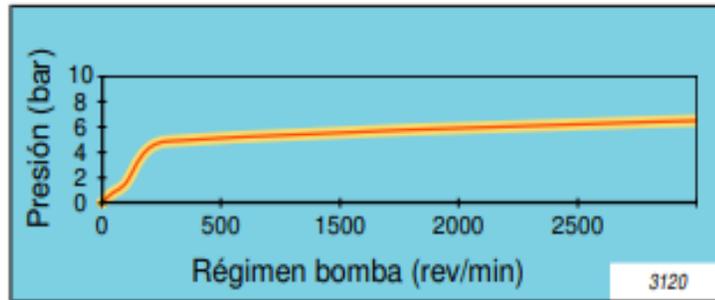


Figura 13. Presión de transferencia según las revoluciones de la bomba.

Fuente: (Delphi, 2007)

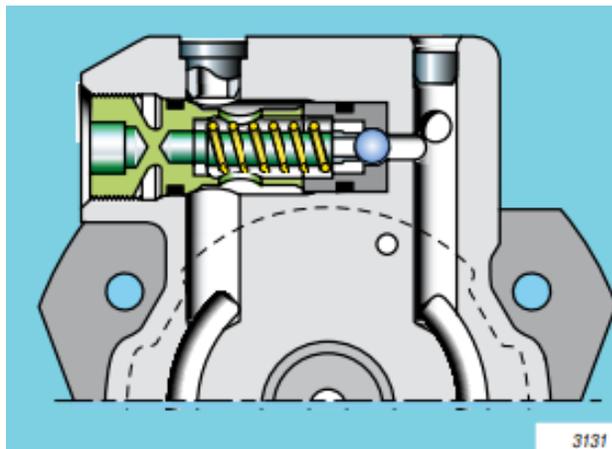


Figura 14. Regulador de presión de transferencia

Fuente: (Delphi, 2007)

- **Bomba de ruedas dentadas**

(Bosch, 2005) afirma que:

La bomba de ruedas dentadas va abridada a la bomba de alta presión, y es accionada solidariamente con el eje de accionamiento de esta. De esta forma, la bomba de ruedas dentadas inicia el suministro solo en el momento del arranque del motor. La potencia de suministro depende del número de revoluciones del motor y puede ser de hasta 400 l/h a una presión de hasta 7 bares (p.10).

En la figura 15 se puede detallar las siguientes partes: 1. Bomba de alta presión con bomba de ruedas dentadas de alimentación, 2. Filtro de combustible con separador de agua, 3. Depósito de combustible, 4. Filtro previo, 5. Conducto común, 6. Sensor de presión del conducto común, 7. Inyector con válvula electromagnética, 8. Válvula limitadora de presión.

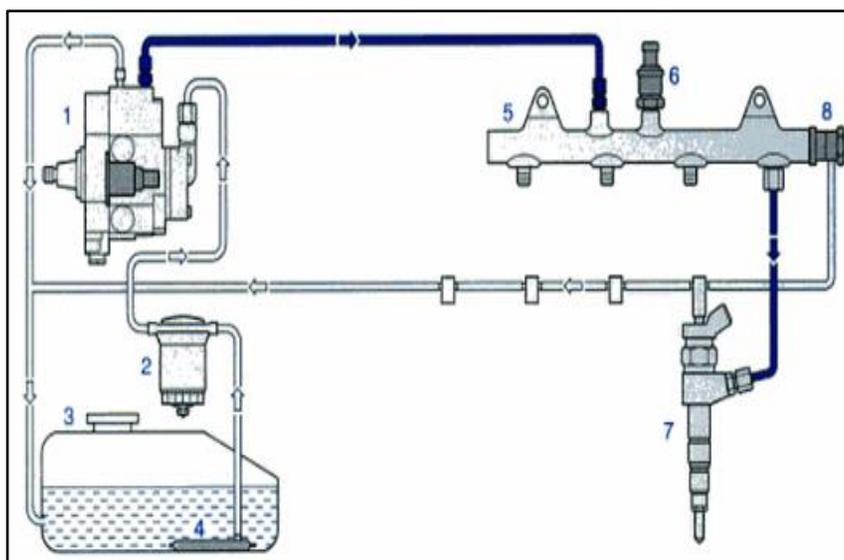


Figura 15. Esquema del sistema Common Rail con bomba de ruedas dentadas.
Fuente: Bosch (2005)

- **Bomba eléctrica de combustible**

La bomba eléctrica de combustible se encuentra ubicada dentro del depósito o en la tubería de baja presión, su función es succionar y enviar el combustible por medio de

un filtro para abastecer continuamente el volumen necesario a la bomba de alta presión (de 60 a 500 l/h, de 300 a 700 kPa o bien de 3 a 7 bares). La electrobomba de combustible funciona de manera continua desde que empieza el arranque del motor y de manera independiente de las revoluciones del mismo, cuando existe un excedente de combustible este retorna al depósito (Bosch, 2005).

En la figura 16 se puede observar las siguiente partes: 1.bomba de alta presión, 2. Filtro de combustible con separador de agua, 3. Depósito de combustible, 4. Filtro previo, 5. Conducto común, 6. Sensor de presión del conducto común, 7. Inyector piezoeléctrico, 8. Válvula reguladora de presión, 9. Electrobomba de combustibles.

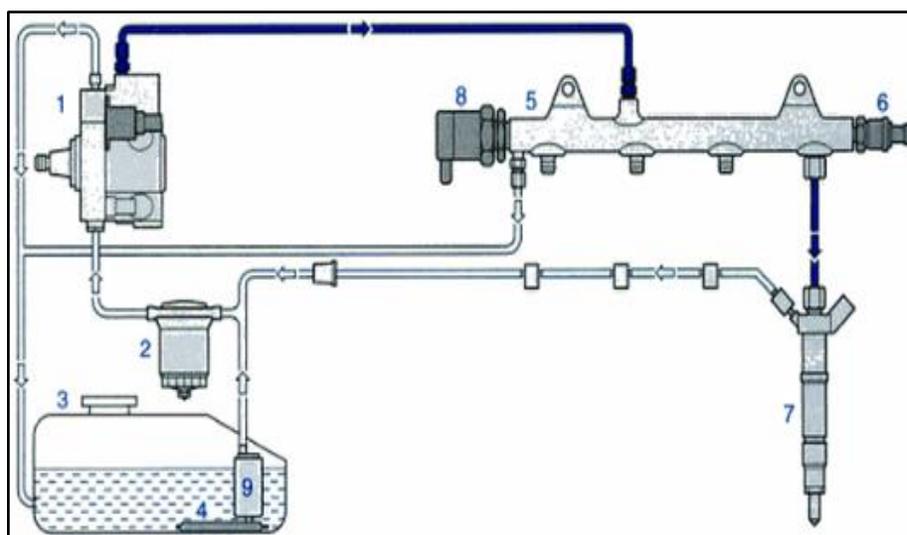


Figura 16. Esquema del sistema Common Rail con bomba eléctrica de combustible.

Fuente: (Bosch, 2005)

La electrobomba de combustible posee ventajas significativas en comparación con las bombas de alimentación accionadas mecánicamente: mejor arranque en frío, tiene una purga de aire automática con lo que es posible el arranque del motor después de haber vaciado el depósito en su totalidad, puede impedir el abastecimiento de

combustible cuando el vehículo se encuentra energizado pero con el motor detenido, esto lo realiza por medio de un circuito de seguridad (Bosch, 2005).

Existen dos tipos de bombas eléctricas, una se encuentra montada en la línea de combustible entre el depósito y el filtro, va fijada en la plataforma portante del vehículo, la otra bomba está integrada en el depósito de combustible (ver figura XXX), está montada dentro del mismo, en un soporte especial donde integra un sensor del nivel de llenado, empalmes eléctricos e hidráulicos hacia el exterior y una cámara de turbulencia para evitar sacudidas del combustible dentro del depósito (Bosch, 2005).



Figura 17. Bomba de montaje en el depósito de combustible

c. Tuberías de baja presión

Las tuberías de baja presión son el medio por donde circula o se transporta en combustible desde la bomba de baja hasta la bomba de alta presión.

En la parte de baja presión se utilizan tubos metálicos y tuberías flexibles de difícil combustión, todas las piezas que conducen el combustible deben tener protección sobre las temperaturas elevadas para evitar un mal funcionamiento, como también estar instaladas de manera que puedan evitarse desperfectos mecánicos, acumulación de combustible, evaporación o fugas. No haber afectaciones en caso de deformación del vehículo (Bosch, 2005).



Figura 18. Cañería de combustible de la línea de aja presión.

d. Filtro de combustible

(Bosch, 2005) quien en su manual nos menciona que: Los sistemas de inyección fabricados con elevada precisión para los motores Diésel reaccionan de forma muy sensible a las menores impurezas contenidas en el combustible. El filtro de combustible debe cumplir las siguientes tareas:

- Reducción de las impurezas en forma de partículas para evitar una corrosión causada por partículas.
- Separación del agua libre y emulsionada para evitar desperfectos por oxidación (p.19).

(Delphi, 2007) menciona que el filtro tiene diferentes funciones: “El filtro tiene como función proteger el sistema Common Rail:

- Separando y almacenando las impurezas del gasóleo para evitar cualquier contaminación del sistema Common Rail.
- Separando y almacenando el agua naturalmente presente en el gasóleo.
- Evacuando el aire presente en el circuito de carburante.
- Para adaptarse a todas las configuraciones, el filtro debe poder funcionar tanto en presión como en depresión.(p.53)

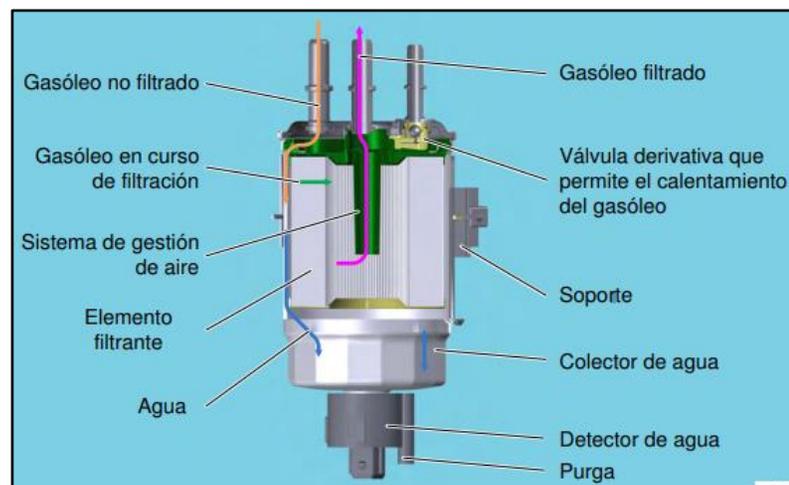


Figura 19. Filtro de combustible y sus partes

Fuente: (Delphi, 2007)

El agua es filtrada por el polímero presente en el elemento filtrante. Esta no puede cruzarlo gracias a las propiedades repulsivas y a los dimensionamientos de las esporas del mismo.

2.3.4. Sistema de alta presión

El autor Castillejo (2014) nos menciona que:

La etapa de alta presión se divide en tres sectores: generación de presión, acumulación de presión y dosificación del combustible. La generación de presión la lleva a cabo la bomba de alta presión. La acumulación de la presión se efectúa en el "rail" o acumulador, en el cual está montado el sensor de presión y la válvula reguladora o limitadora de presión. Los inyectores se encargan de la dosificación exacta del combustible, asegurando el momento y el volumen de inyección correcto (p.89).

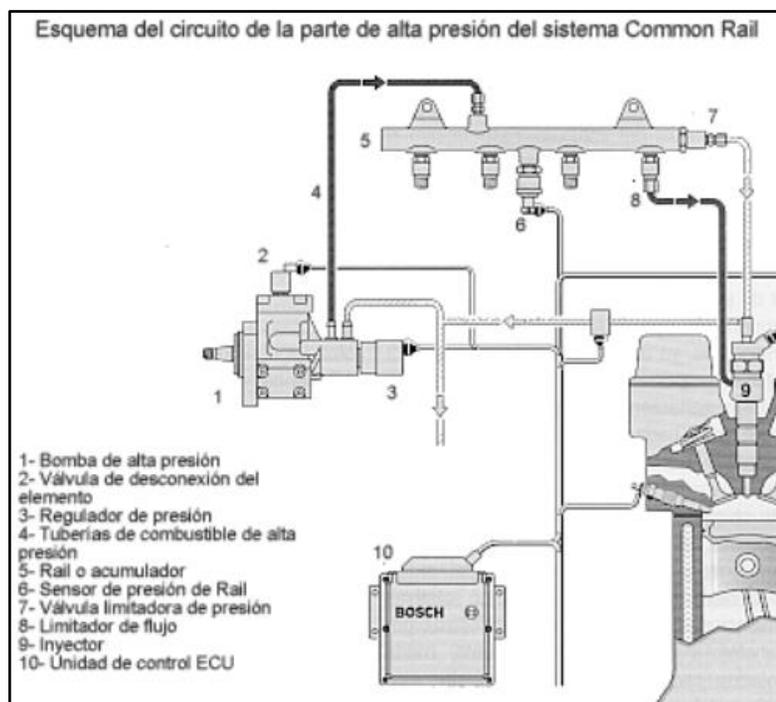


Figura 20. Esquema del circuito de la parte de alta presión

Fuente: (Castillejo, 2014)

a. Bomba de alta presión

La bomba de alta presión presuriza el combustible hasta 1350bar. Luego este combustible pasa a través de una línea de alta presión hacia el acumulador tubular.

(Delphi, 2007) afirma que: “Para los motores que necesitan un caudal importante, la bomba está equipada con tres émbolos desfasados angularmente 120 grados” (p.20).

La bomba de alta presión se encuentra ubicada entre la línea de baja y alta presión, su función es de abastecer al riel con la cantidad y presión adecuada para el funcionamiento del motor, debe mantener una reserva de combustible para un arranque rápido del motor permitiendo elevar la presión en el riel (Castillejo, 2014).

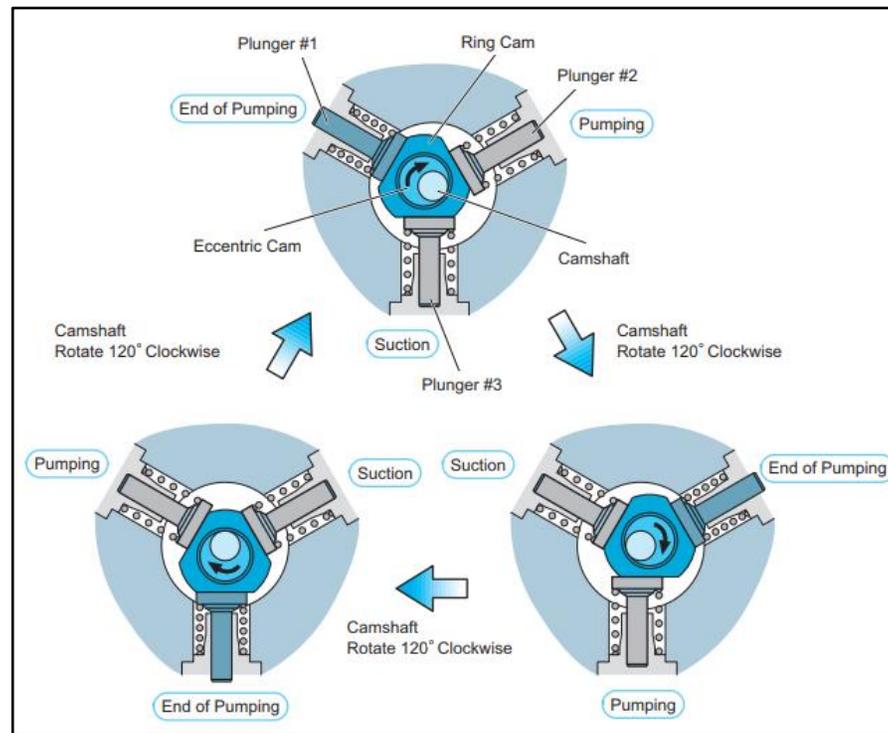


Figura 21. Esquema de funcionamiento de bomba de alta presión

Fuente: (Denso, 2007)

Los émbolos situados en el interior de la bomba son los encargados de comprimir el combustible, esto lo realizan con tres carreras de alimentación por cada giro, teniendo una carga uniforme. El accionamiento de la bomba requiere de lubricación, la cual es realizada por el mismo combustible (Castillejo, 2014).

En la figura 22 se detallan las siguientes partes: 1. Árbol de accionamiento, 2. Leva excéntrica, 3. Embolo, 4. Cámara de compresión, 5. Válvula de aspiración, 6. Válvula de desconexión del elemento, 7. Válvula de salida, 8. Pieza de estanqueidad, 9. Válvula reguladora de alta presión, 10. Válvula de bola, 11. Válvula de seguridad con taladro estrangulador, 12. Canal de baja presión hacia el elemento bomba.

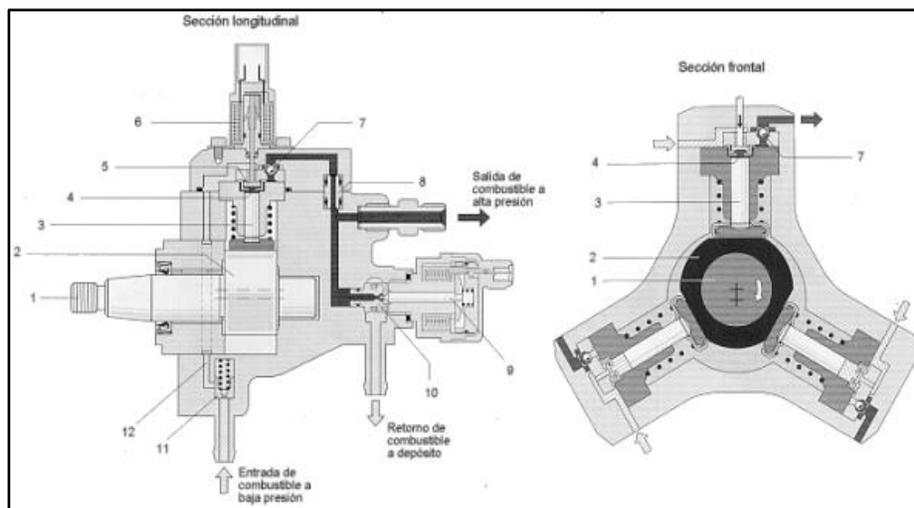


Figura 22. Esquema de una bomba de alta presión del sistema Common Rail

Fuente: (Castillejo, 2014)

b. Conducto común o Rail

La función del riel es almacenar el combustible presurizado que ha sido suministrado por la bomba de alta presión y distribuir el mismo a cada inyector. La

forma del riel depende de cada modelo y las partes o componentes varían en consecuencia, posee un sensor de presión y una válvula que permite el retorno del combustible al depósito cuando existe demasiada presión dentro del mismo (Denso, 2007).

El conducto común tiene la función de almacenar el combustible enviado en alta presión por la bomba, el volumen que se acumula debe amortiguar las oscilaciones que se producen por el abastecimiento de la misma y de los procesos de pulverización realizado por los inyectores. Para mantener la presión necesaria dentro del acumulador, este tiene un sensor que se encarga de enviar señales a la ECU para que tome decisiones y envíe órdenes a la válvula reguladora de presión de abrirse o cerrarse (Bosch, 2005).

Delphi (2007) menciona que: “El raíl es un acumulador de presión, situado después de la bomba de alta presión: constituye una reserva de gasóleo a alta presión para los inyectores. El conjunto raíl está constituido por:

- El cuerpo
- El sensor de presión del raíl.
- Adaptadores: 1 entrada bomba y X salidas inyectores
- Un HPV opcional (p.45).

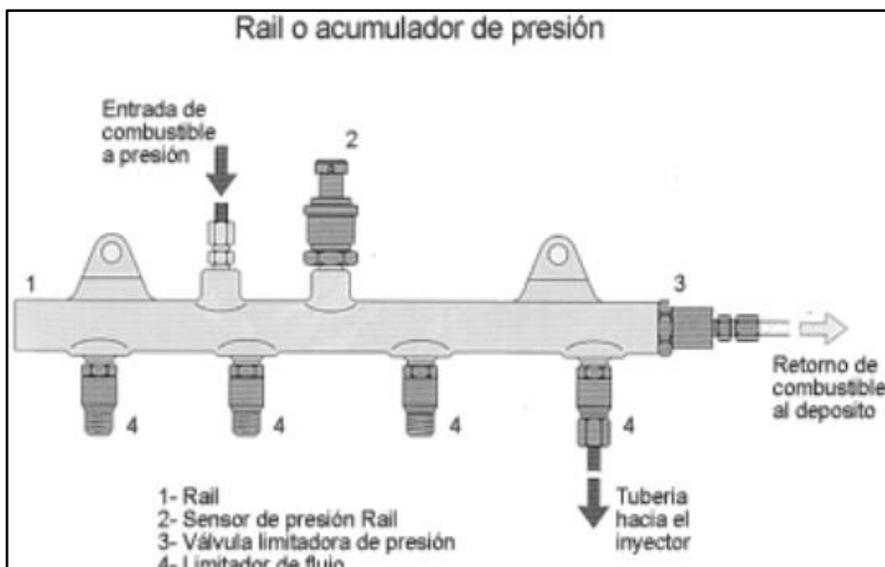


Figura 23. Acumulador de presión

Fuente: (Castillejo, 2014).

c. Válvula reguladora de presión del riel (IPR)

Según Bosch (como se citó en Moran y Passo, 2016) mencionan que:

La válvula esta ensamblada en el acumulador de presión, el cual controla el paso de combustible trabaja sobre el retorno permitiendo que la presión se regule por drenaje del combustible hacia la cañería de retorno. La IPR por lo general es normal abierta, quiere decir que sin energía eléctrica o sin corriente el combustible retorna al tanque (p.30).

El actuador HPV llamado así por High Pressure Valve se encuentra situado en el riel, en posición normalmente cerrado, cuando es energizado se abre y con esto deja pasar combustible al retorno. Este actuador puede impedir el funcionamiento del motor como mecanismo de seguridad si así lo cree conveniente la ECU (Delphi, 2007).

La válvula de descarga controla la presión del combustible en el riel. Cuando el combustible que se encuentra adentro excede la presión determinada o cuando la ECU del motor determina que la presión de combustible sobrepasa el valor predeterminado, la bobina del solenoide de la válvula se energiza. Esto libera el paso en la válvula de descarga, permitiendo que el combustible regrese al tanque con la finalidad de reducir la presión hacia valores establecidos o requeridos en riel (Denso, 2007).

Los autores (Allaica Tzetzta & Condor Robalino, 2014) menciona que:

Para mantener una presión máxima de trabajo, la misma que está regulada entre los 1.350 hasta los 1.400 bar de presión, se requiere del control de la computadora sobre la válvula reguladora de presión. Esta válvula solenoide es controlada por la computadora a través de pulsos de corriente, permitiendo que abra un paso de la presión hacia el retorno, reduciendo así la presión del riel y manteniendo al mismo tiempo la presión de trabajo (p.26).

(Castillejo Calle, 2014; Kia, 2005) nos menciona que la válvula reguladora de presión tiene la misión de ajustar y mantener la presión en el raíl, en función del estado de carga del motor:

- En caso de una presión demasiado alta, la válvula reguladora de la presión abre de forma que una parte del combustible retorna al depósito.
- En el caso de una presión demasiado baja, la válvula cierra para que se aumente la presión el riel. (p.95)
- **Válvula reguladora de presión no activada**

Bosch (2005) menciona que:

La alta presión existente en el conducto común o en la salida de la bomba de alta presión es superior a la afluencia de alta presión de la válvula reguladora de presión. Debido a que el electroimán no aplica ninguna fuerza estando libre de corriente, la fuerza de alta presión supera a la fuerza elástica, de forma que la válvula se abre y permanece más o menos abierta en función del caudal de alimentación. El muelle está construido de forma que se ajuste una presión de aproximadamente 100 bar (p.48).

- **Válvula reguladora de presión activada**

Si es necesario elevar la presión en el circuito, se debe generar una fuerza magnética, la cual ayudará a la fuerza elástica, para la activación de la válvula que procederá a cerrarse hasta que ambas fuerzas quedan compensadas con la fuerza de presión generada en el riel. Luego la válvula mantiene la presión constante quedando en una posición abierta. La fuerza magnética que posee el electroimán es proporcional a la corriente con que se activa, la cual es modulada con una duración de impulsos (Bosch, 2005).

En la figura 24 se detallan las siguientes partes de la válvula IPR: 1. Conexión eléctrica, 2. Muelle de la válvula, 3. Inducido, 4. Carcasa de la válvula, 5. Bobina electromagnética, 6. Bola de la válvula, 7. Anillo de apoyo, 8. Junta, 9. Filtro, 10. Afluencia de alta presión, 11. Cuerpo de la válvula, 12. Salida al circuito de baja presión.

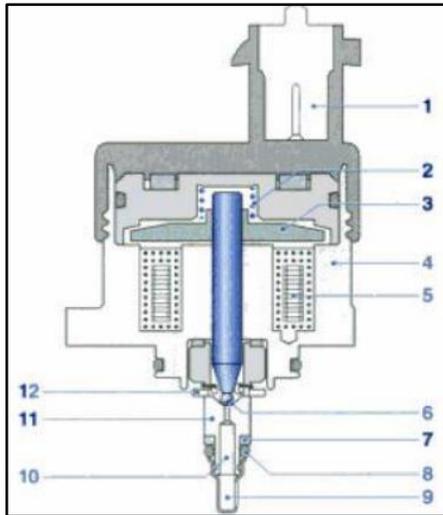


Figura 24. Válvula reguladora de presión

Fuente: (Bosch, 2005)

d. Inyector

Los inyectores son componente principales en el sistema CRDI, se encuentran conectados al riel por medio de tuberías que tienen corta longitud y contienen alta presión. Están equipados con una válvula electromagnética de conmutación rápida, mediante la cual se abre y se cierra el inyector. De esta manera se controla por separado el proceso de inyección en cada cilindro (Bosch, 2005).

(Correa Gárate & Muñoz Vizhñay, 2016) afirma que: “Los inyectores son los elementos que reciben el combustible acumulado en el riel y su misión es atomizar una pequeña cantidad en la cámara de combustión de los motores diésel” (p.15).

(Denso, 2007) menciona que:

“El inyector inyecta el combustible antes presurizado en el riel, en la cámara de combustión del motor en el momento óptimo de inyección, cantidad de inyección, tasa de inyección y patrón de inyección, de acuerdo con las señales de la ECU. La

inyección se controla mediante una TWV (válvula de dos vías) y un orificio. La TWV controla la presión en la cámara de control, para controlar el principio y el final de la inyección. El orificio controla la velocidad de inyección moderando el régimen en el cual se abre la tobera. El pistón de mando abre y cierra la válvula transmitiendo la presión de la cámara de control a la aguja de la tobera. Cuando la válvula de la aguja de la tobera se abre, la tobera pulveriza el combustible y lo inyecta (p.50).

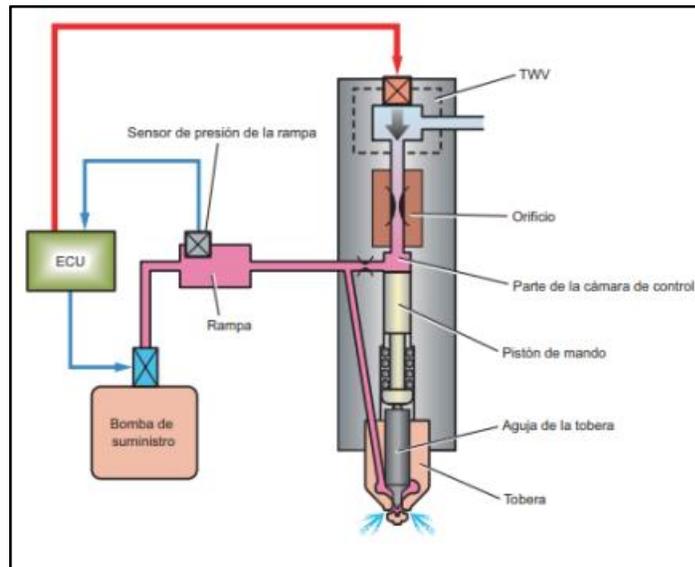


Figura 25. Partes del inyector

Fuente: (Denso, 2007)

Según Bosch (como se citó en Moran & Passo, 2016) piensan que: “Los inyectores pulverizan el combustible directamente en la cámara de combustión del motor. La unidad de control del motor controla la válvula de mando integrada en el inyector, encargada de la apertura y el cierre de la aguja del inyector”. (p.22)

Algunas de las funciones del inyector tienen que responder a normas de descontaminación según (Delphi, 2007) refiere que debe:

- Poder permitir inyecciones múltiples.(hasta 5 inyecciones por ciclo)
- Realizar las inyecciones a presiones cada vez más elevadas (1800bar)

- Tener inyecciones sucesivas
- Poder distribuir de manera homogénea la cantidad de combustible inyectado.
- Inyectar cantidades de combustible cada vez más pequeñas (0,5mg/cp) (p.31).

Estados de servicio

- **Inyector cerrado**

La electroválvula se encuentra desactivada, de esta manera el estrangulamiento de salida está cerrada, con esto la presión del combustible es igual tanto en la cámara de control como en el volumen de la cámara de la tobera, por lo cual la aguja del inyector permanece ajustada sobre el asiento de la tobera, presionado por el muelle del inyector (Castillejo, 2014).

- **Apertura del inyector**

La fuerza del electroimán activado es superior a la del muelle de la válvula. El inducido levanta la bola de la válvula de su asiento y abre el estrangulador de salida. En un corto periodo de tiempo disminuye la corriente de atracción a una corriente de mantenimiento con menor intensidad en el electroimán. Cuando se encuentra abierto el estrangulador de salida el combustible retorna al depósito. (Castillejo, 2014).

- **Inyector totalmente abierto**

El émbolo de mando alcanza su tope superior y permanece retenido mediante un volumen de combustible, generando un efecto amortiguador. Este volumen se produce por el flujo de combustible que se establece entre el estrangulador de entrada y el 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, con una presión determinada, es proporcional al tiempo que pasa conectada la válvula electromagnética y es independiente al número de revoluciones en las que se encuentra el motor o la bomba (Castillejo, 2014)

- **Cierre del inyector**

Para generar el cierre del inyector el muelle realiza presión hacia abajo en el inducido y la bola de la válvula cierra el estrangulador de salida, con lo cual la cámara de control proporciona una presión equivalente a la existente en el acumulador, a través del estrangulador de entrada. La fuerza de volumen existente, es superada por la fuerza en la cámara de control de válvula y la fuerza del muelle, por lo que la válvula se cierra sobre su asiento y finaliza la inyección. La activación de la aguja se la realiza con ayuda de asistencia hidráulica (Bosch, 2005).

En la figura 26 se detallan las siguientes partes en el inyector: 1. Retorno de combustible, 2. Bobina electromagnética, 3. Muelle de sobre carrera, 4. Inducido magnético, 5. Bola de válvula, 6. Cámara de control de la válvula, 7. Muelle del inyector, 8. Resalte de presión de la aguja del inyector, 9. Volumen de la cámara, 10. Orificio de inyección, 11. Muelle de válvula electromagnética, 12. Estrangulador de salida, 13. Empalme de alta presión, 14. Estrangulador de alimentación, 15. Embolo de la válvula, 16. Aguja del inyector. a. Estado de reposo, b. Inyector abierto, c. Inyector cerrado.

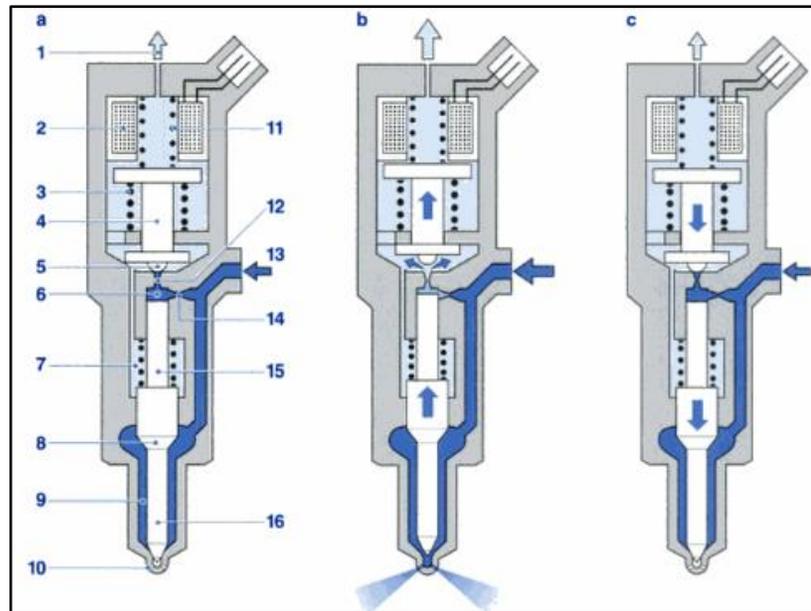


Figura 26. Esquema de funcionamiento del inyector

Fuente: (Bosch, 2005)

Bosch (como se citó en Cabezas & Freire, 2018) piensa que el proceso de activación de la válvula electromagnética del inyector se divide en cinco fases en las cuales se determinará los estados de reposo e inyección.

A continuación una explicación, observar figura 27.

- Fase de apertura (a)
- Fase de corriente inicial de arranque (b)
- Transición a la fase de corriente de mantenimiento (c)
- Fase de corriente de mantenimiento (d)
- Desconexión (e) (p.23)

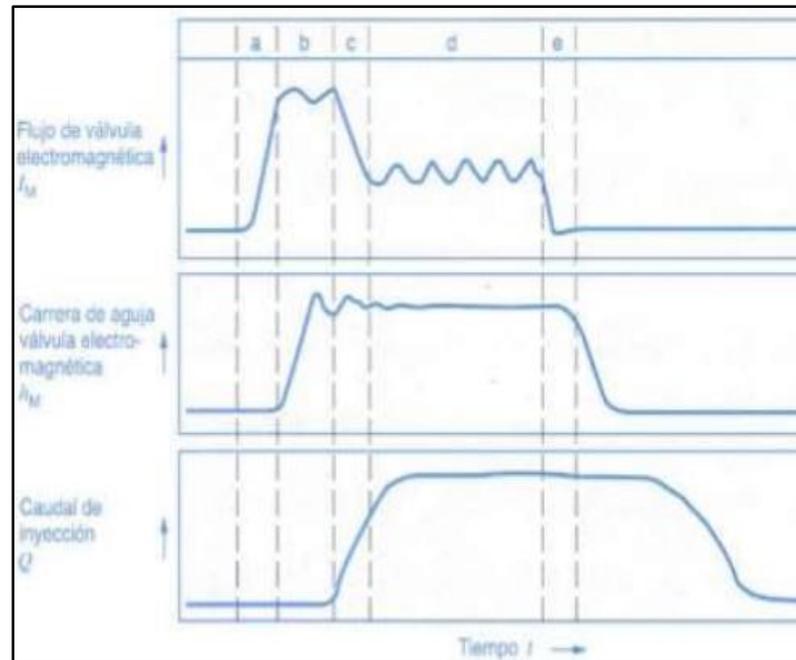


Figura 27. Proceso de activación de la válvula electromagnética de alta presión para una inyección

Fuente: (Cabezas & Freire, 2018)

Inyección

- **Pre inyección**

Es una acción previa a la inyección principal, en la cual se inyecta una pequeña cantidad de combustible en la cámara de combustión, con esto se provoca un incremento en la presión y temperatura dentro de la misma. Con lo mencionado anteriormente se obtiene bajas emisiones de gases contaminantes y menor sonoridad de la combustión. Si el motor se encuentra frío, a bajas revoluciones se efectúan dos pre-inyecciones, pero cuando el motor alcanza regímenes superiores la pre-inyección se omite (Correa, 2016).

- **Inyección principal**

La inyección principal se realiza después de la pre-inyección, en este proceso se realiza el aporte de energía para ejecutar el ciclo de trabajo del motor y la magnitud de la presión de inyección es casi constante durante todo el proceso (Correa, 2016).

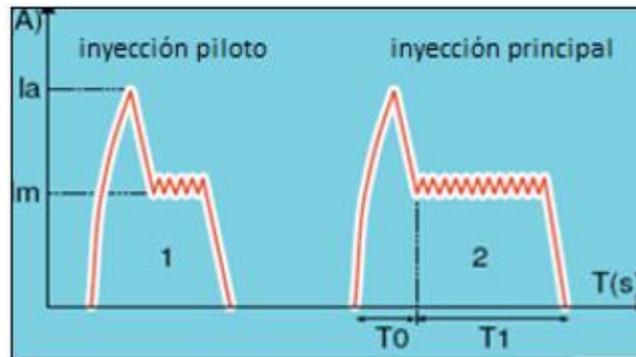


Figura 28. Impulso de inyección

Fuente: Delphi (2007)

- **Post inyección**

A diferencia de la pre-inyección y la inyección principal, en esta el diésel no se combustiona, por el calor generado en los gases excedentes de combustible, este se evapora. La post inyección es necesaria para la combustión de partículas de hollín dentro del filtro de partículas, se lo realiza aumentando la temperatura de los gases de escape para generar una auto ignición de las mismas, además puede actuar como una inyección previa muy avanzada (Correa, 2016).

Inyector piezoeléctrico

El inyector piezoeléctrico funciona más rápido que las electroválvulas anteriormente empleadas, pero se necesita un diseño adaptado para poder aprovechar netamente las ventajas de este sistema, una característica constructiva es la eliminación de las fuerzas mecánicas en la aguja del inyector, con lo que se reducen las masas móviles y el rozamiento, mejorándose además la estabilidad. Existe una reacción inmediata de la aguja al momento de accionar el actuador, con lo que se obtiene una mayor rapidez en la inyección, tiene distancias más cortas entre los procesos de inyección, se maneja con mayor precisión la cantidad y dosificación del combustible (Castillejo, 2014)

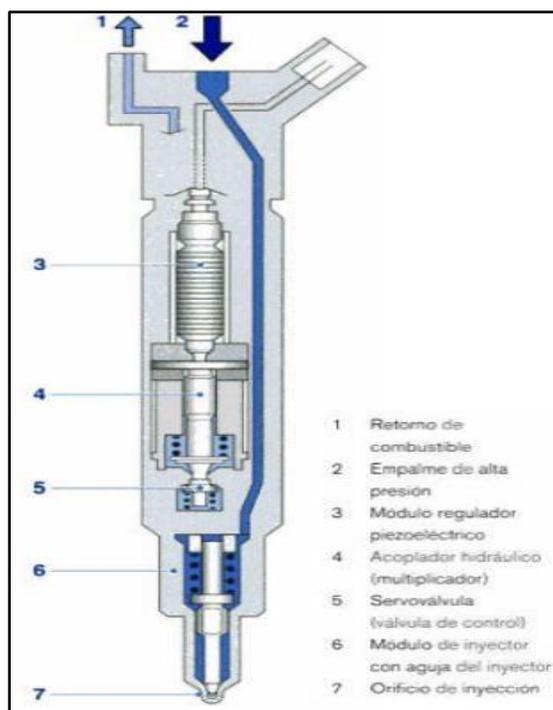


Figura 29. Estructura del inyector piezoeléctrico

Fuente: (Castillejo, 2014)

(Denso, 2007) afirma que: “La inyección múltiple significa que, con el propósito de reducir las emisiones de gases de escape y el ruido, la inyección principal se realiza con una a cinco inyecciones de combustible sin cambiar la cantidad de inyección” (p.53).

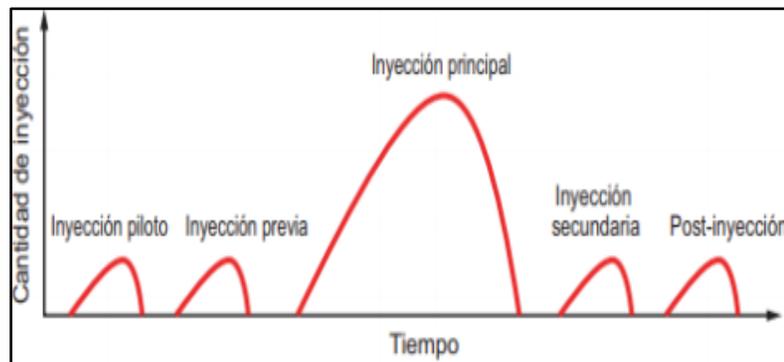


Figura 30. Muestra de cinco inyecciones

Fuente: (Denso, 2007)

e. Tuberías de alta presión

Las tuberías de alta presión son muy importantes, se ubican desde la bomba hasta el riel, como también desde el riel a cada uno de los inyectores, deben soportar las oscilaciones de presión que se producen durante las pausas de inyección como también la presión máxima producida en el sistema (Correa, 2016).

Son elaboradas en acero de alta dureza resistentes a la cavitación y desprendimiento de partículas. En cuanto a la longitud y forma que deben tener las tuberías, existen diferentes distancias desde el riel hacia los inyectores las cuales son compensadas mediante curvaturas pronunciadas en el trayecto de las tuberías de inyección. La longitud de las tuberías deben ser lo más cortas posibles.



Figura 31. Tuberías de alta presión

CAPÍTULO III

3. IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DEL MOTOR KIA 2.0L TIPO D4EA

3.1. Construcción del banco de pruebas

El banco de pruebas fue elaborado con un motor Kia 2.0L tipo D4EA, tanque de combustible, sistema de gases de escape, tablero de instrumentos, y tablero para poder realizar mediciones de voltaje, como también curvas de funcionamiento de los diferentes componentes del sistema CRDI, además permite conocer los elementos por los cuales está compuesto el sistema.

3.1.1. Construcción de la estructura

Se tomó medidas del motor Kia 2.0L D4EA para proceder a realizar los cortes respectivos de los tubos mediante esmeril con disco de corte.

Se unió los tubos por medio de suelda de arco eléctrico, teniendo en cuenta el espacio que ocuparía el motor, tanque de combustible, batería y demás componentes.

Las bases del motor fueron montadas por medio de pernos, como también unidas con soldadura de arco eléctrico.

Se colocó un soporte para la batería, otro para el tanque de combustible, así como también cuatro ruedas que están soldadas a la estructura, para que tenga una adecuada movilización.

Se desbastó los cordones de suelda de todas las uniones, para luego proceder a pintar toda la estructura.



Figura 32. Estructura tubular del banco de pruebas

3.1.2. Montaje del motor

Cuando ya la estructura estuvo lista se montó el motor con ayuda de un tecele, para fijar el motor a las bases colocadas en la estructura se utilizaron pernos.

Una vez ensamblado el motor en la estructura se procedió a colocar la banda de distribución.



Figura 33. Ensamble de motor Kia 2.0L tipo D4EA en la estructura tubular

3.1.3. Ensamblaje de los componentes del motor

Se colocó la unidad de control electrónico (ECU), múltiple de admisión, banda de distribución, tanque de combustible, mangueras de aire, mangueras de agua, banda de accesorios, radiador, batería, múltiple de escape, filtro de aire, filtro de aceite, filtro de combustible, pedal del acelerador y cableado de todos los componentes.



Figura 34. Ensamble de los componente del motor Kia 2.0L

3.1.4. Construcción del tablero

El tablero se elaboró con madera de 2cm de grosor, una vez cortada la madera a las medidas respectivas, se procedió a lijar todas las piezas del talero para posteriormente pintarlas y darles un mejor acabado, después se ensamblo el tablero y sus piezas en la estructura utilizando tornillos.

Como se puede observar en la figura 35, se colocó el tablero de instrumentos original del vehículo, un interruptor de encendido, pulsador de arranque al motor, terminales de los actuadores para realizar las mediciones respectivas y su posterior análisis, dos conectores de diagnóstico OBD.



Figura 35. Tablero del banco de pruebas

3.2. Protocolo de pruebas

Se detallan los equipos, protocolos y materiales utilizados para realizar las mediciones con sus respectivos análisis de los parámetros mecánicos y electrónicos del sistema de alta presión en el conjunto CRDI.

3.2.1. Equipos

a) Osciloscopio OTC 3840F

El osciloscopio permite visualizar, medir y analizar las diferentes señales eléctricas, las cuales varían en el tiempo, todo esto se visualiza en una pantalla, donde se puede variar las escalas de tiempo y voltaje.

Tabla 5

Características del osciloscopio automotriz OTC 3840F

Características del osciloscopio automotriz OTC 3840F	<i>Posee dos canales para analizar las señales</i>
	<i>Mediciones y gráficos visibles en tiempo real</i>
	<i>Referencia de formas de onda, para poder compararlas con las reales</i>
	<i>Regulación de escalas según crea conveniente el usuario</i>
	<i>Tiene la función de congelamiento de pantalla, que permite visualizar de mejor manera la onda emitida por cualquier componente.</i>
	<i>Existe una función diésel que usando los accesorios para la misma permite la regulación de las rpm y bombas de inyección.</i>
	<i>Tiene la función de mover la gráfica en sentido horizontal o vertical para visualizarla mejor</i>

Partes del osciloscopio OTC 3840F



Figura 36. Partes del osciloscopio OTC 3840F

Tabla 6

Partes del osciloscopio automotriz OTC 3840F

Numero	Parte
1	Botón para el encendido y apagado del equipo
2	Conexión para los cables de los canales A y B
3	Conexión del puerto USB
4	Conexión del cable para cargar el osciloscopio
5	Pantalla
6	Botón Hold, el cual permite congelar la pantalla
7	Botones numéricos para realizar diferentes operaciones
8	Botón menú
9	Botones de escala en tiempo y voltaje, como también de mover la imagen.

b) Osciloscopio Hantek 1008c

Por medio de la interface, la cual se conecta a un computador se pueden observar las ondas de las diferentes señales eléctricas por medio de los parámetros de voltaje y tiempo según sea conveniente, también se puede seleccionar el voltaje mínimo y máximo de cada señal.

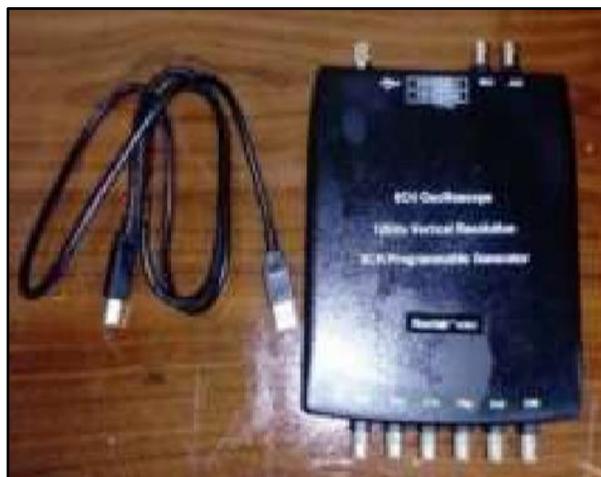


Figura 37. Osciloscopio Hantek 1008c

Tabla 7

Características del osciloscopio automotriz Hantek 1008c

Características del osciloscopio automotriz Hantek 1008c	<i>Posee ocho canales para analizar las señales</i>
	<i>Mediciones y gráficos visibles en tiempo real</i>
	<i>Resolución vertical de 12 bits/canal</i>
	<i>Regulación de escalas según crea conveniente el usuario</i>
	<i>Posee un rango de 10 divisiones en el eje horizontal para el tiempo y 8 divisiones en el eje vertical para el voltaje.</i>
	<i>Tiene conexión vía puerto USB, y no requiere el uso de otra fuente de alimentación externa</i>
	<i>Tiene la función de mover la gráfica en sentido horizontal o vertical para visualizarla mejor</i>
	<i>Se pueden observar los voltajes mínimos y máximos de cada gráfica.</i>

Para poder utilizar el osciloscopio Hantek 1008c previamente se tiene que instalar el programa en el computador, para esto se introduce el cd en el computador y se sigue los pasos correspondientes. Una vez instalado se conecta el osciloscopio al computador por medio del puerto USB y se procede a abrir el programa.

Conectar las puntas y verificar su funcionamiento mediante los puertos de prueba, una vez comprobadas las puntas se procede a realizar las mediciones. Para poder observar de mejor manera las señales hay que calibrar los rangos de tiempo, voltaje y el trigger.

c) Detector de fallas y osciloscopio FADOS9F1

Con el uso de este instrumento se puede determinar el estado de los actuadores y observar cómo están constituidos internamente cada componente por medio de curvas características, como pueden ser diodos, resistencias, bobinas, condensadores que contienen los circuitos electrónicos y así tener un diagnóstico por imágenes de los componentes, esto se lo realiza evaluando cada pin del conector.

Tabla 8

Características del detector de fallas y osciloscopio FADOS9F1.

Características del detector de fallas y osciloscopio FADOS9F1	<i>Posee detección de fallas de doble canal con gráficos de voltaje / intensidad</i>
	<i>Detección de fallas mediante la memoria</i>
	<i>Diagrama de circuito equivalente de resistencia, diodo, condensador.</i>
	<i>Puede mostrar los valores de resistencia, voltaje y capacidad.</i>
	<i>Sensor en la sonda de temperatura</i>
	<i>Indicador de encendido</i>
	<i>Osciloscopio de doble canal</i>
<i>Salida de corriente continua con corriente y voltaje regulables.</i>	



Figura 38. Detector de fallas y osciloscopio FADOS9F1

Para poder utilizar el detector de fallas y osciloscopio FADOS9F1 se tiene que instalar el programa previamente en el computador, para esto se introduce el cd en el computador y se sigue los pasos correspondientes. Una vez instalado se conecta al computador por medio del puerto USB y se procede a abrir el programa.

d) Pinza amperimétrica Brain Bee

La pinza amperimétrica es un instrumento de medición donde se combina un voltímetro y un sensor de corriente, el cual ayuda a realizar mediciones de corriente colocando la pinza en el cable que se desea medir sin necesidad de desconectar el circuito. La medición se realiza en base a escalas de voltaje visualizadas en osciloscopio automotriz.



Figura 39. Pinza amperimétrica Brain Bee

Tabla 9

Especificaciones de la pinza amperimétrica Bran Bee.

Especificaciones de la pinza amperimétrica Bran Bee	<i>Posee botón de encendido</i>
	<i>Posee cable para conectar en las entradas del osciloscopio</i>
	<i>Escala de medición hasta 60 amperios</i>
	<i>Dependiendo la escala seleccionada se obtiene salidas de 10mV/A y 100mV/A</i>
	<i>Posee un indicador de batería baja</i>
	<i>Indicador de encendido</i>
<i>Mordaza para detección de corriente</i>	

e) Medidor de retorno de combustible

Esta herramienta permite medir la cantidad del flujo del diésel que existe en el retorno desde los inyectores hacia el tanque de combustible, la medición se la realiza de manera simultánea dependiendo cuantos inyectores posea el motor. Sirve además para detectar si existen inyectores obstruidos o dañados.



Figura 40. Medidor de retorno de combustible

f) Escáner AUTOBOSS V-30

El escáner automotriz es una herramienta que permite visualizar información del vehículo, diagnosticar códigos de falla existentes, códigos de falla pendientes, información sobre los valores de sensores y actuadores del motor.

El escáner accede a la información que se encuentra registrada en la computadora del motor y permite borrar códigos de falla guardados en la misma.

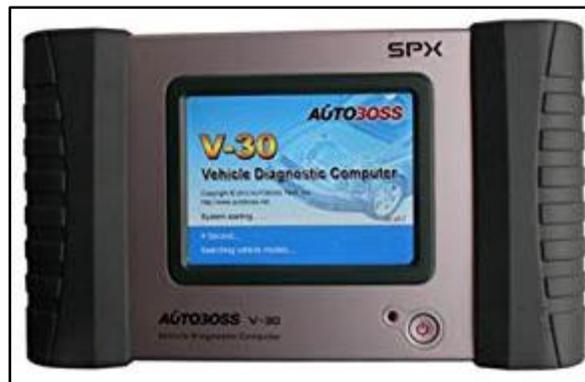


Figura 41. Escáner AUTOBOSS V-30

Tabla 10*Especificaciones y características del escáner Auto Boss V-30*

Especificaciones y características del escáner Auto Boss V-30	<i>Posee botón de encendido</i>
	<i>Memoria RAM de 64MB</i>
	<i>Tarjeta de memoria SD de 1GB</i>
	<i>Pantalla touchscreen de 320x240 LCD con luz de fondo led</i>
	<i>Lápiz de toque para pantalla</i>
	<i>Puerto de alimentación</i>
	<i>Puerto de diagnóstico</i>
<i>Puerto USB y COM</i>	

g) Multímetro TRUPER MUT-105

Posee una pantalla en la cual se puede visualizar claramente los valores medidos, este multímetro ayuda en las pruebas automotrices, ya que cuenta con grandes características y funciones con las cuales se puede medir voltajes, amperajes, resistencias, continuidad, medir revoluciones, entre otras.

Tabla 11*Características del multímetro automotriz TRUPER MUT-105*

Características del multímetro automotriz TRUPER MUT-105	<i>Medición en forma de tacómetro</i>
	<i>Medir continuidad y efectuar ruido</i>
	<i>Voltaje de corriente alterna 2V-750V</i>
	<i>Voltaje de corriente continua 200mV-1000V</i>
	<i>Amperaje de corriente continua 200mA-10mA</i>
	<i>Resistencia 200Ohm-20MOhm</i>
	<i>Estuche protector del equipo</i>
	<i>Batería de 9V</i>
<i>Medidor de diodos</i>	

Partes del multímetro TRUPER MUT-105



Figura 42. Partes del multímetro

Tabla 12

Partes del multímetro TRUPER MUT-105

Número	Parte
1	Pantalla
2	Botón (HOLD) para congelar los datos
3	Perilla giratoria para selección de función
4	Terminal de entrada de los cables
5	Botón de encendido y apagado

3.2.2. Pruebas de los actuadores con el multímetro

a. Inyectores

Voltaje de referencia del inyector

- 1) Poner el interruptor de encendido en "ON" con el motor apagado.
- 2) Colocar el multímetro en la función para medir voltios (DC).
- 3) Conectar el cable negativo del multímetro al negativo de la batería.

- 4) Conectar el cable positivo del multímetro al terminal de referencia.
- 5) Verificar que el valor de voltaje coincida con el establecido por el fabricante.
- 6) Repetir los pasos anteriores con cada inyector.

Voltaje de señal del inyector

- 1) Encender el motor.
- 2) Colocar el multímetro en la función para medir voltios (DC).
- 3) Conectar el cable negativo del multímetro al polo negativo de la batería
- 4) Conectar el cable positivo del multímetro al terminal de señal del inyector.
- 5) Observar el valor de voltaje.
- 6) Repetir los pasos anteriores con cada inyector.

b. Bujía de precalentamiento

Voltaje de referencia de la bujía

- 1) Encender el motor.
- 2) Colocar el multímetro en la función para medir voltios (DC).
- 3) Conectar el cable negativo del multímetro al polo negativo de la batería.
- 4) Conectar el cable positivo del multímetro al terminal común de señal de bujías de precalentamiento.
- 5) Observar el valor de voltaje y su variación.

c. Válvula reguladora de presión (IPR)

Voltaje de referencia de la válvula

- 1) Poner el interruptor de encendido en “ON” con el motor apagado.
- 2) Colocar el multímetro en la función para medir voltios (DC).
- 3) Conectar el cable negativo del multímetro al negativo de la batería.
- 4) Conectar el cable positivo del multímetro al terminal de alimentación.
- 5) Verificar que el valor de voltaje coincida con el establecido por el fabricante

Voltaje de señal de la válvula

- 1) Encender el motor.
- 2) Colocar el multímetro en la función para medir voltios (DC).
- 3) Conectar el cable negativo del multímetro al polo negativo de la batería.
- 4) Conectar el cable positivo del multímetro al terminal de señal de la válvula.
- 5) Observar el valor de voltaje y su variación.

d. Bomba eléctrica de baja presión

Voltaje de referencia de la bomba eléctrica

- 1) Poner el interruptor de encendido en “ON” con el motor apagado.
- 2) Colocar el multímetro en la función para medir voltios (DC).
- 3) Conectar el cable negativo del multímetro al negativo de la batería.
- 4) Conectar el cable positivo del multímetro al terminal de alimentación.
- 5) Verificar que el valor de voltaje coincida con el establecido por el fabricante.

Voltaje en la masa de la bomba eléctrica

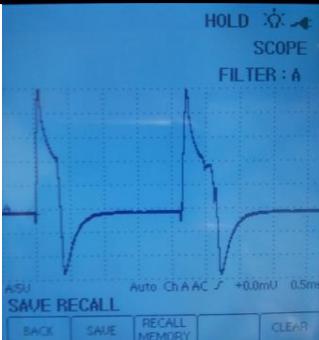
- 1) Poner el interruptor de encendido en “ON” con el motor apagado.
- 2) Colocar el multímetro en la función para medir voltios.
- 3) Conectar el cable negativo del multímetro al negativo de la batería.
- 4) Conectar el cable positivo del multímetro al terminal negativo de socket.
- 5) Verificar el valor de voltaje se encuentre en cero o el que indique el fabricante.

3.2.3. Comprobación de los actuadores con el osciloscopio

Se debe ajustar los parámetros del osciloscopio según la escala de tiempo y voltaje dependiendo del elemento que se desea medir. El tiempo se lo ajusta en la escala horizontal de la pantalla, mientras que el voltaje se lo hace en la escala del eje vertical, permitiendo así observar una gráfica adecuada, no muy pequeña ni tampoco muy grande, que no pueda ser apreciada en la pantalla.

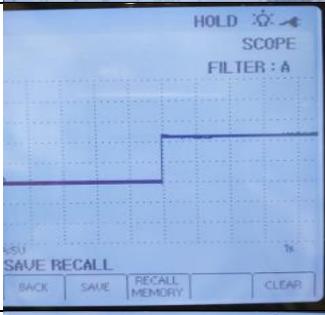
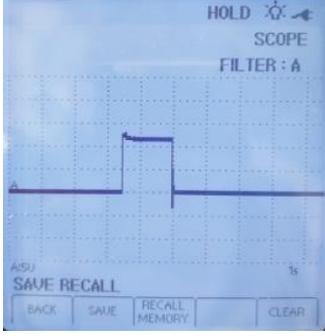
Tabla 13

Pruebas de los actuadores

Nombre	Número de cables	Ubicación	Curva característica
Inyector	2	Se localiza en la culata del motor	

CONTINÚA



Válvula reguladora de presión (IPR)	2	Se encuentra en un extremo del riel acumulador, permitiendo el paso del retorno	
Bujías de precalentamiento	1	Se encuentra en un costado del bloque del motor	
Bomba eléctrica de baja presión	2	Se localiza dentro del tanque de combustible	

3.2.4. Prueba con la pinza amperimétrica Brain Bee

La pinza amperimétrica se usará para medir la corriente que pasa por el cable de los inyectores, para esto se deberán seguir los siguientes pasos:

- 1) Colocar una batería de 12V en la parte posterior de la pinza.
- 2) Encenderla y verificar que el indicador de batería baja no se encienda.
- 3) Conectar el cable de la pinza al osciloscopio.

- 4) Ubicar la punta de la pinza en el cable del inyector, verificar que la flecha de la pinza este en dirección al socket que conecta el inyector.
- 5) Ajustar la escala adecuada en la pinza amperimétrica y verificar que la escala en el osciloscopio sea la correcta.
- 6) Observar los oscilogramas generados por las curvas de corriente y tomar medidas.

3.2.5. Diagnóstico por imágenes de los actuadores con el detector de fallas y osciloscopio FADOS9F1

Una vez instalado el programa en el computador, se procede abrirlo, se selecciona "POWER-IR TEST", a continuación "ON", se escoge "VI TESTER" se regula la escala de voltaje y frecuencia según el componente que se desea medir, procedemos a topar con la punta cada uno de los pines del socket y observamos el tipo de grafica que se genera en la pantalla, la gráfica es característica de los componentes internos de cada uno de los actuadores. El programa nos puede indicar el valor de capacitancia y resistencia que poseen los componentes del circuito interno.

3.2.6. Comprobación de los actuadores con el scanner

Se debe encender el scanner, luego conectarlo en el puerto de diagnóstico con el motor apagado, se procede a colocar el interruptor de encendido en la posición ON, en la pantalla del scanner se debe seleccionar la marca y modelo de vehículo al que pertenece el motor, como también el año y la cilindrada. Una vez que el scanner lea los datos y se conecte con el motor, se selecciona que parámetros se requiere observar,

ver los códigos de error y si necesitamos también se puede borrarlos. Además se puede visualizar el comportamiento de ciertos componentes del motor como sensores y actuadores.

Para la generación de los códigos de falla se va desconectar el socket de cada uno de los actuadores a evaluar y posterior a eso se da arranque al motor para observa el número de código que se generó y la posible descripción en caso de existir.

3.2.7. Comprobación de la prueba de retorno

En la tabla 13 se detallan los pasos a seguir para realizar la prueba de retorno de combustible.

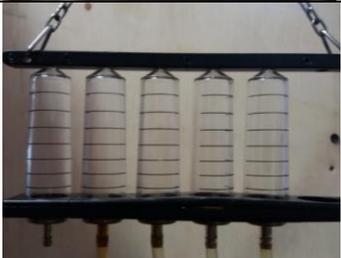
Tabla 14

Pasos para efectuar la prueba de retorno de combustible.

Pasos para efectuar la prueba de retorno de combustible		
Número	Procedimiento	Imagen
1	Seleccionar los acoples correctos que se adaptaran en el retorno de los inyectores y en las mangueras	
2	Conectar los acoples en las mangueras	

CONTINÚA



3	Desconectar las cañerías de retorno de los inyectores retirando previamente los seguros existentes en las mismas.	
4	Conectar las mangueras ya con los acoples en el retorno de cada inyector	
5	Colocar los seguros, para evitar fugas por la alta presión.	
6	Ubicar los medidores en un lugar adecuado que se encuentren a nivel.	
7	Dar arranque al motor y verificar como sube el nivel del combustible que retorna	
8	Realizar las pruebas en Ralentí, 1500rpm y 2500 rpm	
9	Una vez realizadas las pruebas, desconectar las mangueras y drenar el combustible.	

CONTINÚA



10

Limpiar el equipo antes de guardarlo.



CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS MECÁNICOS Y ELECTRÓNICOS DE CADA ACTUADOR DEL CONJUNTO CRDI DEL MOTOR D4EA

4.1. Introducción

Una vez que ya se estableció el protocolo de pruebas a realizarse, se pone en práctica las mismas en los inyectores, válvula reguladora de presión IPR, bomba de baja presión, bujías de incandescencia y la prueba de retorno de combustible, con la finalidad de obtener información de las diferentes condiciones de trabajo del motor.

Tabla 15

Características de los actuadores analizados.

Actuador	Número de cables	Color de cables	Voltajes
Inyector #1	Dos	Azul - Blanco	Señal 20.7V
Inyector #2	Dos	Rosado - Crema	Señal 20.7V
Inyector #3	Dos	Amarillo - Crema	Señal 20.7V
Inyector #4	Dos	Café - Blanco	Señal 20.7V
Válvula IPR	Dos	Rojo - Amarillo	Señal 11.8V Referencia 14.05V
Bujía de precalentamiento	Uno	Negro con rojo	Referencia 14.05V
Bomba eléctrica de baja presión	Dos	Negro - Rojo	Referencia 14.06V Masa 0V

4.2. Inyectores

A continuación se describen el color y número de cables que posee cada inyector, para posteriormente describir las diferentes pruebas.

Tabla 16
Características de los inyectores analizados.

Inyector	Número de cables	Color de cables	Imagen
Inyector #1	Dos	Azul - Blanco	
Inyector #2	Dos	Rosado - Crema	
Inyector #3	Dos	Amarillo - Crema	
Inyector #4	Dos	Café - Blanco	

4.2.1. Pruebas con multímetro

Las pruebas de medición de voltaje con el multímetro se las realizan con el motor puesto en contacto “sin encenderlo”, posterior a eso ubicamos la perilla del multímetro en voltaje de corriente continua, en escala de 20 voltios. El voltaje que se mide es mínimo, porque los inyectores necesitan que el motor se encuentre encendido para recibir el voltaje de funcionamiento enviado de la ECU.

Tabla 17

Características de prueba de los inyectores por medio del multímetro.

Número de inyector	Voltaje medido en contacto	Imagen
Inyector #1	0.35V	
Inyector #2	0.35V	
Inyector #3	0.35V	
Inyector #4	0.35V	

4.2.2. Pruebas con osciloscopio

Las pruebas con el osciloscopio en los inyectores se las realiza a 850rpm (ralentí), 1500rpm y 2500rpm, en las cuales se pueden observar la diferencia que existe en los oscilogramas de señal de los inyectores.

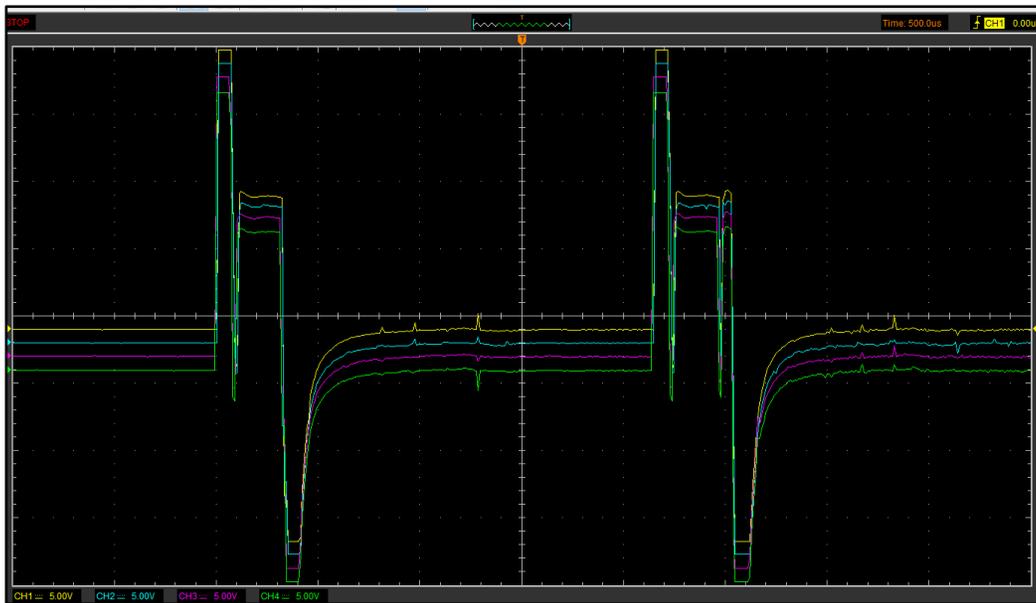


Figura 43. Oscilograma ralentí

En la figura 43 se observa a los 4 inyectores en el proceso de preinyección e inyección, las cuales ocurren cuando el motor se encuentra en ralentí, la gráfica se encuentra en escala de 5V/div y 500us/div.

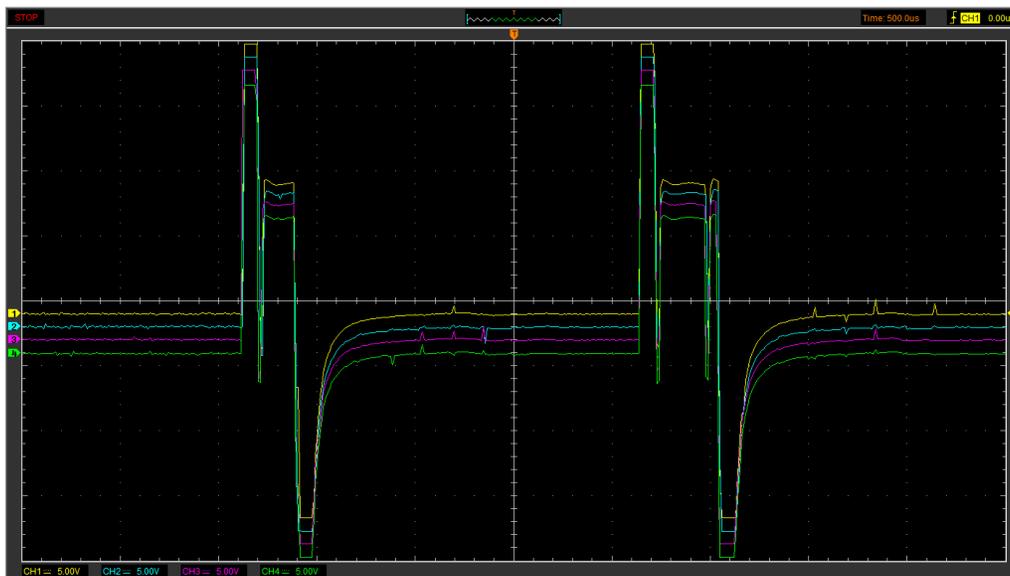


Figura 44. Oscilograma 1500rpm

La figura 44 muestra el oscilograma a 1500rpm, donde se puede observar que el tiempo disminuye en cuanto se efectúa la preinyección y la inyección, para esto se conservan las escalas de 5V/div y 500us/div.

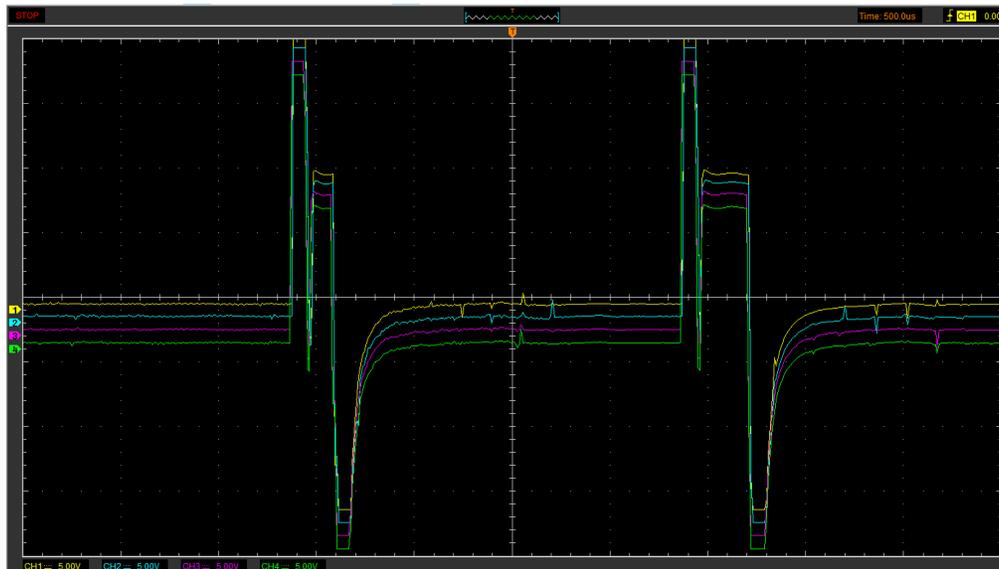


Figura 45. Oscilograma 2500rpm

El oscilograma muestra la inyección simultánea de los cuatro inyectores a 2500rpm del motor, en la cual se observa de manera más significativa como varían las gráficas en el tiempo, ver figura 45

4.2.3. Pruebas de corriente

Las pruebas de corriente realizadas con la pinza amperimétrica se las realiza a 850rpm (ralentí), 1500rpm y 2500rpm, en las cuales podemos observar la diferencia que existe en cuanto al periodo y la duración de la onda.

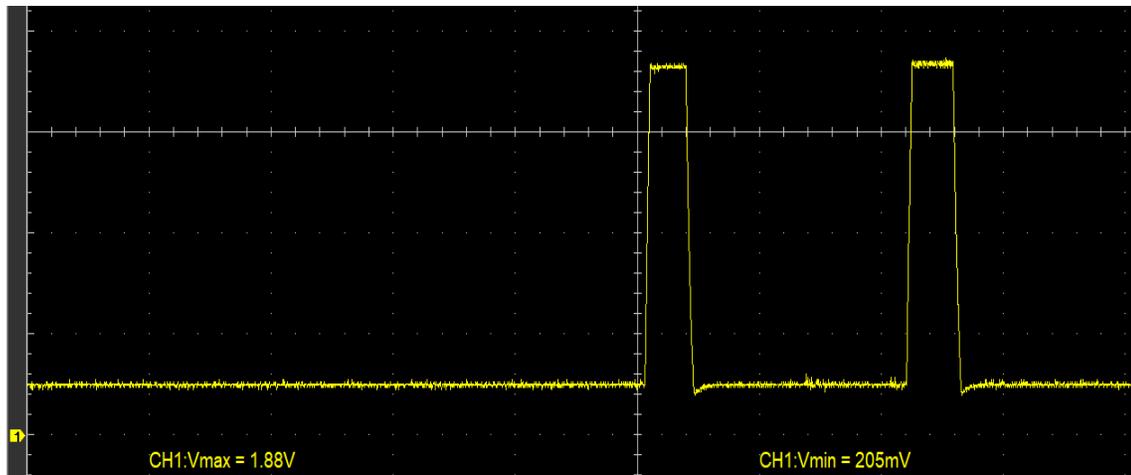


Figura 46. Curvas de corriente a ralentí

En la figura 46 se observa la gráfica de corriente del inyector número uno, cuando el motor se encuentra en ralentí. Para esta prueba la escala de voltaje es de 500mV/div y 1ms/div en la de tiempo, mientras que la escala seleccionada en la pinza amperimétrica es de 100mV/A. Con esto se tiene que la corriente mínima es de 2.05A, mientras que la corriente máxima al momento de la inyección es de 18.8A.

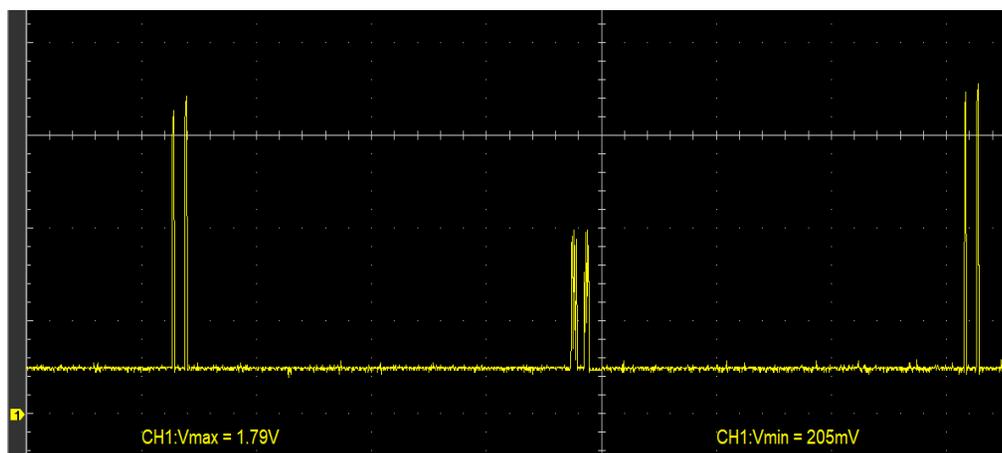


Figura 47. Curvas de corriente a ralentí.

En la figura 47 se puede apreciar el periodo en la gráfica de corriente, cuando el motor se encuentra en ralentí. Para esta prueba la escala de voltaje es de 500mV/div y 20ms/div en la de tiempo. Por lo que el periodo es de 136ms.

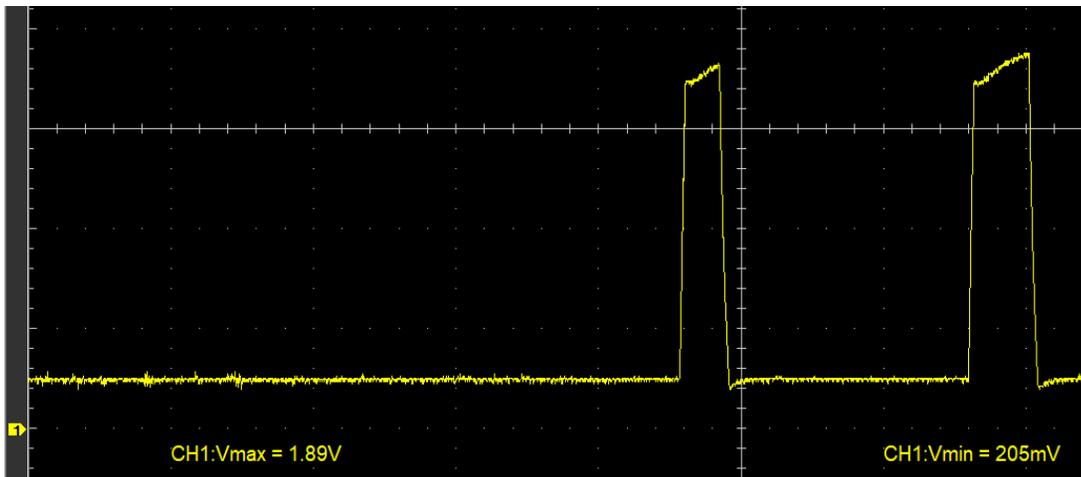


Figura 48. Curvas de corriente a 1500rpm.

La figura 48 muestra las curvas de corriente, estas se dan cuando el motor se encuentra a 1500rpm. Para esta prueba la escala de voltaje es de 500mV/div y 1ms/div en la de tiempo, mientras que la escala seleccionada en la pinza amperimétrica es de 100mV/A. Con esto se obtiene que la corriente mínima es de 2.05A, mientras que la corriente máxima al momento de la inyección es de 18.9A.

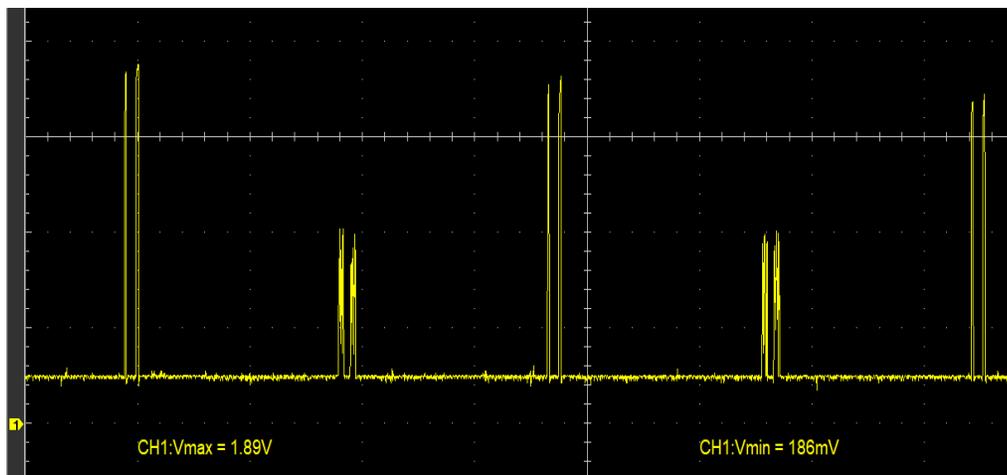


Figura 49. Curvas de corriente a 1500rpm

En la figura 49 se puede observar el periodo en la gráfica de corriente, cuando el motor se encuentra en 1500rpm. Para esta prueba la escala de voltaje es de 500mV/div y 20ms/div en la de tiempo. Por lo que el periodo es de 76ms.

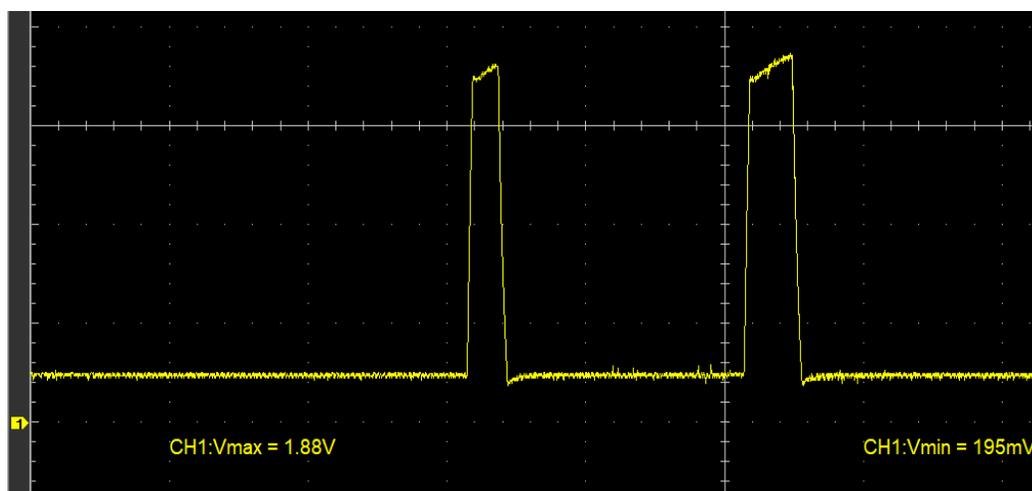


Figura 50. Curvas de corriente a 2500rpm.

La figura 50 muestra las curvas de corriente, cuando el motor se encuentra a 2500rpm. Para esta prueba la escala de voltaje es de 500mV/div y 1ms/div en la de tiempo, mientras que la escala seleccionada en la pinza amperimétrica es de 100mV/A. Con esto se tiene que la corriente mínima es de 1.95A, mientras que la corriente máxima al momento de la inyección es de 18.8A. También se puede visualizar el ancho de la curva de corriente reducida en comparación a las anteriores

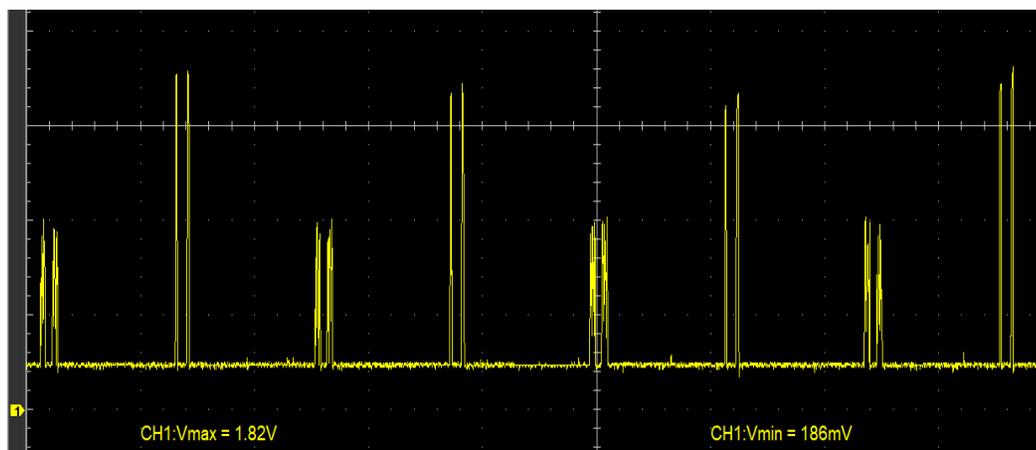


Figura 51. Curvas de corriente a 2500rpm.

En la figura 51 se puede observar el periodo en la gráfica de corriente, cuando el motor se encuentra en 2500rpm. Para esta prueba la escala de voltaje es de 500mV/div y 20ms/div en la de tiempo. En esta grafica se puede observar de manera significativa la reducción del periodo entre las curvas de corriente. El periodo a las 2500rpm del motor es de 48ms.

4.2.4. Pruebas con osciloscopio y pinza amperimétrica

En estas pruebas se puede observar las gráficas de inyección de cada inyector, como también las gráficas de corriente de los mismos, esto se realiza a ralentí, 1500rpm y 2500rpm del motor. Se podrá apreciar la duración de la onda durante la inyección, los voltajes mínimos y máximos.

La escala de voltaje para la gráfica de inyección y corriente es de 5v/div y 500mV/div respectivamente, mientras que la escala de tiempo es de 1ms/ div para ambas.

Para transformar el voltaje a corriente hay que tener en cuenta que por cada 100mV equivale a 1A, esto debe ser seleccionado previamente en la pinza amperimétrica.

Inyector #1

Ralentí

Cuando el motor se encuentra a ralentí el voltaje máximo de inyección es de 20.1V mientras que el mínimo es de -16V, el amperaje máximo es de 17.4A y el mínimo de -2.15A, ver figura 52, observar que en el lado izquierdo se encuentra la pre inyección y en el lado derecho la inyección principal.

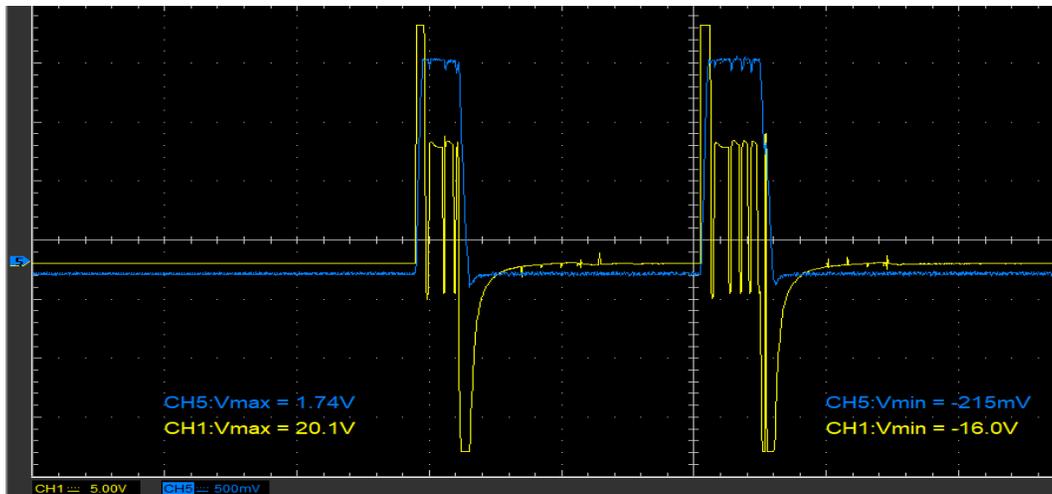


Figura 52. Oscilograma de inyección y corriente a ralentí.

1500rpm

Al momento de acelerar el motor a 1500rpm las gráficas de inyección y de corriente del inyector número uno se muestran en la figura 53, donde se puede apreciar un voltaje máximo de inyección de 20.2V y mínimo de -16V, mientras que el amperaje máximo es de 17.4A y el mínimo de -1.95A.

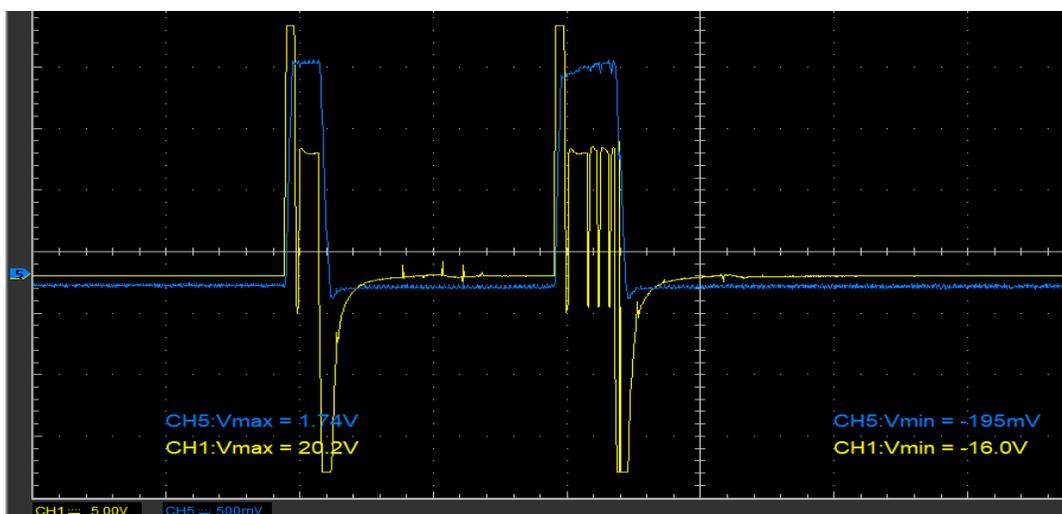


Figura 53. Oscilograma de inyección y corriente a 1500rpm.

2500rpm

En la figura 54 se puede observar significativamente que el ancho de pulso de la inyección como también el de la corriente se reduce, debido a que el motor se encuentra girando a mayor cantidad de revoluciones. El voltaje máximo de inyección de 20.2V y mínimo de -16V, mientras que el amperaje máximo es de 16.5A y el mínimo de -2.15A.

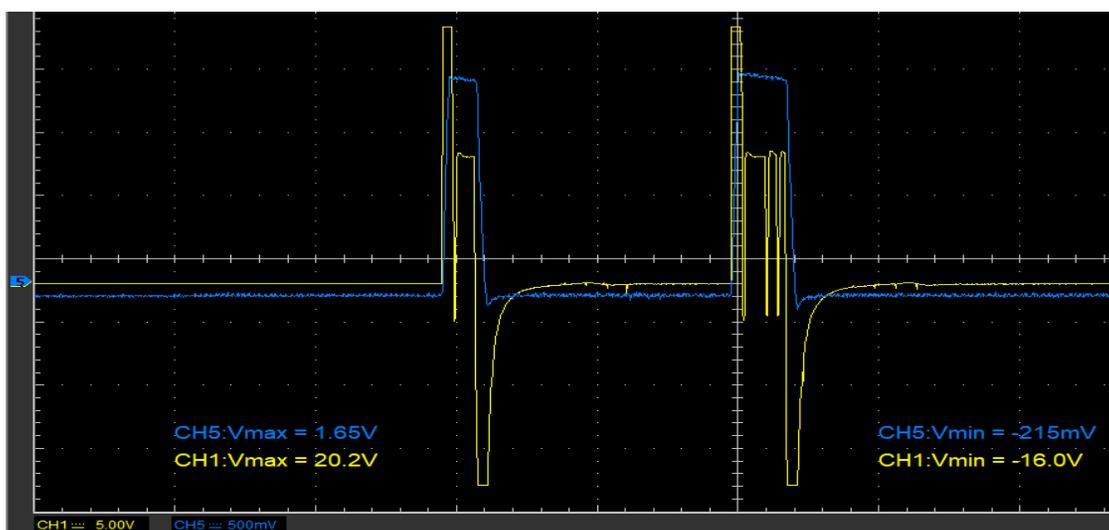


Figura 54. Oscilograma de inyección y corriente a 2500rpm.

Inyector #2

Ralentí

En la figura 55 se observa que los valores de voltaje máximo y mínimo de inyección son de 20.2V y de -16V respectivamente, el amperaje máximo es de 16.7A y el mínimo de -1.56A.

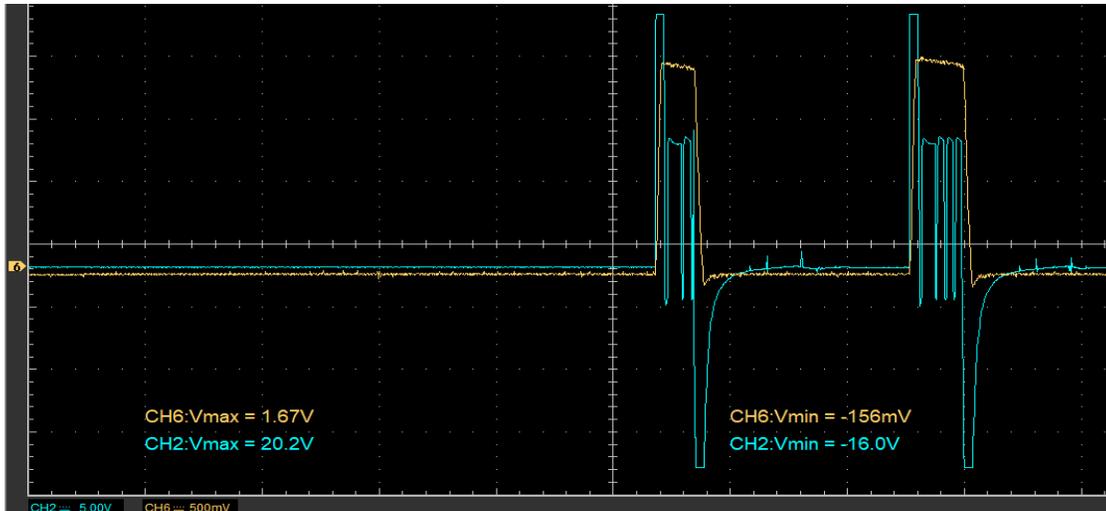


Figura 55. Oscilograma de inyección y corriente a ralentí.

1500rpm

Cuando el motor se encuentra girando a 1500rpm las gráficas de inyección y de corriente de inyector número dos muestran un voltaje máximo de inyección de 20.2V y mínimo de -16V, mientras que el amperaje máximo es de 16.3A y el mínimo de -1.86A.

Ver figura 56.

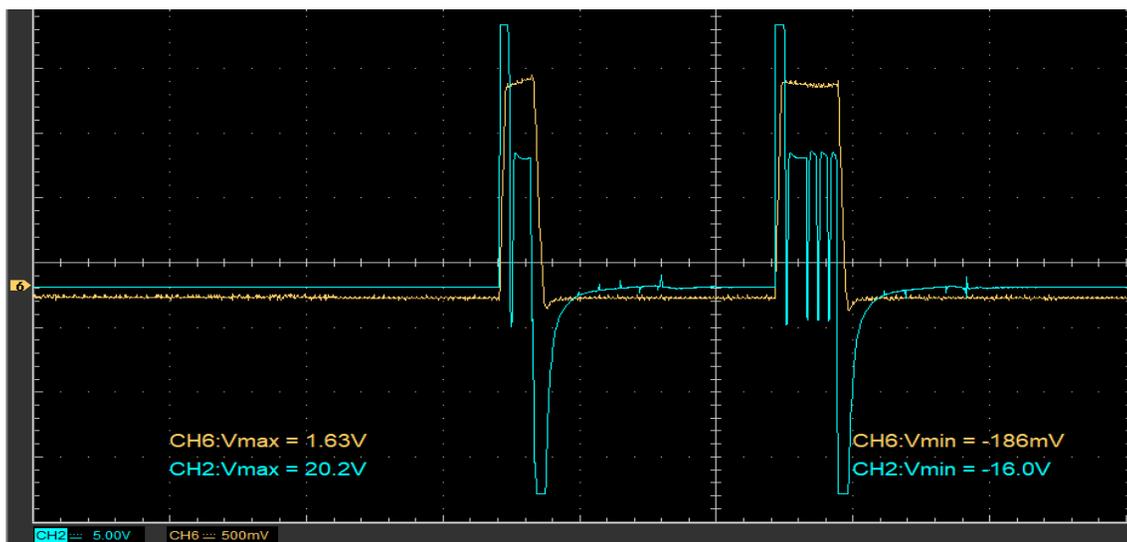


Figura 56. Oscilograma de inyección y corriente a 1500rpm.

2500rpm

Acelerando el motor a 2500rpm el voltaje máximo de inyección de 20.2V y mínimo de -16V, mientras que el amperaje máximo es de 15.6A y el mínimo de -2.15A.

El ancho de pulso de la inyección como también el de corriente se reduce significativamente ver figura 57.

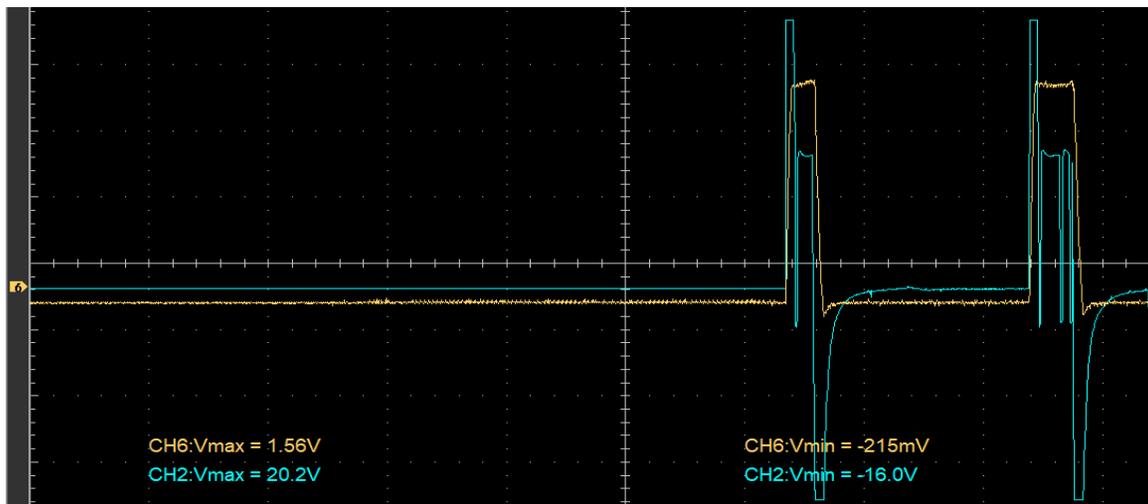


Figura 57. Oscilograma de inyección y corriente a 2500rpm.

Inyector #3

Ralentí

El inyector número tres muestra en las gráficas un voltaje máximo de 20.2V, voltaje mínimo de -16V en lo que se refiere a inyección, en la gráfica de corriente un amperaje máximo es de 17.2A y el mínimo de -1.66A, ver figura 58.

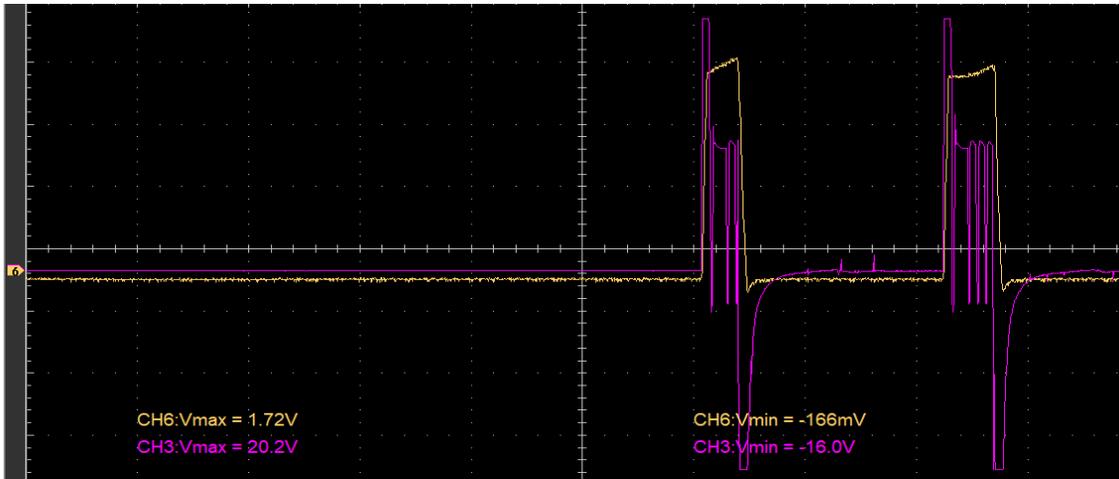


Figura 58. Oscilograma de inyección y corriente a ralentí.

1500rpm

En la figura 59 se observa que el voltaje máximo de inyección de 20.2V y mínimo de -16V, mientras que el amperaje máximo es de 17.4A, el mínimo de -2.15A, el tiempo de corriente en la inyección es de 0.54ms y en la preinyección 0.38ms.

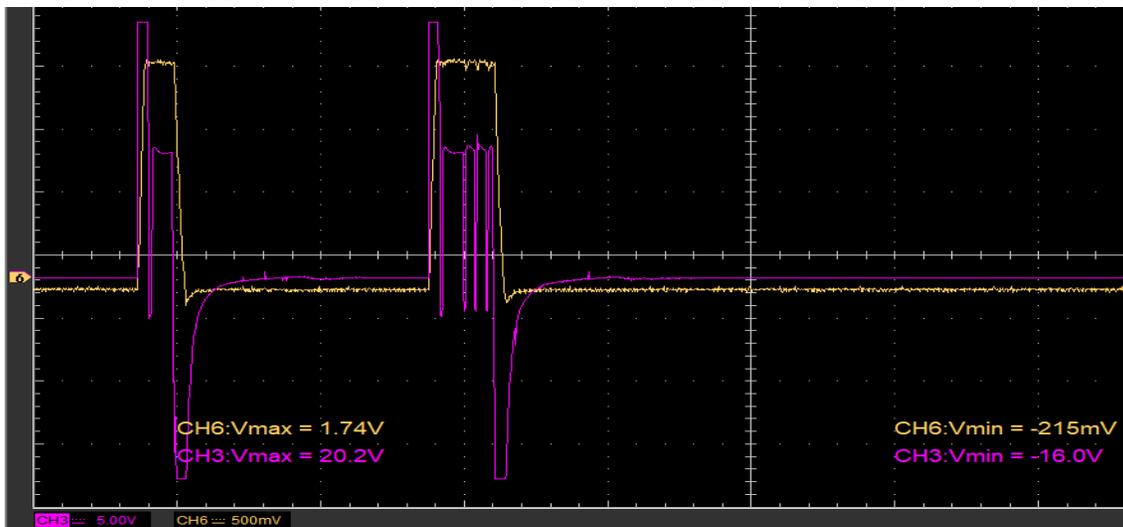


Figura 59. Oscilograma de inyección y corriente a 1500rpm.

2500rpm

Mientras el motor se encuentra girando a 2500rpm las gráficas de inyección y de corriente del inyector número tres indican un voltaje máximo de inyección de 20.2V y mínimo de -16V, mientras que el amperaje máximo es de 17.2A y el mínimo de -2.15A.

Ver figura 60.

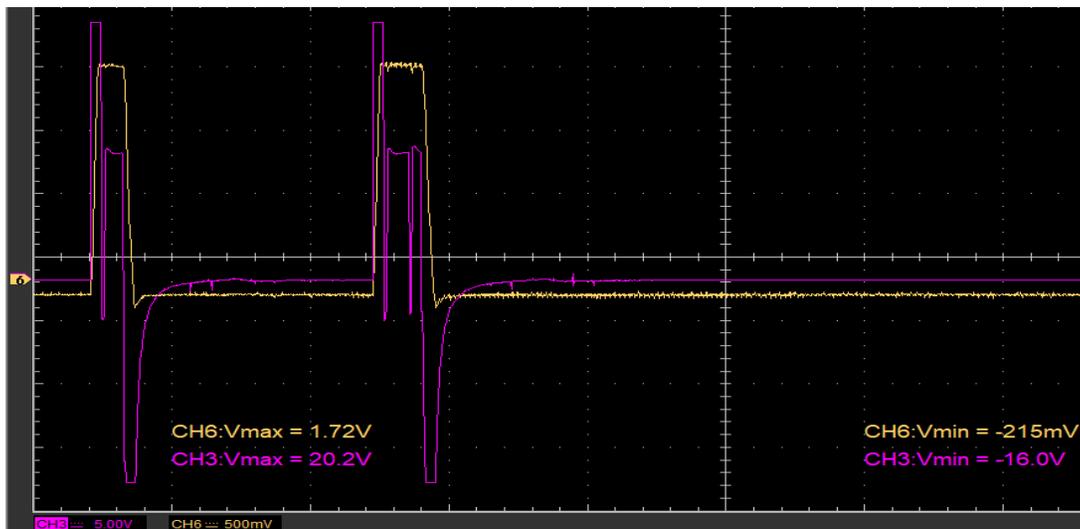


Figura 60. Oscilograma de inyección y corriente a 2500rpm.

Inyector #4

Ralentí

En la figura 61, se puede observar en la gráfica de inyección el voltaje máximo es de 20.1V, voltaje mínimo de 16V, en la curva de corriente un amperaje máximo de 17.6A, el mínimo de -1.66A, el tiempo en la preinyección es 0.42ms y en la inyección es de 0.59ms.

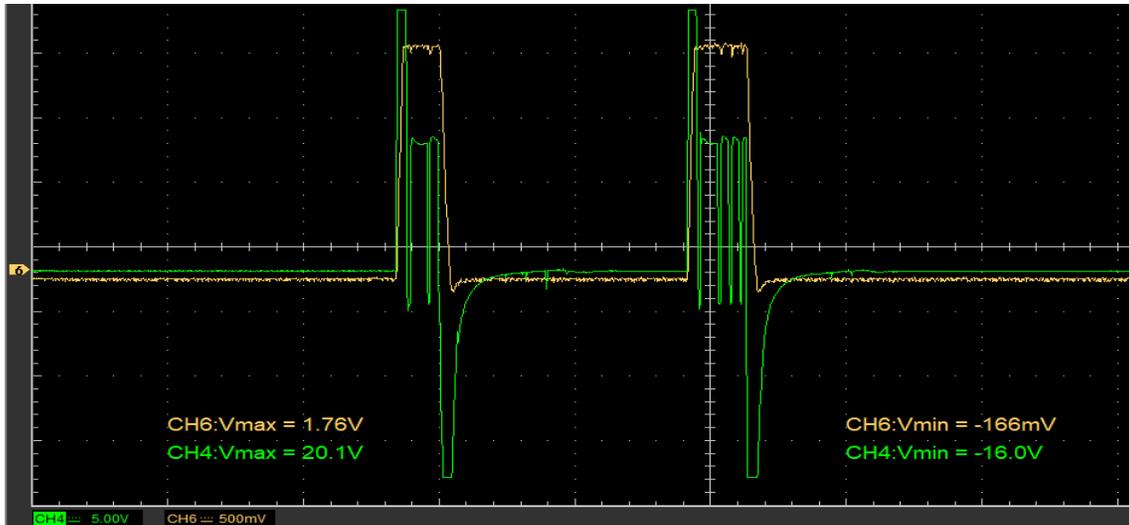


Figura 61. Oscilograma de inyección y corriente a ralentí.

1500rpm

El comportamiento de las curvas de inyección y de corriente se dan de modo similar que en los anteriores inyectores, el valor de voltaje máximo para la inyección es de 20.1V, el voltaje mínimo -16V, para las curvas de corriente se observa que el amperaje máximo es de 16A, el amperaje mínimo -1.86A, el tiempo de la corriente en preinyección 0.3ms y en la inyección 0.52ms.

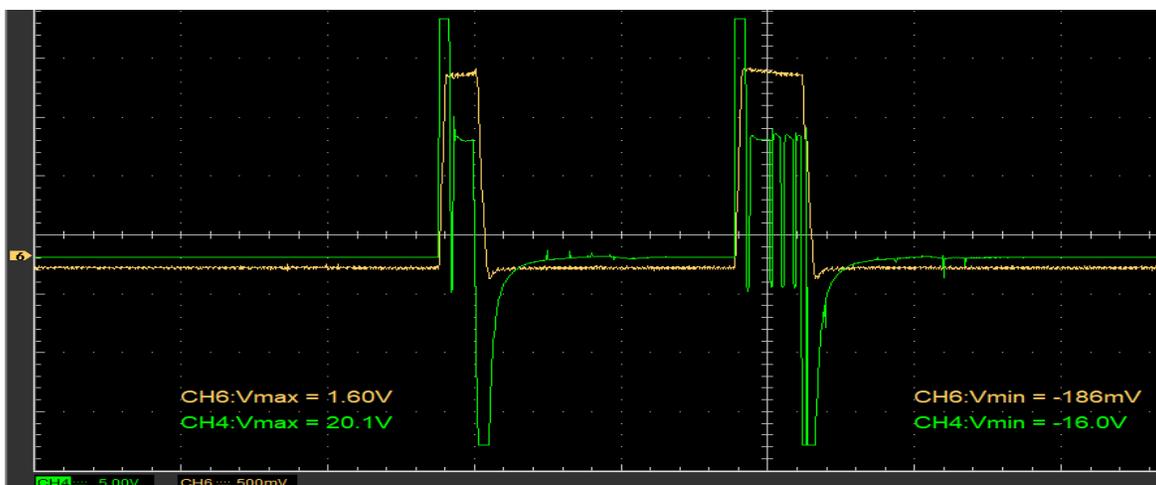


Figura 62. Oscilograma de inyección y corriente a ralentí.

2500rpm

Cuando el motor se encuentra girando a 2500rpm las gráficas del inyector número cuatro muestran un voltaje máximo de 20.1V, un voltaje mínimo de -16V en la gráfica de inyección, mientras que en la gráfica de corriente un amperaje mínimo de -2.15A, amperaje máximo de 15.8A, en la figura 63 se puede observar el ancho de pulso en la inyección, también se observa que la corriente se reduce en comparación a cuando el motor gira a 1500rpm y a ralentí.

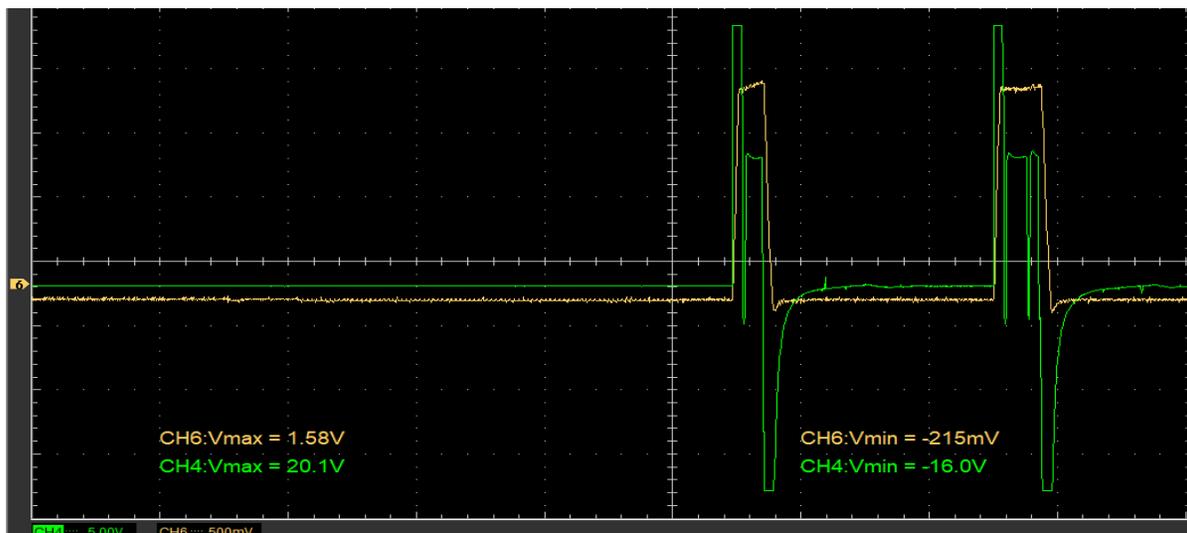


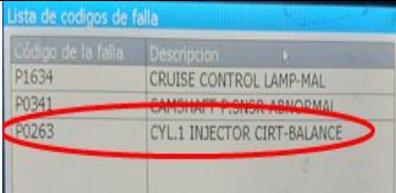
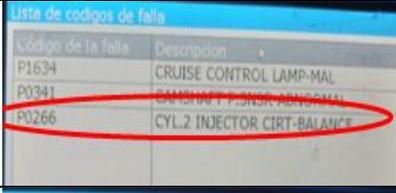
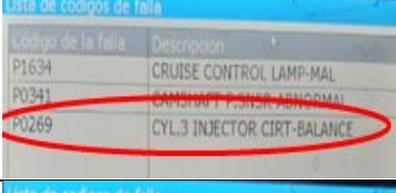
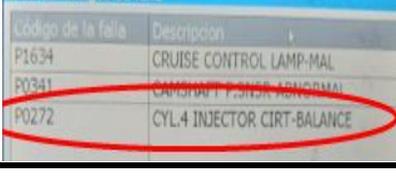
Figura 63. Oscilograma de inyección y corriente a 2500rpm.

4.2.5. Pruebas con escáner

Al realizar las pruebas con el escáner se puede analizar los códigos de falla que se generan al momento de desconectar el socket de cada uno de los inyectores, esto se lo realiza uno por uno para observar el código que se genera. Ver tabla 18.

La desconexión del socket se lo realiza con el motor apagado para evitar cualquier anomalía, posteriormente se enciende el motor, con esto el código de falla se genera. Conectamos el escáner, analizamos los datos y códigos de error con el mismo.

Tabla 18
Códigos de falla de los inyectores.

DTC	Descripción	Imagen
P0263	Falla en el circuito del inyector en el cilindro número uno, tensión de referencia fuera de rango.	
P0266	Falla en el circuito del inyector en el cilindro número dos, tensión de referencia fuera de rango.	
P0269	Falla en el circuito del inyector en el cilindro número tres, tensión de referencia fuera de rango.	
P0272	Falla en el circuito del inyector en el cilindro número cuatro, tensión de referencia fuera de rango.	

Una vez que ya se han generado los códigos de falla, se procede a eliminarlos, esta acción se la realiza por medio del escáner AUTOBOSS V30.

4.3. Válvula IPR

A continuación se describen el color y número de cables que posee la válvula IPR, para posteriormente describir las diferentes pruebas.

Tabla 19
Cables de la válvula IPR.

Numero de cables	Color de cables	Imagen
Dos	Rojo - Amarillo	

4.3.1. Pruebas con el multímetro

Para realizar las pruebas de medición de voltaje con el multímetro se lo hace con el motor apagado, puesto en contacto, posterior a eso ubicamos la perilla del multímetro en voltaje de corriente continua, en escala de 20 voltios.

Se coloca la punta roja en el pin de señal mientras que la punta negra en masa o borne negativo de la batería y procedemos a visualizar el valor de voltaje en el multímetro, el mismo que indica un valor de 12.67V, mientras que en el pin de alimentación marca 12.74. Ver Tabla 19

Tabla 20
Valores de voltaje de la válvula IPR.

PIN	Valor de voltaje	Imagen
Alimentación	12.74V	
Señal	12.67V	

4.3.2. Pruebas con el osciloscopio

Las pruebas con el osciloscopio en la válvula se realizan a 850rpm (ralentí), 1500rpm y 2500rpm, en las cuales podemos observar la diferencia que existe en los oscilogramas en el tiempo de activación, como disminuye el periodo según las revoluciones en las que se encuentra girando el motor.

Ralentí

En la figura 64 se utilizó una escala en voltaje de 5V/div y en el tiempo 1ms/div, se puede apreciar que la válvula IPR es de control por negativo, la cual es controlada por la ECU del motor. El voltaje máximo de la válvula es de 14.8V hasta cuando la ECU envía el pulso de señal y hace que exista una caída de voltaje la cual dura aproximadamente 200us.

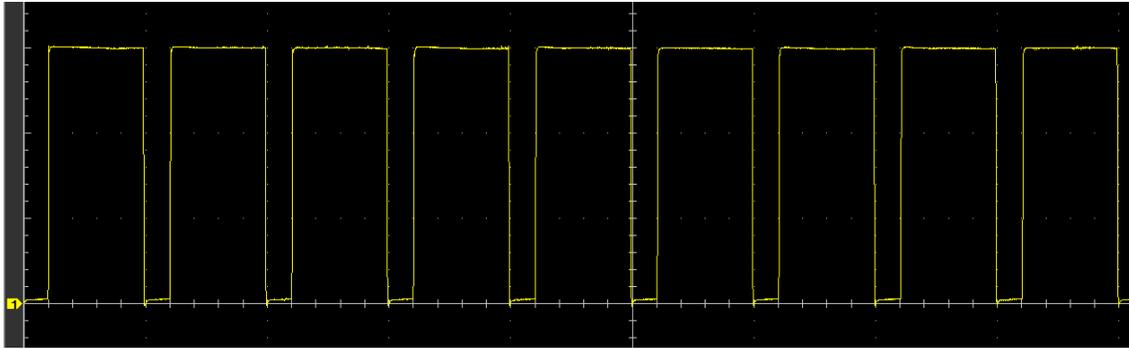


Figura 64. Oscilograma de la válvula IPR a ralentí.

En la figura 65 se puede visualizar el tiempo de activación de la válvula que es de 200us. Para esto se usó una escala de 5V/div y 500us/div en el osciloscopio.

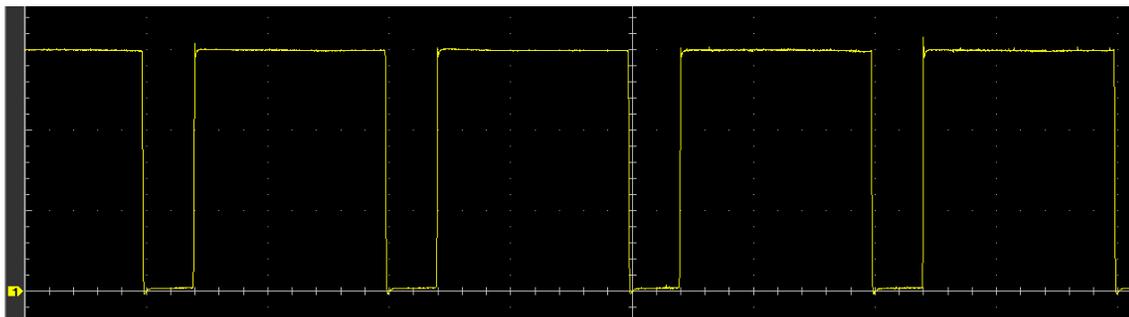


Figura 65. Oscilograma de la válvula IPR a ralentí.

1500rpm

Para la figura 66 se utilizó una escala en voltaje de 5V/div y en el tiempo 1ms/div, se puede apreciar que el tiempo que dura los pulsos enviados por la ECU del motor se mantienen en 200us con el voltaje máximo de 14.8V.

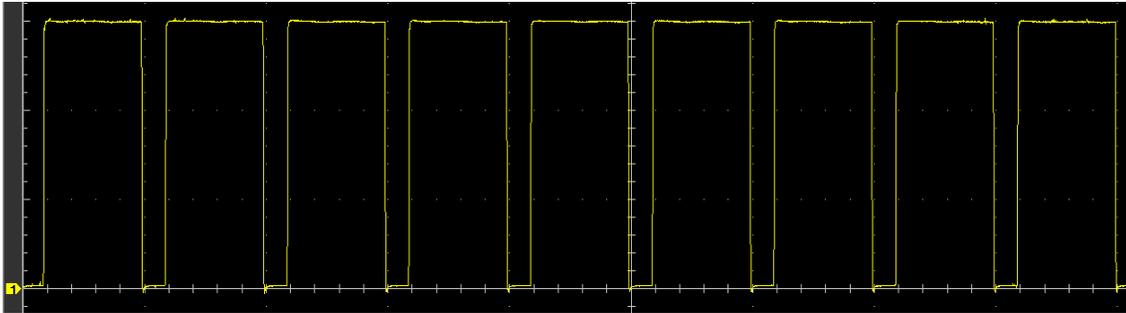


Figura 66. Oscilograma de la válvula IPR a 1500rpm.

En la figura 67 se puede visualizar el tiempo de activación de la válvula que es de 210us, para esto se usó una escala de 5V/div y 500us/div en el osciloscopio.

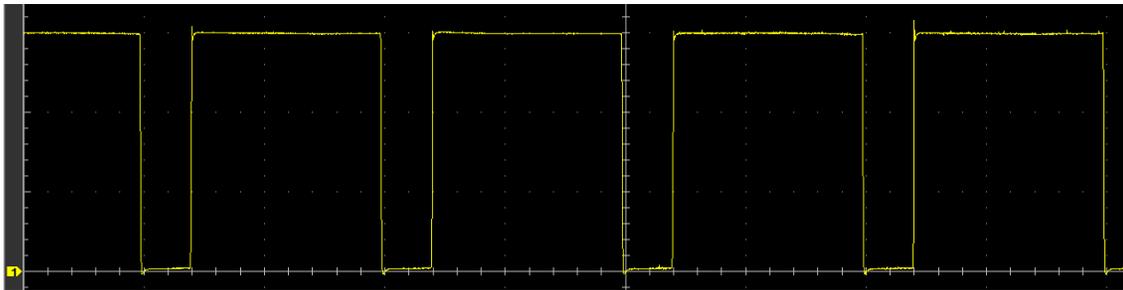


Figura 67. Oscilograma de la válvula IPR a 1500rpm

2500rpm

En la figura 68 se puede visualizar el aumento en el ancho de pulso enviado por la ECU, el voltaje máximo de operación es 14.8V. Para la gráfica de este oscilograma se utilizó una escala en voltaje de 5V/div y en el tiempo 1ms/div.

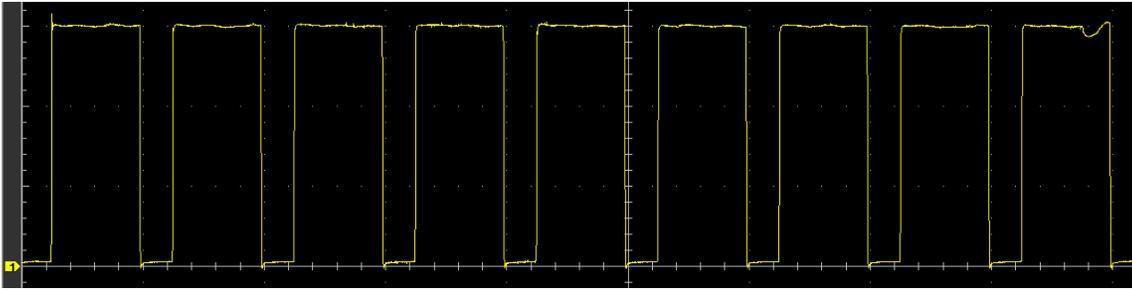


Figura 68. Oscilograma de la válvula IPR a 2500rpm.

En la figura 69 se puede visualizar el tiempo de activación de la válvula IPR, la cual tiene un accionamiento por control negativo, que es de 270us, para esto se usó una escala de 5V/div y 500us/div en el osciloscopio, el voltaje máximo se mantiene en 14.8V.

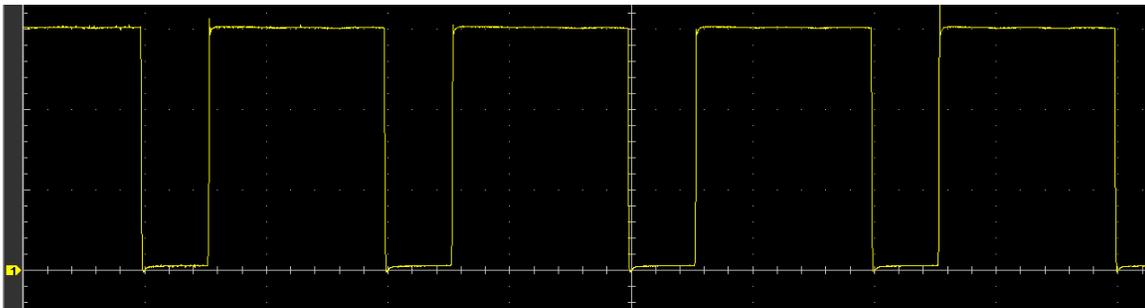


Figura 69. Oscilograma de la válvula IPR a ralentí.

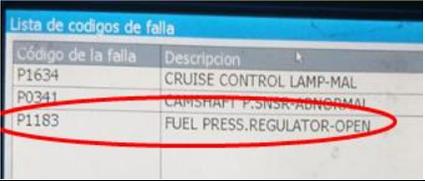
4.3.3. Pruebas con el escáner

Al realizar las pruebas con el escáner se puede analizar los códigos de falla que se generan al momento de desconectar el socket de la válvula IPR. Ver tabla 21.

La desconexión del socket se lo realiza con el motor apagado para evitar cualquier anomalía, posteriormente se enciende el motor, con esto el código de falla se genera. Conectamos el escáner, analizamos los datos y códigos de error con el mismo.

Tabla 21

Código de falla de la válvula IPR.

DTC	Descripción	Imagen
P1183	Falla en la presión del regulador de combustible, se encuentra abierto el circuito.	

Luego de que el código de falla se ha generado se procede a eliminarlo con el motor apagado - puesto en contacto. Una vez que se elimina el código P1183, se enciende en motor y se verifica que ya no exista dicho código.

4.4. Bomba de baja presión

El color y número de cables que posee la bomba de baja presión se visualizan en la tabla 22, posteriormente se realizan y describen las diferentes pruebas.

Tabla 22

Cables de la bomba de baja presión.

Numero de cables	Color de cables	Imagen
Dos	Rojo – Negro	

4.4.1. Pruebas con el multímetro

Para realizar las pruebas de medición de voltaje con el multímetro se lo hace con el motor apagado, puesto el interruptor en contacto, posterior a eso ubicamos la perilla del multímetro en voltaje de corriente continua, en escala de 20 voltios.

Se coloca la punta roja en el pin de alimentación mientras que la punta negra en masa o borne negativo de la batería, procedemos a visualizar el valor de voltaje en el multímetro, el mismo que indica un valor de 11.87V. Ver Tabla 23.

Tabla 23

Valores de voltaje de la bomba de baja presión.

PIN	Valor de voltaje	Imagen
Alimentación	11.21V	
Masa	0V	

4.4.2. Pruebas con el osciloscopio

En la figura 70 se puede visualizar el tiempo que dura la bomba de baja presión encendida cuando el interruptor del motor se coloca en la posición de contacto, además del voltaje de funcionamiento de la misma, el tiempo de activación de la bomba dura 1.5seg y el voltaje de funcionamiento de la bomba es 12.2V. Para la gráfica se utilizó una escala de voltaje en el osciloscopio de 5V y un de tiempo de 500us.

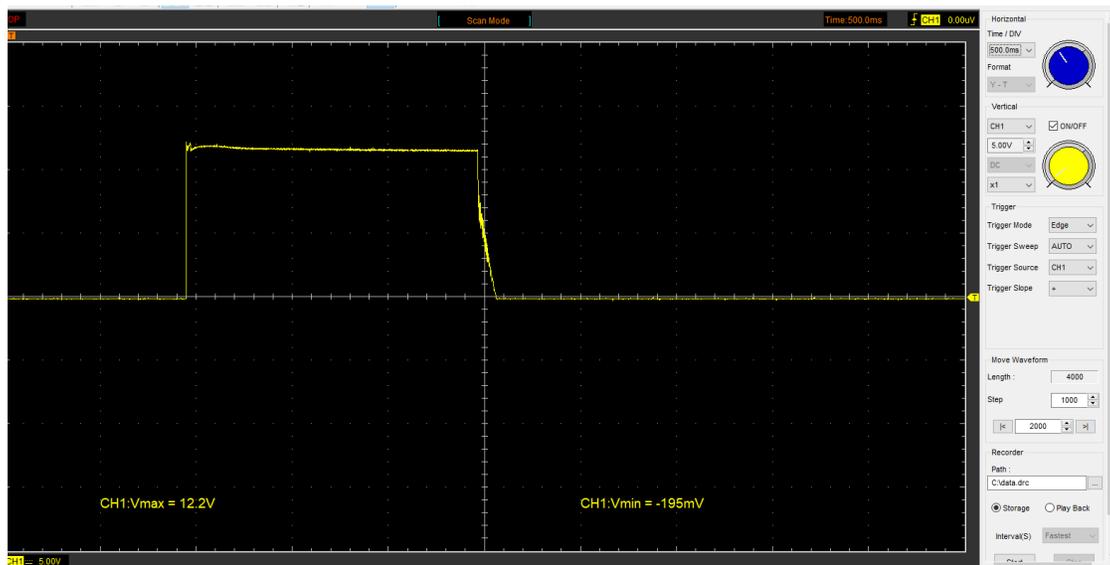


Figura 70. Oscilograma de la bomba de baja presión.

En la figura 71 se observa la gráfica de la bomba de combustible de baja presión cuando el motor se encuentra en funcionamiento, la cual indica un voltaje continuo, esto debido a que cuando el motor se encuentra en funcionamiento la bomba suministra el combustible de manera constante. El voltaje de funcionamiento es de 14.1V en una escala de 5V/div.

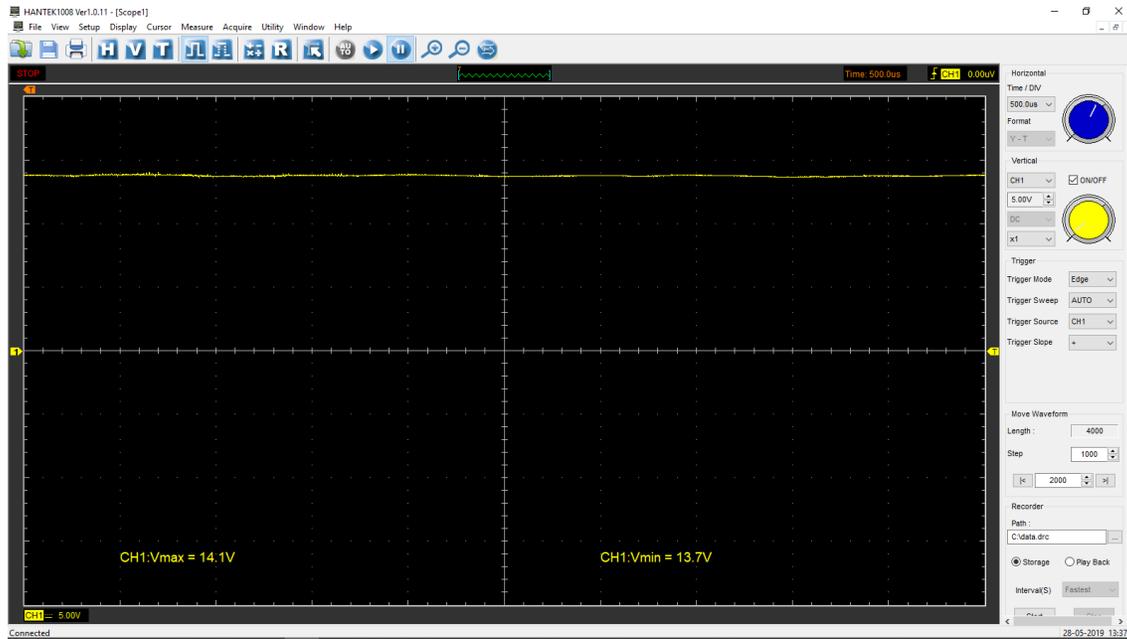


Figura 71. Oscilograma de la bomba de baja presión.

4.4.3. Pruebas con el escáner

La generación de códigos se realiza con el motor apagado y desconectando el socket de la bomba de baja presión, para que se genere el código de falla se trata de encender el motor. Ver tabla 24. Conectamos el escáner, analizamos los datos y códigos de error con el mismo.

Tabla 24

Código de falla de la bomba de baja presión.

DTC	Descripción	Imagen
P0231	Falla en el circuito de la bomba de combustible, voltaje bajo o corto circuito	

4.5. Bujías de incandescencia o precalentamiento

Tabla 25

Cables de la bujía de incandescencia.

Numero de cables	Color de cables	Imagen
Uno	Rojo con Negro	

4.5.1. Pruebas con el multímetro

Para realizar las pruebas de medición de voltaje con el multímetro se lo hace con el interruptor puesto en contacto-motor apagado, posterior a eso ubicamos la perilla del multímetro en voltaje de corriente continua, en escala de 20 voltios.

Se coloca la punta roja en el pin de alimentación mientras que la punta negra en masa o borne negativo de la batería, procedemos a visualizar el valor de voltaje en el multímetro. Ver Tabla 26.

Tabla 26

Valores de voltaje de las bujías de incandescencia.

PIN	Valor de voltaje	Imagen
Alimentación	11.87V	
Masa	0V	

4.5.2. Pruebas con el osciloscopio

En la figura 72 se puede visualizar el tiempo de duración de encendido de las bujías de incandescencia como también el voltaje de funcionamiento, para esta prueba se usó una escala de voltaje de 5V/div y una de tiempo de 2s/div, el tiempo de activación es de 15.4 segundos y un voltaje máximo de 11.8V.

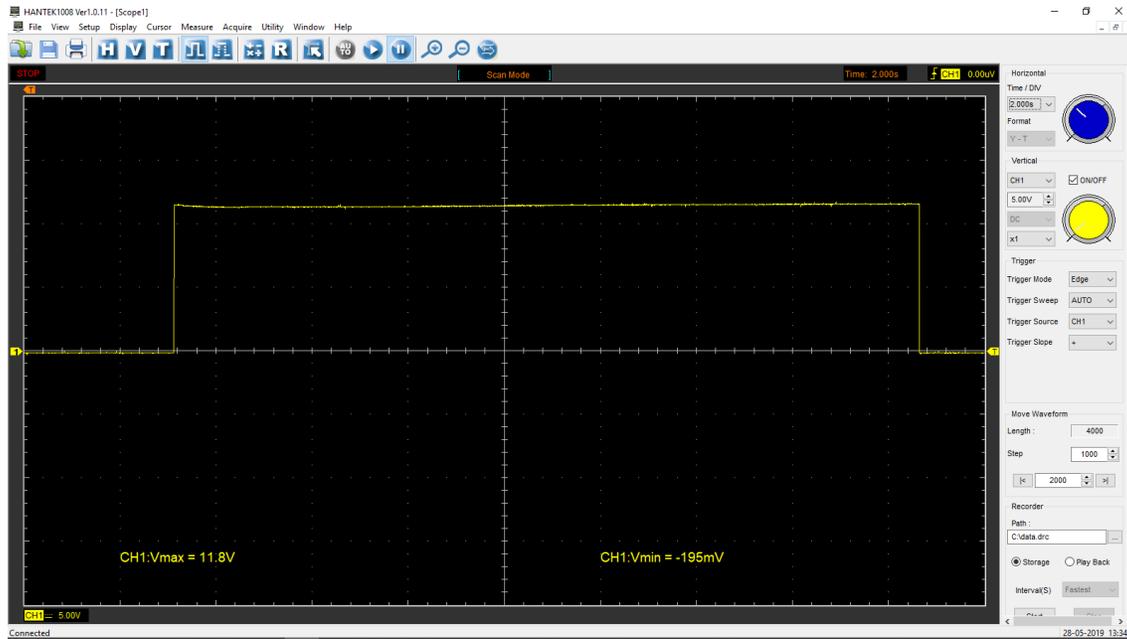


Figura 72. Oscilograma de las bujías de incandescencia.

4.6. Prueba de retorno de combustible

Ralentí

En la figura 73 se puede observar que mediante la prueba de retorno de combustible el inyector número cuatro está regresando mayor cantidad de combustible al depósito y el inyector número uno es el que menor cantidad regresa. La prueba con el motor a ralentí duro 2.27 minutos hasta que se llenó la probeta del inyector número cuatro.



Figura 73. Caudal de retorno en ralentí.

1500rpm

Realizando la prueba de retorno a 1500 revoluciones del motor se observa que el inyector número cuatro continúa enviando una alta cantidad de combustible al retorno, mientras que los inyectores uno y dos tienen un volumen de retorno equitativo. La prueba duro 1.56 minutos hasta que se llenó la probeta del inyector número cuatro.



Figura 74. Caudal de retorno en 1500rpm

2500rpm

En la prueba de las 2500 revoluciones del motor se observa el inyector número cuatro sigue enviando una mayor cantidad de combustible al retorno, mientras que los otros tres inyectores tienen un flujo de retorno semejante. Se llega a la conclusión de que el inyector número cuatro necesita ser remplazado debido al desgaste que puede presentar, por tal motivo existe un exceso de flujo de combustible por la parte del retorno del inyector. La prueba realizada a las 2500rpm del motor duro 1.12 minutos

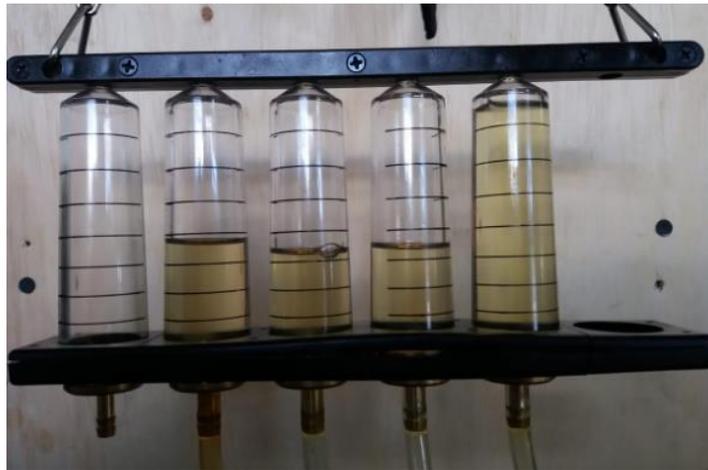


Figura 75. Caudal de retorno en 2500rpm

4.7. Prueba de diagnóstico por imágenes

Bomba

Se mide entre el terminal de masa y alimentación retirando el socket de la bomba, el instrumento FADOS9F1 por medio del diagnóstico de imágenes, permite visualizar internamente los componentes que tiene la bomba. Posee una resistencia de 344 (k Ω) y un capacitor de 19(nF).

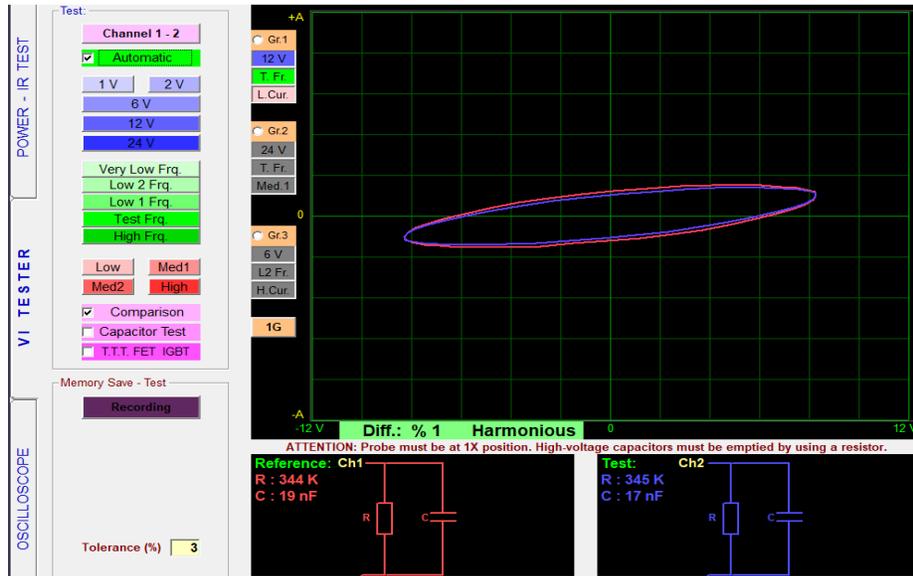


Figura 76. Diagrama del circuito equivalente de la bomba de baja presión.

Válvula IPR

La válvula IPR está compuesta por una bobina en su interior la misma que al ser energizada permite el accionamiento de la válvula. Ver figura 77 donde se presenta la gráfica característica de la bobina.

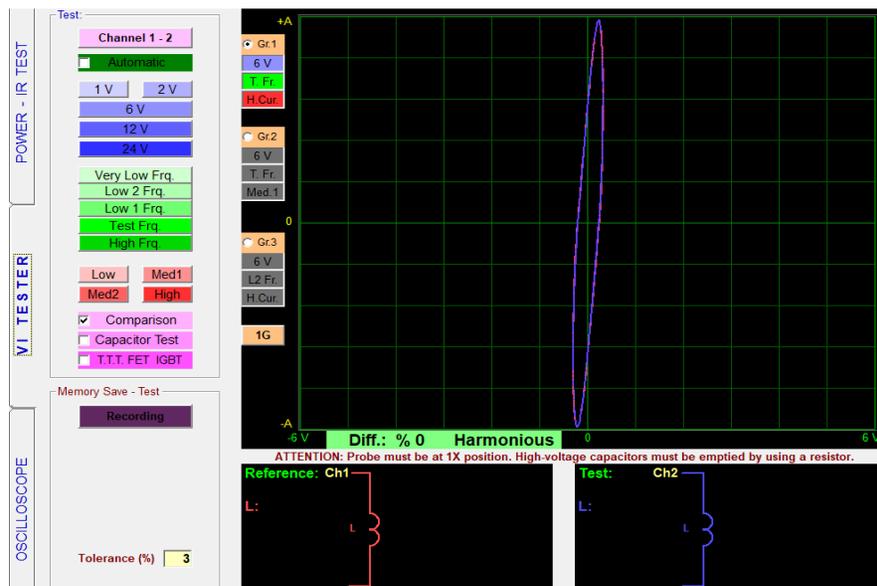


Figura 77. Diagrama del circuito equivalente de la válvula IPR.

Inyector #1

Los inyectores en su interior tienen una bobina la cual al ser energizada permite la pulverización del combustible, el componente interno de los inyectores se lo comprueba mediante el diagnóstico de imágenes.



Figura 78. Diagrama del circuito equivalente del inyector #1

Inyector #2

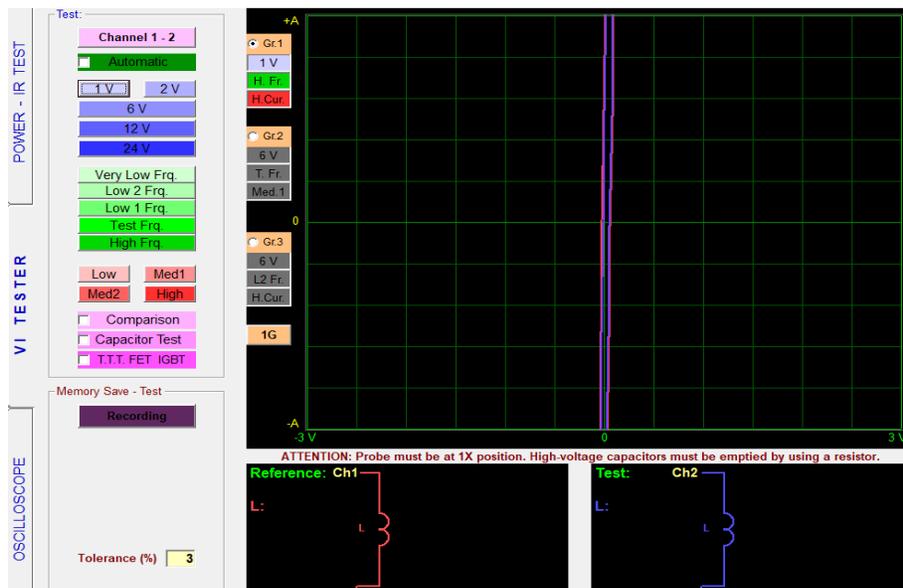


Figura 79. Diagrama del circuito equivalente del inyector #2

Injector #3

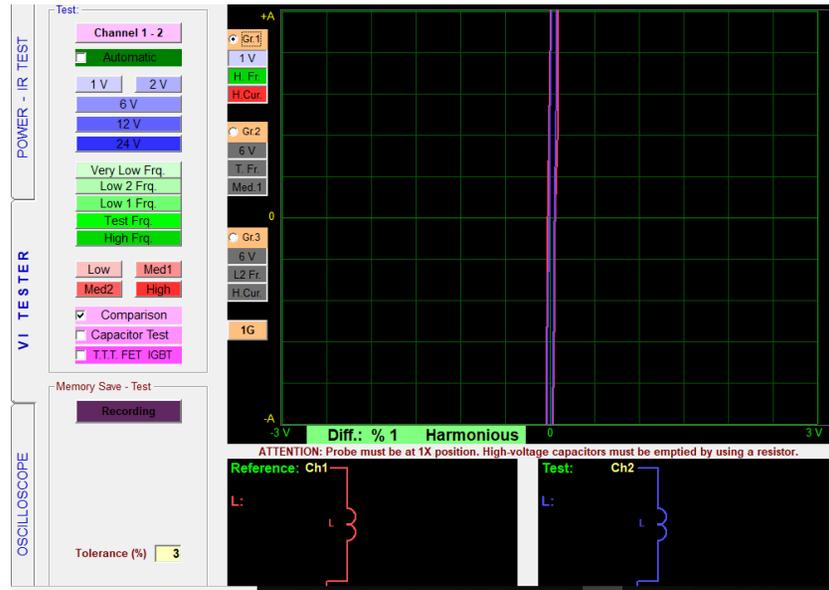


Figura 80. Diagrama del circuito equivalente del inyector #3

Injector #4



Figura 81. Diagrama del circuito equivalente del inyector #2.

Bujía

Como se puede observar en la figura 82 las bujías de precalentamiento tienen una resistencia, la misma que tiene un valor de 2.6 Ohm.



Figura 82. Diagrama del circuito equivalente de las bujías de precalentamiento.

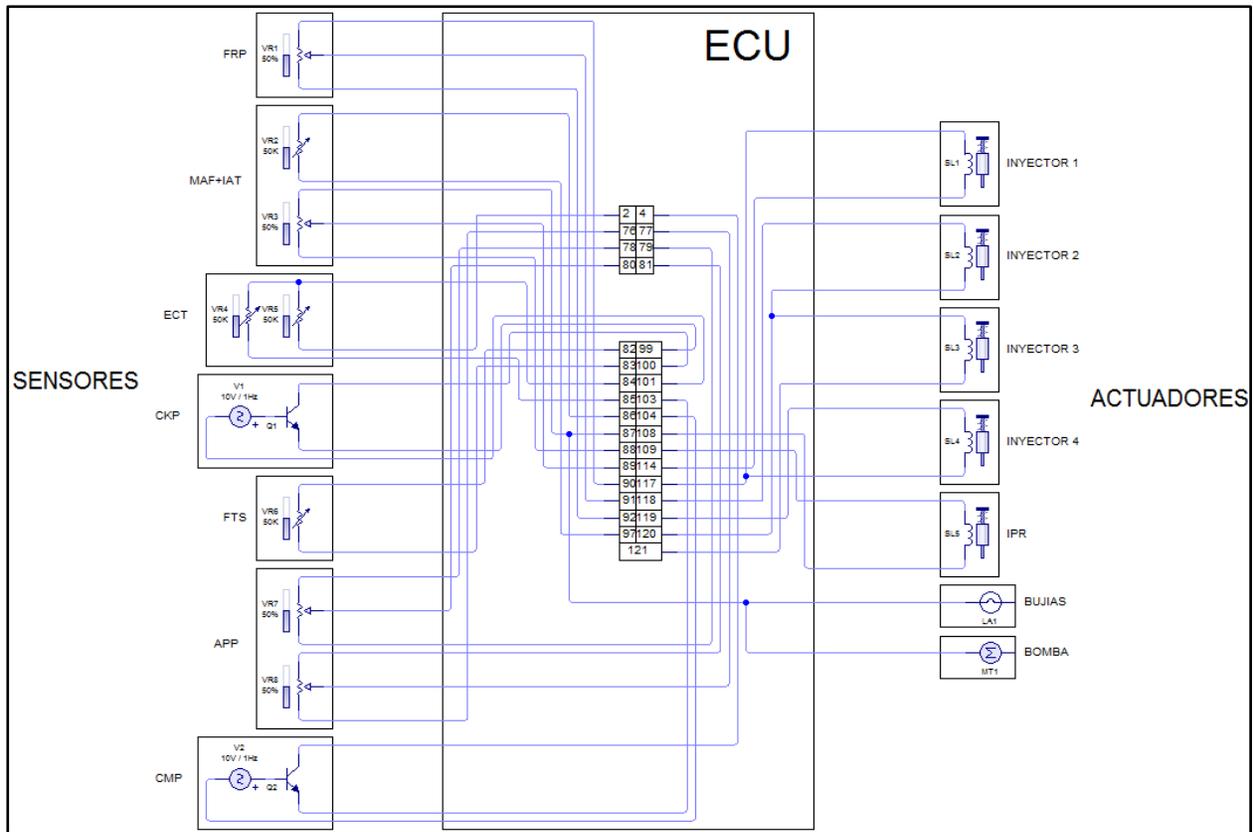


Figura 83. Diagrama eléctrico de sensores y actuadores del motor Kia 2.0L tipo D4EA.

CAPÍTULO V

5. MARCO ADMINISTRATIVO

5.1. Recursos

Para realizar la investigación, se utilizaron varios recursos, entre los que se detallan: recursos humanos, tecnológicos, materiales y financieros.

5.1.1. Recursos humanos

El desarrollo de la investigación “ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS MECÁNICOS Y ELECTRÓNICOS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ALTA PRESIÓN DEL CONJUNTO CRDI DEL MOTOR DIÉSEL KIA 2.0L TIPO D4EA”, fue realizada por las siguientes personas:

Tabla 27
Colaboradores de la investigación

ORD.	NOMBRE	DETALLE	CARRERA/DEPARTAMENTO
1	Sr. Jhonatan Molina S.	Investigador	Ingeniería Automotriz
2	MSc Germán Erazo	Director	Ciencias Energía y Mecánica
3	MSc Luis Mena	Colaborador	Ciencias Energía y Mecánica

5.1.2. Recursos Tecnológicos

Para permitir el desarrollo de la presente investigación, se utilizó varios recursos tecnológicos que se detallan a continuación:

Tabla 28
Recursos tecnológicos

ORD.	NOMBRE
1	Osciloscopio
2	Scanner Automotriz
3	Multímetro
4	Detector de imágenes
5	Computadora
6	Celular

5.1.3. Recursos Materiales

Los recursos materiales utilizados para el desarrollo de la investigación son:

Tabla 29
Recursos Materiales

ORD.	NOMBRE
1	Motor Kia 2.0l Tipo D4ea
2	Cigarrillera de Auto
3	Combustible
4	Fuente de alimentación

5.2. Análisis de costos de la investigación

Para el desarrollo de la investigación se consideran costos realizados, tales como, costos de materiales y equipos necesarios para la obtención de datos en las pruebas, construcción del banco de pruebas, costo del motor, costo de pruebas para la obtención de los parámetros de funcionamiento del motor.

5.2.1. Costo de la Construcción del Banco de pruebas

Para la construcción del banco de pruebas es necesario la adquisición de materiales, a continuación, se detalla los elementos requeridos:

Tabla 30

Costo de la Construcción del banco de pruebas

Descripción	Cantidad	Valor U. \$	Valor Total \$
Motor Kia 2.0l Tipo D4ea	1	6000	6000
Tubos metálicos	7	15	105
Electrodos	5lb	3	15
Ruedas	5	6	30
Pintura	1/4gl	28	7
Thinner	2lt	1.50	3
Pernos	24	0.50	12
Laca	1/2gl	40	20
Cauchos	4	1.50	6
Madera	1	32	32
Borneras	50	0.10	5
Batería	1	75	75
Manguera de Admisión	1	24	24
Manguera de la tapa válvulas	1	15	15
Fibra de vidrio	1m ²	5	5
Resina	1/4gl	3	3
Sikaflex	1	12	12
Taípe	6	1	6
Filtro de aire	1	13	13
Disco de desbaste	1	5	5
Brocas	2	1.50	3
Estilete	1	1	1

CONTINÚA



Alicate	1	6	6
Seguros de inyectores	4	0.50	2
Lijas	8	1	8
Bisagras	2	1.50	3
Interruptor	1	2	2
Banda de accesorios	1	10	10
Pegamento instantáneo	5	0.50	2.50
Brocha	1	2	2
Guaípe	10	0.25	2.50
Cadena	1m	3	3
Aldaba	1	4.50	4.50
Cigarrillera de auto	1	5	5
Refrigerante	1gl	5	5
Pegamento blanco	1/4gl	4	1
Depósito de combustible	1	2	2
		TOTAL	6455.50

5.2.2. Costo de las pruebas

En costo de las pruebas se presentará, el gasto en combustible como el transporte:

Tabla 31

Costo de las pruebas

Descripción	Cantidad	Valor U. \$	Valor Total \$
Combustible (Diesel)	10 gl,	1.05	10.50
Motor de Arranque	1	35	35
		TOTAL	45.50

5.2.3. Costo total de la investigación

Además de los gastos ya mencionados anteriormente, se deben añadir gastos de movilización, recursos utilizados en el desarrollo de la investigación:

Tabla 32
Costo total de la investigación

Descripción	Valor \$
Construcción del banco de pruebas	6455.50
Pruebas	45.50
Costo de Movilización	300
Alimentación	200
Costo de movilización del banco	60
Otros	35
Total	7196

CONCLUSIONES

- Se investigó en bases digitales como google académico, manuales de Denso, manuales de Bosch, manuales de Delphi, libros, tesis, con las cuales se pudo desarrollar la investigación.
- Se realizó el análisis respectivo sobre el funcionamiento característico del sistema de alta presión del conjunto CRDI.
- Se construyó el banco de pruebas para el motor diésel Kia 2.0L CRDI tipo D4EA, el mismo que sirve como instrumento de estudio en tiempo real sobre los componentes del sistema de inyección CRDI.
- Se elaboró el protocolo de pruebas, con el cual se pudo analizar el funcionamiento de los actuadores del sistema de control electrónico como inyectores, válvula IPR, bujías de precalentamiento y bomba de baja presión, realizados a ralentí, 1500rpm y 2500rpm del motor.
- Se obtuvo valores de voltaje en los inyectores, la válvula IPR, las bujías de precalentamiento y la bomba de baja presión.
- Se obtuvo los DTC correspondientes a los actuadores del sistema de alta presión y la descripción de los mismos por medio del escáner AUTOBOSS V-30, con el mismo instrumento se borraron los códigos de falla.
- Se realizó la prueba de caudal de retorno en los inyectores, con lo que se comprobó que el inyector número cuatro retorna mayor cantidad de combustible al depósito.
- Se realizó un diagnóstico por imágenes de los actuadores por medio del generador de imágenes FADOS9F1, con el que se comprobó de que está compuesto cada actuador y si existe un fallo en los mismo.

- Se analizaron los datos resultantes en las pruebas de los componentes del sistema de inyección electrónica CRDI, con lo que se obtuvo los valores de tiempo, voltaje y curvas características en los oscilogramas de cada uno de los actuadores.
- Los inyectores que se usan en el motor diésel Kia 2.0L CRDI tipo D4EA, son electromagnéticos, trabajan con un voltaje de 20.01V hasta 20.2V y una corriente de 15A hasta 18A.
- La válvula IPR es de accionamiento por control negativo, esto lo controla la ECU, enviando pulsos para que la válvula se abra o se cierre, el voltaje de la misma se mantiene en 14.8V hasta que la ECU envía la señal y baja a 0V por un cierto tiempo para luego volver a los 14.8V.
- Se determinó que el inyector número cuatro no presenta ningún fallo electrónico, pero puede tener un fallo mecánico, ya que en la prueba de retorno de combustible este envía demasiado al depósito.
- Se optimizó las operaciones de diagnóstico como también la localización de fallas por medio de instrumentos de medición y diagnóstico automotriz.

RECOMENDACIONES

- Revisar los niveles de aceite, refrigerante, combustible y comprobar el voltaje de batería antes de encender el motor.
- Calibrar correctamente las escalas de tiempo y voltaje en el osciloscopio para poder visualizar de mejor manera la gráfica generada por cada actuador, caso contrario se puede observar una señal errónea.
- Para realizar la prueba de comprobación por imágenes se debe desconectar la batería para evitar cualquier fallo, posteriormente se debe medir directamente en los terminales del conector (socket) de cada elemento.
- Cuando se han finalizado las pruebas o el uso del motor y se va mantener apagado por un prolongado tiempo, se recomienda desconectar la batería para evitar que se descargue la misma.
- Realizar mantenimiento a los inyectores, debido a que en la prueba de caudal de retorno se encuentran enviando una alta cantidad de combustible al depósito, especialmente el inyector número cuatro.
- Para realizar la prueba de retorno del caudal de combustible, asegurarse de colocar los seguros de los inyectores en la parte del retorno, caso contrario al realizar las pruebas por la alta presión que se maneja se desprenderán los acoples de las mangueras.
- Para realizar las mediciones de corriente con la pinza amperimétrica Brain Bee se debe tener en cuenta el sentido de la flecha que posee la misma, la cual tiene que estar en dirección hacia el inyector.

BIBLIOGRAFÍA

- Allaica Tzetzta, C. W., & Condor Robalino, M. R. (2014). *Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*. Recuperado el 03 de 15 de 2019, de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/7330/1/T-ESPEL-MAI-0445.pdf>
- Armas Pozo, B. D., & Vaca Rosero, G. D. (29 de Mayo de 2014). *Repositorio Digital Universidad Técnica del Norte*. Recuperado el 15 de 03 de 2019, de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/3406/1/05%20FECYT%201706%20TESIS.pdf>
- Barros Fajardo, L. F., & Omar, P. M. (Enero de 2016). *Repositorio Digital - EPN* . Recuperado el 17 de 03 de 2019, de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/15360/1/CD-7056.pdf>
- Batallas Espinoza, J. A. (09 de Noviembre de 2017). *Repositorio Digital USFQ*. Recuperado el 13 de 03 de 2019, de <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/7011/1/133495.pdf>
- Beru. (2002). *Toodo sobre bujias de incandescencia*. Obtenido de <https://www.grovisa.com/grovisa/mybox/cms/1810.pdf>
- Bosch. (2005). *Sistema de inyeccion diesel por acumulador common rail*. Reverté.
- Bosch, R. (1999). *Manual de la tecnica del automovil*. Reverté.
- Bosch, R. (2002). *Los sensores en el automovil*. Reverté.
- Bosch, R. (2002). *Regulacion electrónica Disel (EDC)*. Reverté.
- Cabezas Bejarano, C. A., & Freire Poveda, E. D. (2018). *Repositorio de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE*. Recuperado el 20 de 03 de 2019, de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/14029/1/T-ESPEL-MAI-0619.pdf>
- Castillejo Calle, A. (2014). *Sistemas de Inyección en Motores Diesel*. Sevilla, España.
- Correa Gárate, A. J., & Muñoz Vizhñay, F. (Diciembre de 2016). *Dspace de la Universidad del Azuay*. Recuperado el 18 de 03 de 2019, de <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/6856/1/12827.pdf>
- Delphi. (2007). *Manual common rail, principios de funcionamiento* (Vol. 1). (D. F. SAS, Ed.) Francia: Delphi France SAS.
- Denso. (2007). *Sistema common rail*. Japon: DENSO CORPORATION.

Garófalo Guzmán, A. R. (2017). *Análisis de la variación de presiones de funcionamiento de la inyección CRDI del motor J3 del Hyundai Terracan GL EX*. Guayaquil.

Kia, M. (2005). *COMMON RAIL-Delphi Manual de entrenamiento de servicio*. Santiago: Kia Motors.

Millares, J. (1986). *Motor Diesel Inyección y Combustión*. Barcelona.

Morán Vega, C. H., & Passo Guamangate, M. R. (06 de Junio de 2016). *Repositorio de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/12412/1/T-ESPEL-MAI-0549.pdf>

Ruiz, R. (2007). *El método científico y sus etapas*. Ciudad de México.



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por el señor MOLINA SANTAMARÍA JHONATAN JAVIER.

En la ciudad de Latacunga a los 20 del mes de junio de 2019.

Ing. German Erazo
DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Danilo Zambrano
DIRECTOR DE LA
CARRERA

Aprobado por:



Ab. Darwin Albán
SECRETARIO ACADÉMICO