



**Implementación de módulo de pruebas y entrenamiento del subsistema de control
hidráulico y de actuadores de inyección diésel riel común CRDI**

Alvarado Heredia, Paul Alexander y Proaño Ulloa, Fernando Santiago

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz

Ing. Erazo Laverde, Washington Germán, MSc.

23 de febrero de 2023

Latacunga

Reporte de verificación de contenido

Document Information

Analyzed document	Tesis_Fernando Proaño V2.pdf (D159371423)	
Submitted	2023-02-24 02:35:00	 <p>Firmado digitalmente por WASHINGTON GERMAN ERAZO LAVERDE</p>
Submitted by	Cristian Laverde	
Submitter email	claverde@uteq.edu.ec	
Similarity	1%	
Analysis address	claverde.uteq@analysis.arkund.com	

Sources included in the report

W	URL: https://www.denso-am.eu/es/products/diesel-components/inyector-de-common-rail Fetched: 2023-02-24 02:35:00	 2
----------	--	---

Entire Document

Implementación de módulo de pruebas y entrenamiento del subsistema de control hidráulico y de actuadores de inyección diésel riel comun CRDI Proaño Ulloa, Fernando Santiago Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica Carrera de Ingeniería Automotriz Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz Ing. Erazo Laverde, Washington German, MSc. 23 de febrero de 2023 Latacunga
2 Reporte de verificación de contenido

Certificación



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: "Implementación de módulo de pruebas y entrenamiento del subsistema de control hidráulico y de actuadores de inyección diésel riel común CRDI" fue realizado por los señores Alvarado Heredia, Paul Alexander y Proaño Ulloa, Fernando Santiago; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 24 de febrero del 2023



Ing. Erazo Laverde, Washington Germán

C. C.: 0501432637

Responsabilidad de autoría



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Carrera de Ingeniería Automotriz

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Alvarado Heredia, Paul Alexander** y **Proaño Ulloa, Fernando Santiago**, con cédulas de ciudadanía n°1723948483 y n°1725484792, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Implementación de módulo de pruebas y entrenamiento del subsistema de control hidráulico y de actuadores de inyección diésel riel común CRDI** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 24 de febrero del 2023

Alvarado Heredia, Paul Alexander

C.C.: 1723948483

Proaño Ulloa, Fernando Santiago

C.C.: 1725484792

Autorización de publicación



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Autorización de Publicación

Nosotros **Alvarado Heredia, Paul Alexander** y **Proaño Ulloa, Fernando Santiago**, con cédulas de ciudadanía n°1723948483 y n°1725484792, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Implementación de módulo de pruebas y entrenamiento del subsistema de control hidráulico y de actuadores de inyección diésel riel común CRDI** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 24 de febrero del 2023

Alvarado Heredia, Paul Alexander

C.C.: 1723948483

Proaño Ulloa, Fernando Santiago

C.C.: 1725484792

Dedicatoria I

Este logro va dedicado primeramente a Dios quien siempre me cuidó y me dio fortaleza en los momentos más difíciles por los que atravesé en mi vida universitaria.

A mi madre Margot Heredia, pues sin ella no lo habría logrado ya que a pesar de mis errores siempre confió en mí y me brindó su apoyo incondicional para que alcance todos mis objetivos y metas académicas.

A mi padre, Ernesto Alvarado. que me enseñó a ser fuerte mentalmente y que con esfuerzo se puede conseguir todo lo que deseemos. Estoy agradecido por sus consejos y firmeza.

A mi tío Edgar Heredia, por brindarme de sus conocimientos y hacerme parte de ellos.

A mis hermanos: Doménica, Ariel y Nadia, que, entre risas y peleas, fueron un gran apoyo durante mi trayecto en la universidad, esto no habría sido posible sin sus palabras de aliento, que muchas veces me levantaron y me hicieron esforzarme para seguir adelante.

A mi mascota, Toby, por la ternura y felicidad brindada durante estos años.

Alvarado Heredia Paul Alexander

Dedicatoria II

A mis padres Fernando Proaño Salazar y Normita Ulloa quienes siempre confiaron en mí y me apoyaron para que este logro sea una realidad en mi vida.

A mis hermanos Marlon y Demi con quienes he compartido muchos momentos especiales en mi vida y durante todo lo que fue mi etapa universitaria.

A Johana Maribel Vallejo quien estuvo siempre pendiente, animándome y apoyándome durante la etapa final de mis estudios.

Proaño Ulloa Fernando Santiago

Agradecimientos I

Agradezco a mis padres que siempre me han brindado su apoyo incondicional para poder cumplir todos mis objetivos personales y académicos.

Agradezco a los ingenieros docentes, a todos ellos les quiero agradecer por transmitirme los conocimientos necesarios para hoy poder estar aquí. Sin ustedes los conceptos serían solo palabras, y las palabras ya sabemos quién se las lleva, el viento

A mis amigos, que me brindaron su confianza y me ayudaron en todo lo que necesite a lo largo de mi paso por la universidad. Gracias por las horas compartidas, los trabajos realizados en conjunto y las historias vividas.

Por último, agradezco a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE por brindarme los mejores años de mi vida ya que me permitió conocer amigos, compañeros y profesores extraordinarios que hicieron que mi estancia en la universidad la mejor.

Gracias infinitas a ustedes y, por supuesto, a Dios, por ponerlos en mi camino.

Alvarado Heredia Paul Alexander

Agradecimientos II

Agradezco a Dios por permitirme alcanzar este logro en mi vida, se han presentado muchos obstáculos durante mi etapa universitaria, pero gracias a Dios la he podido culminar.

A mi padre Fernando Proaño Salazar quien ha sido el apoyo incondicional para mi carrera universitaria que en algún momento fue un sueño ahora sea una realidad.

A mi madre Normita Ulloa por haber estado conmigo en cada momento de lo que fue mi etapa universitaria, gracias a su apoyo se pudo alcanzar este logro.

A mis hermanos Marlon y Demi que conocen y han estado conmigo durante el duro camino hacia este logro, gracias por todo el apoyo.

A todos los docentes quienes compartieron sus conocimientos durante mis estudios universitarios, gracias por todas las enseñanzas y consejos que de ahora en adelante serán parte de mi vida profesional.

Proaño Ulloa Fernando Santiago

ÍNDICE DE CONTENIDO

Carátula.....	1
Reporte de verificación de contenido	2
Certificación	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria I	6
Dedicatoria II	7
Agradecimientos I.....	8
Agradecimientos II.....	9
Índice de contenido	10
Índice de figuras	15
Índice de tablas.....	17
Resumen.....	19
Abstract	20
Capítulo I: Generalidades	21
Antecedentes investigativos	21
Planteamiento del Problema	22
Descripción Resumida del proyecto	23
Justificación e Importancia	24
Objetivos.....	26

<i>Objetivo General</i>	26
<i>Objetivos Específicos</i>	26
Metas	26
Hipótesis	26
Variables de investigación	26
<i>Variable Independiente</i>	26
<i>Variable dependiente</i>	27
Capítulo II: Marco teórico	29
Sistema Common Rail	29
Sistema de inyección electrónica CRDI	30
<i>Bomba de combustible del depósito</i>	32
<i>Filtro separador combustible</i>	33
<i>Bomba de alta presión tipo HP0</i>	33
<i>Bomba de alta presión tipo HP2</i>	34
<i>Bomba de alta presión tipo HP3</i>	36
<i>Bomba de alta presión tipo HP4</i>	37
<i>Funcionamiento de la bomba de alta presión</i>	38
<i>Válvula de control de succión SCV</i>	39
<i>Válvula reguladora de presión IPR</i>	40
<i>Acumulador de presión</i>	41
Inyector electrónico CRDI	42

<i>Inyector Solenoide Denso</i>	43
<i>Inyector Piezoeléctrico Denso</i>	44
<i>Funcionamiento del inyector</i>	45
Ventajas del sistema de inyección CRDI	47
Capítulo III: Implementación y pruebas del módulo de inyección CRDI	48
Requerimientos.....	48
Estructura metálica	48
Sistema hidráulico de baja presión.....	49
Sistema hidráulico de alta presión	50
<i>Riel común CRDI</i>	51
<i>Sistema de regulación de alta presión</i>	51
<i>Inyectores DENSO</i>	52
Cilindros de pulverización.....	52
Retorno de combustible	53
Subsistema de control electrónico	55
Módulo de pruebas.....	55
Protocolo de pruebas.....	56
<i>Multímetro automotriz TRUPER MUT-105</i>	56
<i>Generación de valores de voltaje con multímetro</i>	58
<i>Osciloscopio automotriz G-Scope 2</i>	58
<i>Generación de señales de actuadores con osciloscopio</i>	59

<i>Pinza amperimétrica</i>	60
<i>Medición de valores con pinza amperimétrica</i>	61
<i>Medidor de retorno de combustible</i>	61
Capítulo IV: Análisis de resultados y pruebas del sistema CRDI	63
Distribución de pines ECU Hino J05D/J08E.....	63
Conexión de pines ECU	67
Testeo de actuadores del sistema CRDI.....	68
<i>Bomba baja presión</i>	68
<i>Válvula IPR</i>	70
<i>Sensor FRP</i>	71
<i>Inyectores</i>	73
Prueba de retorno de combustible	75
Códigos de diagnóstico DTC	76
Capítulo V: Marco administrativo	78
Factibilidad del proyecto	78
Recursos Humanos	78
Recursos Materiales.....	78
Recursos Tecnológicos	79
Costo neto del proyecto	80
Capítulo VI: Conclusiones y recomendaciones	81
Conclusiones	81

Recomendaciones	83
Bibliografía	84
Anexos	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Planteamiento del problema</i>	23
Figura 2	<i>Componentes del sistema CRDI</i>	31
Figura 3	<i>Filtro separador combustible Delphi</i>	33
Figura 4	<i>Bomba de alta presión tipo HP0</i>	34
Figura 5	<i>Bomba de alta presión tipo HP2</i>	35
Figura 6	<i>Bomba de alta presión Denso HP3</i>	36
Figura 7	<i>Bomba de alta presión Denso HP4</i>	37
Figura 8	<i>Funcionamiento de la bomba de alta presión</i>	38
Figura 9	<i>Válvula SCV de la bomba Denso HP3</i>	40
Figura 10	<i>Válvula reguladora de presión en el sistema CRDI</i>	41
Figura 11	<i>Riel o acumulador de presión</i>	42
Figura 12	<i>Inyector CRDI Denso</i>	43
Figura 13	<i>Inyector Denso solenoide</i>	44
Figura 14	<i>Inyector Denso Piezoeléctrico</i>	45
Figura 15	<i>Motor trifásico 220V implementado en la estructura</i>	49
Figura 16	<i>Depósito de combustible</i>	49
Figura 17	<i>Bomba de alta presión Denso HP3</i>	50
Figura 18	<i>Riel de inyectores Denso</i>	51
Figura 19	<i>Manómetro de alta presión del subsistema de control hidráulico</i>	51
Figura 20	<i>Inyectores Denso 6593</i>	52
Figura 21	<i>Cilindros de pulverización</i>	53
Figura 22	<i>Medidor de retorno de combustible</i>	54
Figura 23	<i>Probetas del subsistema de control hidráulico</i>	54
Figura 24	<i>Subsistema de control electrónico</i>	55
Figura 25	<i>Módulo de pruebas y entrenamiento de inyección diésel riel común CRDI</i>	56

Figura 26	<i>Multímetro automotriz MUT-105 TRUPER</i>	57
Figura 27	<i>Osciloscopio automotriz G-Scope 2</i>	59
Figura 28	<i>Pinza amperimétrica</i>	61
Figura 29	<i>Medidor de retorno de combustible</i>	62
Figura 30	<i>Distribución de pines Hino J05D/J08E 2007</i>	63
Figura 31	<i>Esquema eléctrico ECU Hino J05D/J08E modelo 2004, 2007</i>	67
Figura 32	<i>Pines ECU Hino J05D/J08E etiquetados</i>	68
Figura 33	<i>Circuito bomba baja presión</i>	69
Figura 34	<i>Circuito válvula IPR</i>	70
Figura 35	<i>Circuito sensor FRP</i>	71
Figura 36	<i>Curva característica del sensor FRP, presión vs voltaje</i>	73
Figura 37	<i>Circuito inyectores CRDI</i>	73
Figura 38	<i>Caudal de retorno de combustible</i>	75
Figura 39	<i>Probetas de caudal inyectores y retorno</i>	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Control hidráulico y actuadores CRDI</i>	27
Tabla 2	<i>Desarrollo de pruebas para el diagnóstico efectivo</i>	28
Tabla 3	<i>Estados del inyector durante la inyección</i>	46
Tabla 4	<i>Parámetros técnicos del inyector DENSO</i>	46
Tabla 5	<i>Características de la bomba Denso HP3</i>	50
Tabla 6	<i>Características del multímetro automotriz MUT-105 TRUPER</i>	57
Tabla 7	<i>Protocolo de utilización del multímetro automotriz MUT-105 TRUPER</i>	58
Tabla 8	<i>Características del osciloscopio automotriz G-Scope 2</i>	58
Tabla 9	<i>Protocolo de utilización del osciloscopio automotriz G-Scope 2</i>	59
Tabla 10	<i>Características de la pinza amperimétrica</i>	60
Tabla 11	<i>Protocolo de utilización de la pinza amperimétrica</i>	61
Tabla 12	<i>Protocolo de utilización del medidor de retorno</i>	62
Tabla 13	<i>Descripción de pines conector A - ECU Hino J05D/J08E</i>	63
Tabla 14	<i>Descripción de pines conector B - ECU Hino J05D/J08E</i>	64
Tabla 15	<i>Descripción de pines conector C - ECU Hino J05D/J08E</i>	65
Tabla 16	<i>Descripción de pines conector D - ECU Hino J05D/J08E</i>	65
Tabla 17	<i>Descripción de pines conector E - ECU Hino J05D/J08E</i>	66
Tabla 18	<i>Datos obtenidos de la Bomba baja presión – ECU Hino</i>	69
Tabla 19	<i>Datos obtenidos de la válvula IPR – ECU Hino</i>	70
Tabla 20	<i>Datos obtenidos del sensor FRP – ECU Hino.</i>	72
Tabla 21	<i>Valores de presión vs voltaje del sensor FRP</i>	72
Tabla 22	<i>Datos obtenidos Inyectores – ECU Hino</i>	74
Tabla 23	<i>Códigos de diagnóstico DCT Hino J05D/J08E</i>	76
Tabla 24	<i>Recursos Humanos</i>	78
Tabla 25	<i>Recursos Materiales</i>	79

Tabla 26	<i>Recursos Tecnológicos</i>	79
Tabla 27	<i>Costo total del proyecto</i>	80

Resumen

En el proyecto “Implementación de módulo de pruebas y entrenamiento del subsistema de control hidráulico y de actuadores de inyección diésel riel común CRDI”, se realizó la implementación del circuito de control de actuadores CRDI con los sistemas hidráulicos de alta y baja presión realizando el control del pulso de inyección mediante la ECU del sistema CRDI. Para lo cual se recopiló información del subsistema de control hidráulico y de actuadores de inyección diésel riel común CRDI a través de fuentes bibliográficas e información técnica especializada referentes a sistemas de inyección diésel riel común. De la misma manera se seleccionó los elementos eléctricos, electrónicos y mecánicos hidráulicos para la medición de los parámetros de los inyectores. Se instaló el sistema hidráulico de inyección diésel riel común CRDI fijando los componentes a la estructura del módulo con las respectivas conexiones hidráulicas de alta y baja presión para el flujo del combustible. Se procedió al análisis el funcionamiento del subsistema de control hidráulico diésel riel común para recolectar la información deseada relacionada con el mal funcionamiento de los actuadores y verificar su correcto funcionamiento mediante el uso del osciloscopio en los sistemas CRDI. Se estableció un protocolo de pruebas a fin de establecer el desempeño mecánico y eléctrico de inyectores CRDI mediante información relevante basada en las pruebas de funcionamiento de los inyectores.

Palabras clave: CRDI, alta presión, inyectores, modulo control electrónico.

Abstract

In the project "Implementation of the test and training module of the hydraulic control subsystem and CRDI common rail diesel injection actuators", the implementation of the CRDI actuator control circuit was carried out with the high- and low-pressure hydraulic systems, performing the control of the injection pulse by the ECU of the CRDI system. For which information on the hydraulic control subsystem and CRDI common rail diesel injection actuators were collected through bibliographic sources and specialized technical information regarding common rail diesel injection systems. In the same way, the electrical, electronic and hydraulic mechanical elements were selected for the measurement of the parameters of the injectors. The CRDI common rail diesel injection hydraulic system was installed, fixing the components to the module structure with the respective high- and low-pressure hydraulic connections for fuel flow. The operation of the common rail diesel hydraulic control subsystem was analyzed to collect the desired information related to the malfunction of the actuators and verify its correct operation through the use of the oscilloscope in the CRDI systems. A test protocol was established in order to establish the mechanical and electrical performance of CRDI injectors through relevant information based on the injector performance tests.

Key words: CRDI, high pressure, injectors, electronic control module.

Capítulo I

Generalidades

Antecedentes investigativos

En el campo automotriz existe una evolución continua de los motores de combustión interna que deben cumplir exigentes normas ambientales en cuanto a emisión de gases contaminantes, gracias a los avances tecnológicos, los motores han evolucionado con el tiempo haciendo que hoy en día los motores sean más pequeños y eficientes.

Los sistemas de inyección directa diésel a diferencia de otros sistemas diésel convencionales:

No poseen bombas de inyección lineal o rotativa, que se encargaban de proporcionar combustible a alta presión hacia los inyectores. El sistema genera presión constante en un conducto común, esta alta presión llega a todos y cada uno de los inyectores del motor, los cuales son comandados por la unidad de control electrónica para abrir o cerrar la aguja del inyector. (Bosch, 2005, pág. 10)

Durante todo el siglo 21 a causa de los siguientes aspectos: mejor eficiencia térmica presentando valores máximos de un 48%, mayor durabilidad, menor consumo de combustible y disminución de ruido en el motor, entre las principales ventajas ante los motores de nafta. (Hernández, 2006, pág. 9)

Para Castillejo (2014) los sistemas de inyección diésel actuales “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” (pág. 4).

En un futuro los sistemas common rail podrán trabajar con valores de presión mayores a las actuales superando los 2000 bar, además:

Controlar el momento de inyección, con varias inyecciones en un mismo ciclo, como lo es la segunda generación el multijet II. Los sistemas CRDI va a ir desplazando a los tradicionales sistemas mecánicos constituyéndose en una alternativa de reducción de emisiones contaminantes, aumento de potencia y desarrollo de nuevos equipos de diagnóstico. (Coral de la Cadena, 2013, pág. 94)

Para la inyección la presión se genera mediante la bomba de alta presión que es accionada a través de banda conectada al motor, esto hace que el diésel se encuentre sometido a presión en el riel común para ser inyectado.

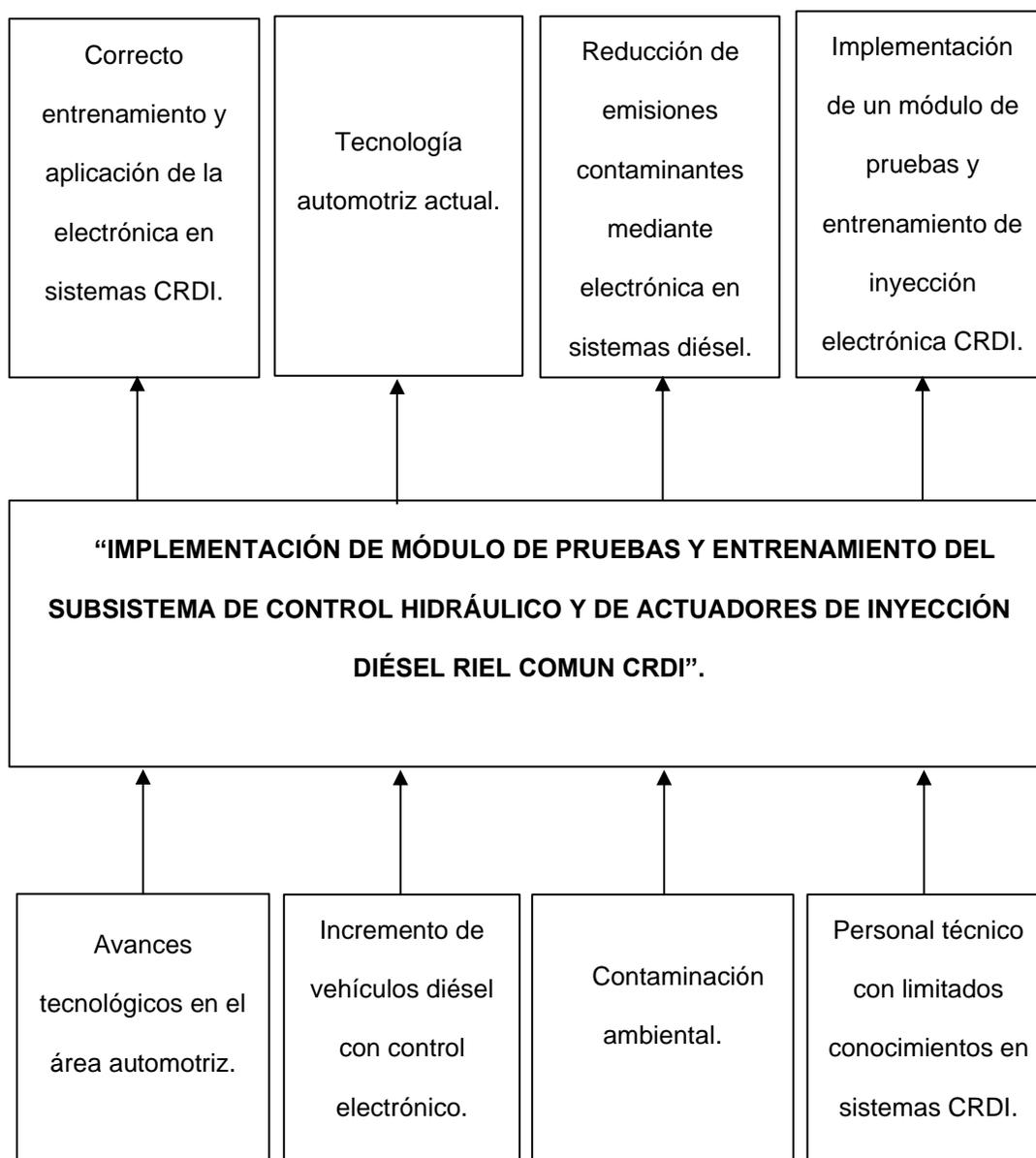
Los inyectores pulverizan el combustible directamente en la cámara de combustión del motor mientras que en el inyector la válvula de mando integrada controlada por la ECU se encarga de la apertura y cierre de la aguja del inyector.

Planteamiento del Problema

Los avances tecnológicos en los sistemas de inyección diésel evolucionan constantemente, actualmente el sistema de inyección directa por riel común permite controlar electrónicamente el suministro de combustible logrando preparar una mejor mezcla para una óptima combustión reflejado en un mayor desempeño con menor consumo de combustible.

En Ecuador vehículos livianos y de transporte pesado, poseen sistema de inyección CRDI y cada vez mayor tecnología dentro de los mismos. Por lo cual se convierte en prioridad analizar a través de investigaciones en el funcionamiento del sistema de control hidráulico y alta presión.

Los motores de combustión interna están sometidos a normas cada vez más exigentes para reducir la emisión de contaminantes ambientales con lo cual surge la necesidad de investigar el óptimo funcionamiento de los sistemas de control electrónico del sistema CRDI.

Figura 1*Planteamiento del problema***Descripción Resumida del proyecto**

La investigación de la “Implementación de módulo de pruebas y entrenamiento del subsistema de control hidráulico y de actuadores de inyección diésel riel común CRDI”, considera lo siguiente:

Se fundamentó de manera técnica el subsistema de control hidráulico y de actuadores de inyección diésel riel común CRDI a través de la consulta de fuentes bibliográficas confiables como bases de datos digitales, libros, manuales, repositorios digitales, base de datos, artículos científicos e información técnica especializada referentes a sistemas de inyección diésel riel común.

Se realizó la implementación del circuito de control de actuadores CRDI con los sistemas hidráulicos de alta y baja presión realizando el control del pulso de inyección mediante la ECU del sistema CRDI. De la misma manera se seleccionó los elementos eléctricos, electrónicos y mecánicos hidráulicos para la medición de los parámetros de los inyectores.

Se instaló el sistema hidráulico de inyección diésel riel común CRDI fijando los componentes a la estructura del módulo con las respectivas conexiones hidráulicas de alta y baja presión para el flujo del combustible.

Se procedió al análisis el funcionamiento del subsistema de control hidráulico diésel riel común para recolectar la información deseada relacionada con el mal funcionamiento de los actuadores y verificar su correcto funcionamiento mediante el uso del osciloscopio en los sistemas CRDI.

Se estableció un protocolo de pruebas a fin de establecer el desempeño mecánico y eléctrico de inyectores CRDI mediante información relevante basada en las pruebas de funcionamiento de los inyectores.

Justificación e Importancia

Los bancos de pruebas de los sistemas Common rail se encargan de verificar el estado técnico y funcional del sistema, realizando pruebas como: la medición de entrega de caudal de inyección y retorno a cada cilindro en cualquier régimen de velocidad.

Para Coral de la Cadena (2013) con la evolución de los motores diésel: "Los sistemas CRDI han mejorado el rendimiento del motor hasta en un 25%, y disminuye el ruido del mismo en un 40%" (pág.80).

El sistema CRDI entrega mayor potencia al motor del vehículo además de ser un claro ejemplo de la evolución tecnológica en motores de vehículos cuyo combustible es el diésel. Los motores diésel con sistema de alimentación CRDI obtienen mayor desempeño con un desarrollo óptimo, y una eficiencia mucho mayor.

Con el avance desarrollo de los sistemas de inyección diésel: "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" (Bosch, 2005, pág. 4).

En la mayoría de los casos cuando el sistema de inyección opera defectuosamente es a causa por el errado mantenimiento preventivo y correctivo, además de no seguir el proceso adecuado, así como los defectos de fábrica, problemas electro-mecánicos y el mal estado del combustible. Y cuando pasan desapercibidos éstos, provoca fallas en el motor como humo exagerado, inyección inestable, disminución en la potencia y ruido excesivo.

En Ecuador existe gran cantidad de vehículos que poseen sistema de inyección CRDI lo cual prioriza el analizar el funcionamiento de cada elemento de este sistema de Inyección.

Con esta investigación se obtiene información sobre el funcionamiento de los inyectores del conjunto CRDI, lo cual sirve para el entrenamiento en el diagnóstico de fallas del sistema de inyección electrónico de alta presión para así aportar a la adquisición de conocimientos sobre el correcto funcionamiento del sistema CRDI.

Objetivos

Objetivo General

Implementar el módulo de pruebas y entrenamiento del subsistema de control hidráulico y de actuadores de inyección diésel riel común CRDI

Objetivos Específicos

- Recopilar información bibliográfica de fuentes confiables acerca de inyectores CRDI y sus parámetros característicos.
- Seleccionar elementos eléctricos, electrónicos y mecánicos hidráulicos para la medición de los parámetros de los inyectores.
- Instalar el sistema hidráulico de inyección diésel riel común CRDI.
- Analizar el funcionamiento del subsistema de control hidráulico diésel riel común.
- Desarrollar un protocolo de pruebas a fin de establecer el desempeño mecánico y eléctrico del sistema CRDI.

Metas

Construir un módulo de pruebas del sistema hidráulico CRDI con un 90% de similitud al real.

Hipótesis

La implementación de un simulador hidráulico de actuadores CRDI permitirá un entrenamiento adecuado en el proceso de diagnóstico y detección de fallas del sistema.

Variables de investigación

Variable Independiente

Control hidráulico y actuadores CRDI

Tabla 1*Control hidráulico y actuadores CRDI*

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Conjunto de elementos encargados de gestionar las presiones requeridas y suministro de combustible necesario para la pulverización al momento de inyección controlada por la ECU	Académico Tecnológico	Presión de riel de combustible	[psi]	Medición	Proceso de pruebas. Registro de datos.
		Voltaje de activación válvula IPR	[V]	Medición	Proceso de pruebas. Registro de datos.
		Retorno	[cc]	Medición	Proceso de pruebas. Registro de datos.
		Caudal	[cc]	Medición	Proceso de pruebas. Registro de datos
		Pulverización	[°]	Medición	Proceso de pruebas. Registro de datos.
		Estanqueidad	[-]	Medición	Proceso de pruebas. Registro de datos.
		Voltaje de activación del inyector	[v]	Medición	Proceso de pruebas. Registro de datos.
		Corriente de activación del inyector	[A]	Medición	Proceso de pruebas. Registro de datos.

Variable dependiente

Desarrollo de pruebas para el diagnóstico efectivo

Tabla 2*Desarrollo de pruebas para el diagnóstico efectivo*

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Sistema de inyección electrónica directa para motores diésel que usan un riel común para efectuar la inyección de combustible.	Académic o tecnológic o	Presión del sistema de alimentación	[bar]	Medición	Proceso de pruebas. Modelo de práctica
		Voltajes de operación del control electrónico	[V]	Medición	Proceso de pruebas. Modelo de práctica
		Códigos para el autodiagnóstico	[DTC] (Diagnostic Trouble Code)	Medición	Proceso de pruebas. Modelo de práctica
		Módulo electrónico	[V]	Medición	Proceso de pruebas. Modelo de práctica

Capítulo II

Marco teórico

Sistema Common Rail

Denso (2007) afirma que “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” (pág. 4).

Castillejo (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. (pág. 86)

Bosch (1999) en el manual de la técnica del automóvil menciona que “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).

Bosch (2004) indica que:

A nivel mundial hay una imperiosa necesidad de mejorar la economía de combustible de los vehículos de los vehículos con el fin de prevenir el calentamiento global y de reducir las emisiones de los gases de escape que afectan la salud humana. Los vehículos con motor diésel son muy apreciados en Europa por la economía de combustible que ofrecen. (pág. 1)

Denso (2004) indica que:

La generación de presión y el control de inyección son independientes, la ECU controla la cantidad y el calado de inyección con un alto grado de precisión, es incluso posible múltiples inyecciones de combustible en una sola carrera de inyección, con ello garantiza una presión de inyección estable a cualquier régimen del motor, como consecuencia las emisiones de gases de escape son menores y más limpias consiguiendo un mayor rendimiento del motor. (pág. 7)

Sistema de inyección electrónica CRDI

En sistema de Riel Común, una bomba mecánica es accionada por el motor de combustión interna, la misma que absorbe el combustible del depósito y lo envía a la bomba de alta presión, la misma que envía a un conducto distribuidor. Los componentes están unidos a los inyectores por cañerías que soportan altas presiones de combustibles de hasta 1350 bares. La ECU controla el proceso recibiendo la señal de varios sensores para dar la apertura de cada inyector.

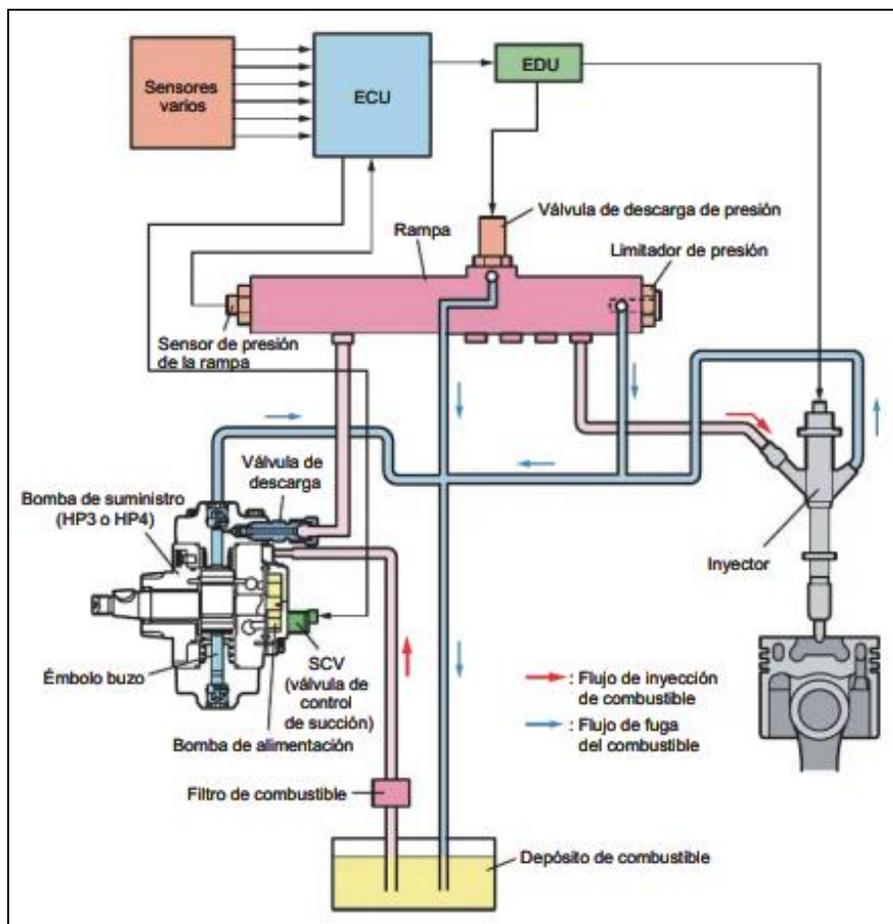
Gudiño (2016) menciona que el riel común: “Es un sistema en el que se tiene un solo riel, el cual acumula combustible previo a la inyección según el orden de encendido del vehículo, este sistema resta algunas ventajas en comparación a los sistemas anteriores de inyección Diesel” (pág.47).

En los sistemas de inyección directa común riel la presión del combustible está a disposición del requerimiento del motor. Millares (1986) menciona que “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” (pág. 84).

La presión en el riel debe ser constante, ya que es regulada por medio de una válvula que permite a la presión no exceder ni tampoco ser deficiente. Armas y Vaca (2013) afirma que “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” (pág.26).

Figura 2

Componentes del sistema CRDI.



Nota. Tomado de Manual de servicio funcionamiento Common Rail System (p.8), por Denso, 2004.

Para Barros y Omar (2016) el desgaste de los componentes del sistema CRDI, puede producir: “Un aumento de emisiones contaminantes, pérdida en el rendimiento y potencia del motor originado por: mantenimientos inadecuados, calidad del diésel deficiente, no cambiar los filtros de combustible periódicamente, altas revoluciones del motor” (pág. 11).

El sistema común rail se 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, retorno de combustible, válvula reguladora de presión (IPR) y la bomba de alta presión. (Bosch, 2005, pág. 7)

Bomba de combustible del depósito

Kia Motors (2005) en el manual de entrenamiento de servicio indica que:

El circuito de baja presión para línea de retorno tiene dos funciones principales recibir el flujo de la línea de retorno de la bomba y desviarla de vuelta hacia el tanque Recibir el flujo de la línea de retorno del inyector. Esta función es ayudada por un tubo Venturi para crear un vacío en la línea de retorno.” (pág. 7)

En el manual de inyección electrónica diésel HEUI Bernal (2007) indica que:

La bomba eléctrica presuriza el combustible de 4 a 8 psi durante la marcha mínima del motor, el combustible va en línea a la carcasa del filtro secundario. El regulador de presión el mecanismo libera presión de 2.5 a 3.5 psi de la línea de presión, para retornar el combustible al depósito. (pág. 102)

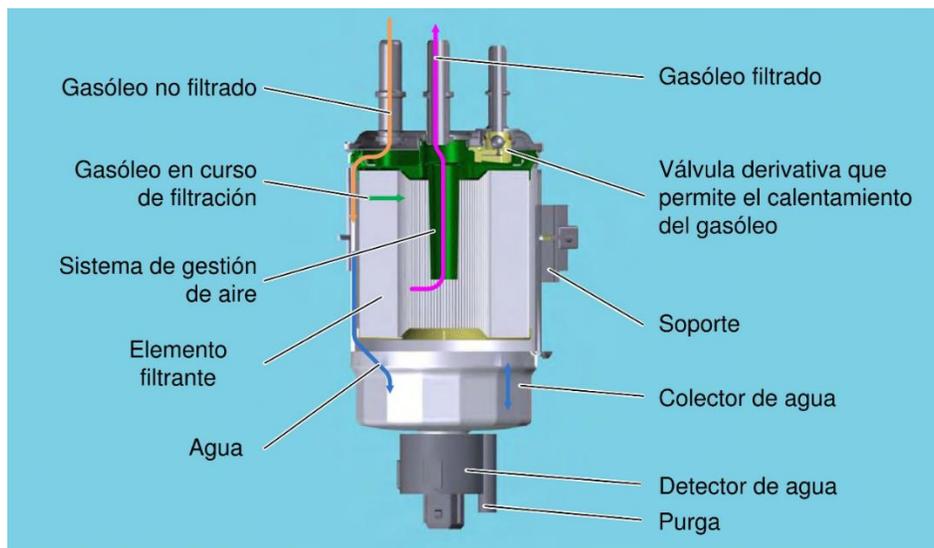
Filtro separador combustible

En el manual Delphi (2014) menciona que:

Elemento filtrante cuyo grado de filtración es de 10 μm y se coloca en el circuito de aspiración de la bomba de alta presión para protegerla de partículas de gran tamaño procedentes del depósito de combustible. Ayuda a separar el agua más densa que el carburante para prevenir daños en el funcionamiento de la bomba de alta presión y de los inyectores. (pág. 3)

Figura 3

Filtro separador combustible Delphi



Nota. Tomado de Manual Common Rail Principios de funcionamiento (p.53), por Denso, 2007.

Bomba de alta presión tipo HP0

Denso (2004) en el manual de servicio menciona que:

La bomba de suministro HP0 se compone HP0 se compone principalmente de un sistema de bombeo como el de las bombas en serie convencionales (dos cilindros), la PCV (válvula de control de la bomba) para controlar el volumen de descarga del combustible, el sensor de identificación de cilindro (sensor TDC (G) y la bomba de

alimentación. Admite el número de cilindros del motor cambiando el número de picos de la leva. La bomba de suministro gira a la a la mitad del régimen del motor. (pág. 11)

Figura 4

Bomba de alta presión tipo HP0



Nota. Tomado de Manual de servicio funcionamiento Common Rail System (p.11), por Denso, 2004.

Bomba de alta presión tipo HP2

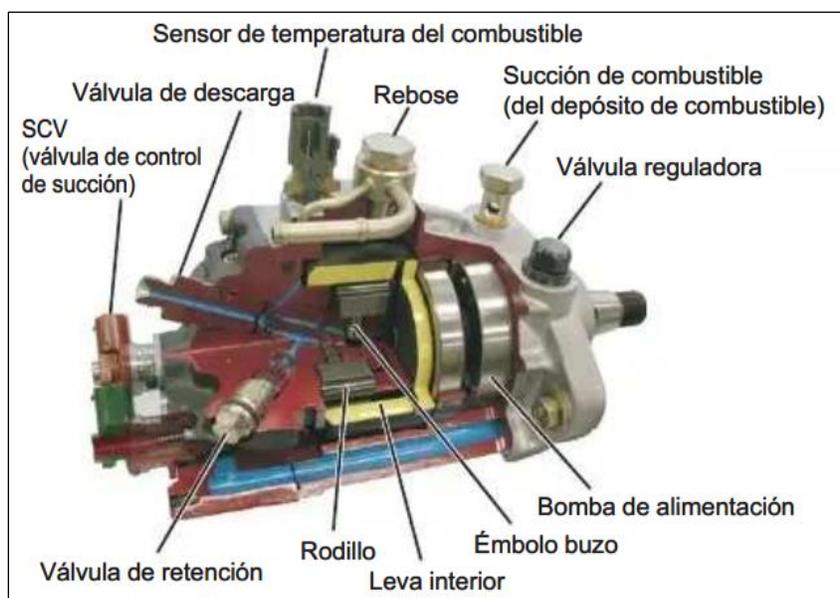
Denso (2004) en el manual de servicio menciona que:

La presión de inyección se genera mediante una bomba de alta presión accionada continuamente por el motor, el combustible sometido a presión se encuentra disponible para la inyección en el conducto común. La bomba de suministro se compone principalmente de dos sistemas de mecanismo de bombeo (leva interior, rodillo, rodillo, dos émbolos buzo), la SCV (válvula de control de succión), el sensor de temperatura del combustible y la bomba de alimentación (tipo paleta) y se activa con la mitad de la rotación del motor.

El mecanismo de bombeo consiste en una leva interior y un émbolo buzo y forma una configuración en tándem en la cual dos sistemas se disponen en forma axial, lo que hace la bomba de suministro compacta y reduce el par máximo. La cantidad de combustible que se descarga en la rampa se controla mediante el volumen de succión de combustible que utiliza el control de la SCV (válvula de control de succión). Para controlar el volumen de descarga con el volumen de succión, se eliminan las operaciones de bombeo excesivo, reduciendo así la carga de actuación y evitando el aumento de la temperatura del combustible. (pág. 18)

Figura 5

Bomba de alta presión tipo HP2



Nota. Tomado de Manual de servicio funcionamiento Common Rail System (p.26), por Denso, 2004.

Bomba de alta presión tipo HP3

La presión de inyección se genera mediante una bomba de alta presión accionada continuamente por el motor, el combustible sometido a presión se encuentra disponible para la inyección en el conducto común.

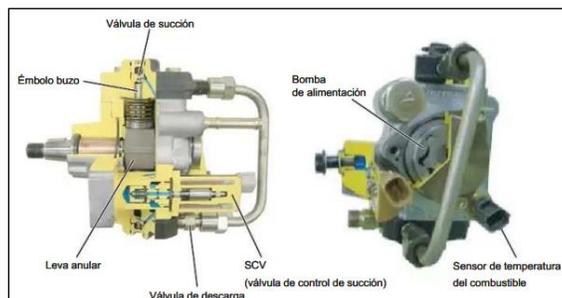
Denso (2004) en el manual de servicio menciona que:

La bomba de suministro se compone principalmente de la unidad de bomba (leva excéntrica, leva (leva excéntrica, leva anular, dos émbolos anular, dos émbolos buzo), la SCV (válvula de control de buzo), la SCV (válvula de control de succión), el sensor de temperatura del combustible y la bomba de alimentación (tipo trocoide), y se activa con una rotación o con media rotación del motor. (pág. 26)

Sus principales características son la activación con una rotación o media rotación del motor y el control de volumen de descargar de combustible para evitar el aumento de la temperatura del mismo.

Figura 6

Bomba de alta presión Denso HP3



Nota. Tomado de Manual de servicio funcionamiento Common Rail System (p.26), por Denso, 2004.

Bomba de alta presión tipo HP4

Denso (2004) en el manual de servicio menciona que:

La construcción básica de la bomba de suministro HP4 es la misma que la de HP3. La composición es también la misma que la de HP3; consta de la unidad de bomba (leva excéntrica, leva anular, émbolo buzo), la SCV (válvula de control de succión), el sensor de temperatura del combustible y la bomba de alimentación.

La diferencia principal es que hay tres émbolos buzo. Debido a que hay tres émbolos buzo, éstos están colocados a intervalos de 120° alrededor del exterior de la leva anular. Además, la capacidad de suministro de combustible es de 1,5 veces la de HP3. (pág.38)

Figura 7

Bomba de alta presión Denso HP4



Funcionamiento de la bomba de alta presión

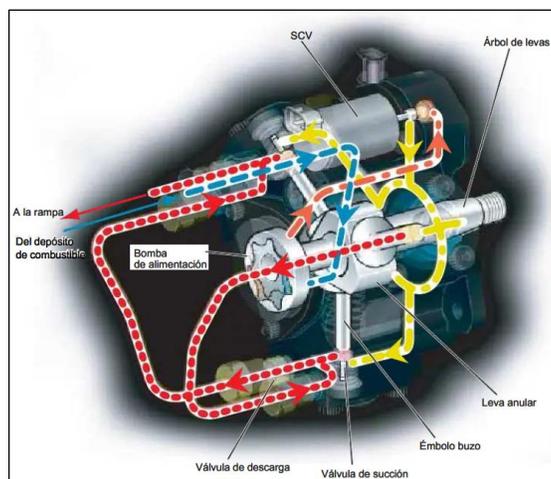
Denso (2004) en el manual de servicio menciona que:

La bomba de alimentación succiona el combustible del depósito y lo envía a la SCV. En ese momento, la válvula reguladora ajusta la presión del combustible por debajo de un cierto nivel. El volumen de descarga requerido del combustible enviado desde la bomba de alimentación se ajusta mediante la SCV y se introduce en la unidad de bomba a través de la válvula de succión. La unidad de bomba bombea el combustible hacia la rampa a través de la válvula de combustible hacia la rampa a través de la válvula de descarga.

El volumen de descarga se controla mediante la SCV. Al igual que en HP3, la apertura de válvula se ajusta mediante el control del porcentaje de servicio. La única diferencia con HP3 es la forma de la unidad de bomba. El funcionamiento y control del porcentaje de servicio. El funcionamiento y el control son esencialmente los mismos. (pág. 42)

Figura 8

Funcionamiento de la bomba de alta presión



Nota. Tomado de Manual de servicio funcionamiento Common Rail System (p.42), por Denso, 2004.

Válvula de control de succión SCV

La válvula trabaja a la entrada de la bomba de alta presión. Regula la cantidad de combustible que pasa a ser comprimida en la etapa de alta presión. La SCV puede ser normal abierta o cerrada, en caso de ser normal abierta la succión es máxima sin circulación de corriente y si es normal cerrada sin corriente no ingresa combustible a la etapa de alta presión. (Cise Electronics, 2010, pág. 35)

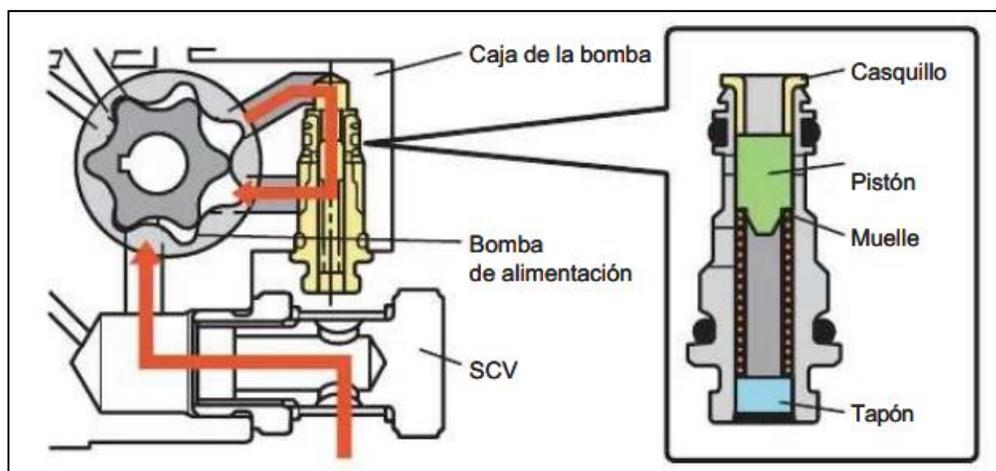
La bomba denso tipo HP3 utiliza:

Una válvula electromagnética de tipo solenoide lineal controlar el tiempo durante el cual se aplica corriente desde la ECU a la SCV (control ente desde la ECU a la SCV (control de porcentaje de servicio), y de esta forma controla el volumen de flujo de combustible al émbolo buzo a alta presión. (Denso, 2004, pág. 29)

Delphi (2007) menciona que: “La ECU determina el valor de la corriente que hay que enviar a la bobina para obtener la sección de paso requerida para alcanzar la presión solicitada en función de las condiciones de funcionamiento del motor” (pág. 45).

Figura 9

Válvula SCV de la bomba Denso HP3



Nota. Tomado de Manual de servicio funcionamiento Common Rail System (p.29), por Denso, 2004.

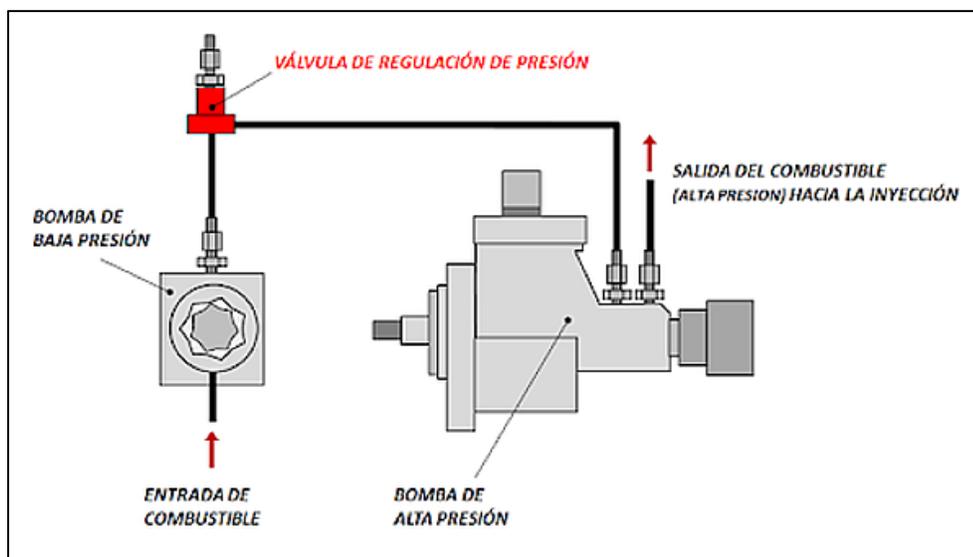
Válvula reguladora de presión IPR

Mediante la válvula reguladora de presión del lado de alta presión, refluye al circuito de baja presión el combustible excedente para la inyección. Esta regulación permite obtener una rápida adaptación de la presión existente en el conducto común, para cualquier estado de servicio del motor; a distinto régimen. (Bosch, 2005, pág. 6)

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. (Bosch, 2006, pág. 76)

Figura 10

Válvula reguladora de presión en el sistema CRDI



Nota. Tomado de El blog de los profesionales del taller [Fotografía], por Henkel, 2023, (<https://blog.reparacion-vehiculos.es/valvula-reguladora-de-presion-tipos-y-consejos-de-mantenimiento>).

Acumulador de presión

El acumulador lleva montado un sensor de presión y una válvula limitadora o reguladora de presión. El sensor de presión mide la presión del combustible, envía la señal a la ECU y esta actúa sobre la válvula reguladora para mantener la presión requerida. El acumulador debe estar lleno continuamente de combustible a presión para abastecer a los inyectores. (Castillejo, 2014, pág. 92)

Figura 11

Riel o acumulador de presión



Nota. En la figura se muestra el acumulador de presión implementado en el módulo junto con el manómetro de alta presión y válvula manual para regulación de presión.

Daimler Chrysler (2004) en el manual de servicio señala que: “Para la regulación de la presión del riel se modifica el tamaño de la sección de salida en la válvula reguladora, de acuerdo al momento de servicio y presión nominal de combustible, la unidad de control activa la válvula reguladora y regula la presión entre 250 bares y 1350 bares, el régimen de retención es necesario, para reducir la presión en el rail, mediante la apertura de la válvula reguladora de presión.” Pág. 21

Inyector electrónico CRDI

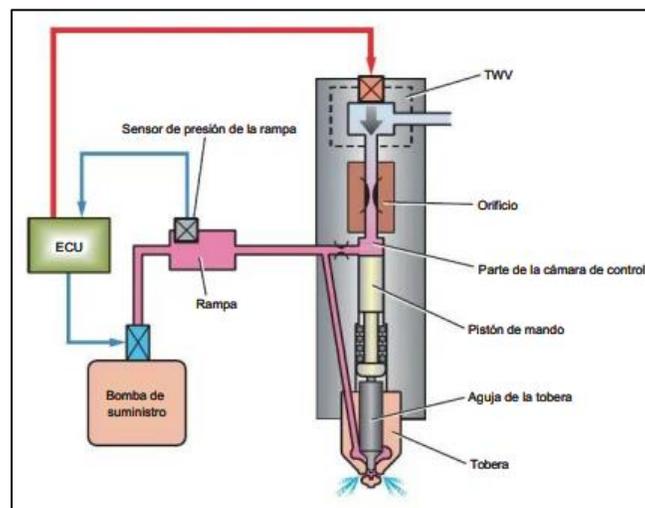
Son los encargados de dosificar o pulverizar la cantidad de combustible que ingresa a la cámara de combustión, la misma que proviene de la línea de presión, estos son comandados por la UC tipo electroválvula, que controla el tiempo de apertura de cada uno en la preinyección, inyección y post inyección. (Orozco y Garcia, 2015, pág. 2)

El manual de servicio Bosch (2004) menciona que:

El inyector inyecta el combustible a presión de la rampa en la cámara de combustión del motor al calado, volumen, relación y modelo de inyección óptimos, en función de las señales de la ECU. las señales de la ECU. El pistón de mando abre y cierra la válvula al transmitir 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. (pág.47)

Figura 12

Inyector CRDI Denso



Nota. Tomado de Manual de servicio funcionamiento Common Rail System (p.47), por Denso, 2004.

Inyector Solenoide Denso

“Los inyectores de tipo solenoide gestionan la inyección de combustible abriendo y cerrando la válvula de control con fuerza magnética, utilizando un solenoide en el actuador” (Denso, 2023, párrafo séptimo).

Figura 13*Inyector Denso solenoide*

Nota. En la figura se muestra el Inyector solenoide Denso 6593 implementado en el módulo de pruebas CRDI.

Inyector Piezoeléctrico Denso

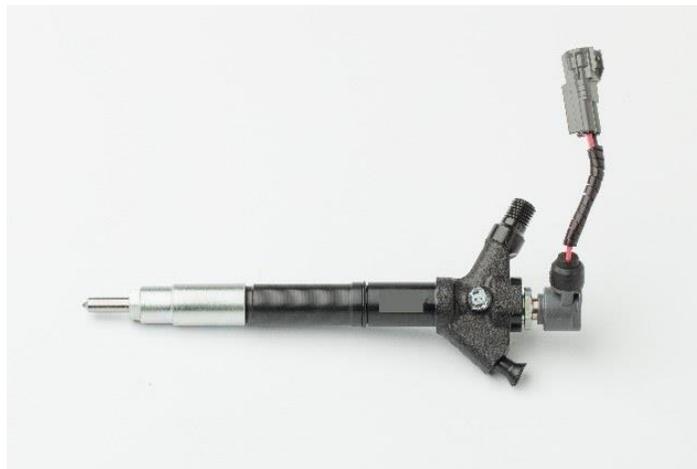
Los inyectores tipo piezo logran una respuesta más rápida que los solenoides mediante el uso de elementos piezoeléctricos en los actuadores. Los elementos piezoeléctricos trabajan convirtiendo los cambios en la tensión aplicada en expansión y contracción (desplazamiento). Una característica de los inyectores de tipo piezo son las pilas piezoeléctricas incorporadas, que colocan en capa (pila) estos elementos piezoeléctricos. (Denso, 2023, párrafo octavo)

La activación del inyector se realiza mediante la unidad de control electrónico se prescribe una tensión de activación inicial, la aplicación de la corriente se efectúa en forma de impulsos hasta alcanzar una divergencia mínima entre la tensión de referencia

y la tensión de regulación mediante la multiplicación hidráulica, la carrera del actor genera un incremento de la presión en el acoplador hasta que se elimina la igualdad de fuerzas en la válvula de mando y se abre la válvula. Tan pronto como la válvula de mando alcanza su posición final, comienza a descender la presión en la cámara de control a través de la aguja y se efectúa la inyección. (Bosch, 2005, pág. 37)

Figura 14

Inyector Denso Piezoeléctrico



Nota. Adaptado de Catalogo DENSO after market Iberia (DENSO, 2022)

Funcionamiento del inyector

Coral (2013) menciona que:

El combustible suministrado por la bomba de inyección llega a la parte superior del inyector y desciende por el canal practicado en la tobera o cuerpo del inyector hasta llegar a una pequeña cámara situada en la base, que cierra la aguja del inyector posicionado sobre un asiento cónico con la ayuda de un resorte, situado en la parte superior de la aguja, que mantiene el conjunto cerrado. El combustible, sometido a una presión muy similar al muelle, levanta la aguja y es inyectado en el interior de la cámara de combustión. Cuando la presión del combustible desciende, por haberse producido el

final de la inyección en la bomba, el resorte devuelve a su posición a la aguja sobre el asiento del inyector y cesa la inyección. (p. 48)

Tabla 3

Estados del inyector durante la inyección

Estados de servicio del inyector	Descripción
Reposo	La electroválvula no está activada en estado de reposo y por lo tanto se encuentra cerrado el estrangulamiento de salida que hace que la presión del combustible sea igual en la cámara de control.
Comienzo de la inyección	El inyector se encuentra en posición de reposo. La electroválvula se activa con la llamada corriente de excitación, que hace que abra rápidamente la electroválvula.
Abierto	El caudal de combustible es, con una presión determinada, proporcional al tiempo de conexión de la válvula electromagnética y es independiente del número de revoluciones del motor o de la bomba.
Cierre	En el momento en que se desactiva la electroválvula, el muelle presiona el inducido hacia abajo y la bola de la válvula cierra el estrangulador de salida.

Tabla 4

Parámetros técnicos del inyector DENSO

Parámetro	Valor
Resistencia	0,8 – 1 [Ω]
Voltaje	5 [V]
Corriente	12 [A] (Apertura) 20 [A] (Mantenimiento)
Presión de apertura	200 [BAR]
Presión máxima	1800 [BAR]

Ventajas del sistema de inyección CRDI

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” (pág.5).

Otra de las ventajas radica en que “disminuye drásticamente 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” (Denso, 2007, pág. 4).

Capítulo III

Implementación y pruebas del módulo de inyección CRDI

Requerimientos

Para la implementación del módulo de pruebas y entrenamiento de inyección diésel riel común CRDI, se debe proporcionar ciertos parámetros de aplicación y trabajo lo más similar posible a las condiciones de funcionamiento y al estado del motor.

Las características requeridas por el módulo de pruebas y entrenamiento de inyección diésel riel común CRDI:

- Estructura metálica de soporte para los componentes del sistema de inyección CRDI
- Sistema hidráulico de baja presión
- Sistema hidráulico de alta presión
- Riel común CRDI del sistema DENSO HP3
- Inyectores DENSO 6593 05N 00403
- Sistema de regulación de alta presión
- Cilindros de pulverización
- Medidor de retorno de combustible
- ECU para la activación de inyectores CRDI
- Caja de control del subsistema de control electrónico

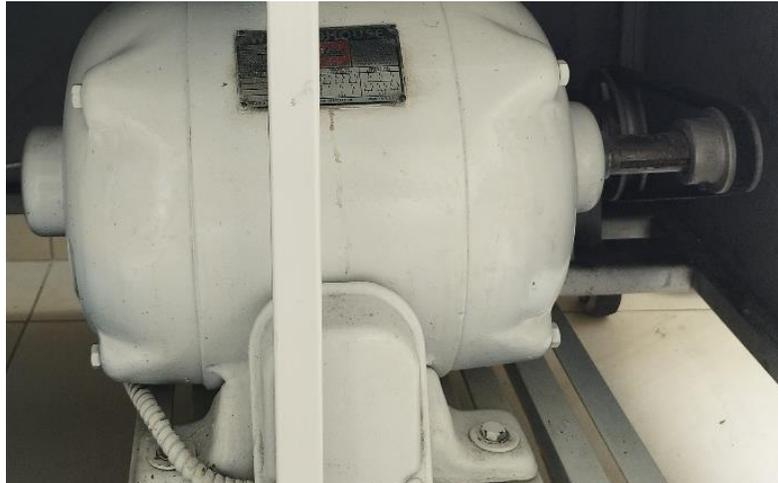
Estructura metálica

Los componentes del sistema de inyección CRDI fueron acoplados a una estructura metálica de tubo cuadrado estructural de medidas de 1 ½" x 1" de acero ASTM. En la parte inferior de la estructura se colocó el motor eléctrico trifásico de 220V que proporciona los giros

requeridos por la bomba de alta presión para enviar el combustible al riel común. En la siguiente figura se muestra el motor implementado en la estructura.

Figura 15

Motor trifásico 220V implementado en la estructura



Sistema hidráulico de baja presión

Para el subsistema de control hidráulico en la línea de baja presión se acopló un depósito de combustible con una bomba de baja presión que tiene una presión máxima de 11 bares y requiere alimentación eléctrica de 12V. Esta se encuentra ubicada dentro del depósito está conectada a la línea de conexiones de las cañerías hacia el filtro y la bomba de alta presión.

Figura 16

Depósito de combustible



Sistema hidráulico de alta presión

Para el subsistema de control hidráulico se colocó una bomba de inyección Denso HP3, la cual se conectó por banda conectada al motor eléctrico que proporciona los giros requeridos para el accionamiento y elevación de la presión de combustible. La bomba empieza a girar cuando se enciende el motor trifásico.

Figura 17

Bomba de alta presión Denso HP3

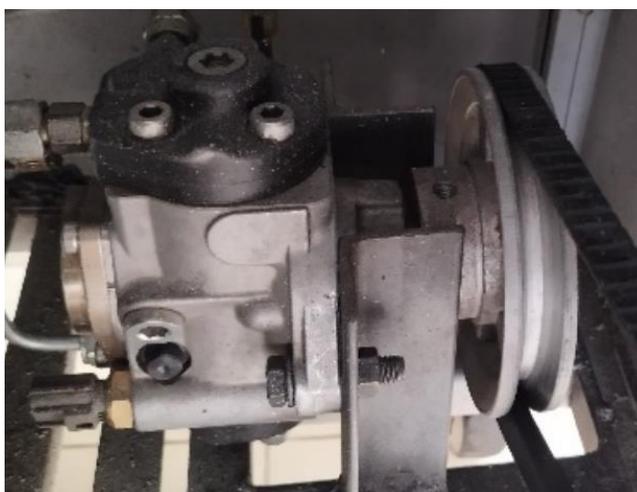


Tabla 5

Características de la bomba Denso HP3

Característica	Valor
Presión máxima	1350 bares
Gama de regímenes	75-3000 l/min
Caudal máximo / vuelta	05-07 cc/vuelta
Potencia absorbida	3.5 KW a régimen nominal

Riel común CRDI

El riel común CRDI se acopló a la estructura y se conectó las cañerías hidráulicas correspondientes para recibir el combustible de la bomba de alta presión para y repartirlo a los cuatro inyectores a través de las cañerías de acero.

Figura 18

Riel de inyectores Denso



Sistema de regulación de alta presión

Se acopló el riel común al módulo de pruebas junto a una válvula de control de presión hidráulica que controla entre 0-1400 bar con ajuste manual. Se dispuso también de un manómetro para medir la presión del fluido en la línea del subsistema de control hidráulico y de actuadores.

Figura 19

Manómetro de alta presión del subsistema de control hidráulico.



Inyectores DENSO

Se acopló los cuatro inyectores Denso 6593 05N 00403 al sistema de riel común mediante cañerías de acero de diámetro 2.67 mm y acoples M12 y M14. Para la visualización de la pulverización durante las pruebas se colocó cuatro cilindros de pulverización que permitan observar la activación del inyector durante la prueba.

Figura 20

Inyectores Denso 6593



Nota. En la figura se muestra los 4 inyectores Denso 6593 usados por la marca Hino en su sistema CRDI.

Cilindros de pulverización

Se implementó la cámara donde se realiza la pulverización, considerando un recubrimiento transparente para una mayor visibilidad del pulso del inyector al momento de la inyección.

Figura 21

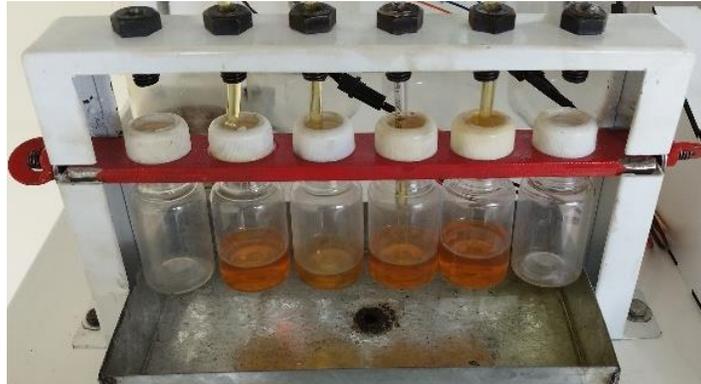
Cilindros de pulverización



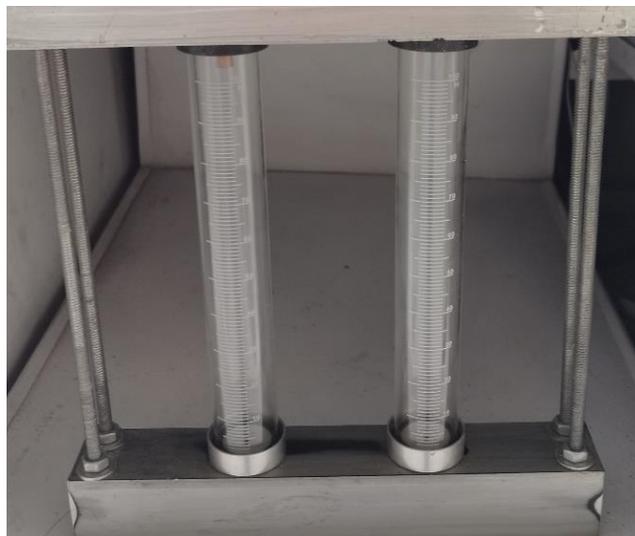
Nota. La figura muestra los cilindros de pulverización implementados en el módulo de pruebas junto con los inyectores y sus respectivas conexiones eléctricas e hidráulicas.

Retorno de combustible

Las líneas de retorno de los inyectores se conectaron hacia los vasos del medidor de retorno de combustible para medir la cantidad de flujo de combustible hacia el depósito con la finalidad de detectar si los inyectores utilizados en la prueba se encuentran obstruidos o dañados. Se implementó manguera transparente para que el flujo de retorno sea visible durante la prueba de retorno. Las mangueras se conectaron con racores roscados en la línea de los inyectores lo que permitió una correcta fijación del medidor.

Figura 22*Medidor de retorno de combustible*

El combustible inyectado en los cilindros de pulverización es dirigido hacia la probeta 1 y el combustible de retorno es dirigido a la probeta 2. Para el drenaje de cada probeta se dispuso de electroválvulas que se encargan de devolver el combustible al depósito. Para el accionamiento de las electroválvulas en el drenaje de las probetas se implementó los interruptores eléctricos ubicados en el panel de instrumentos.

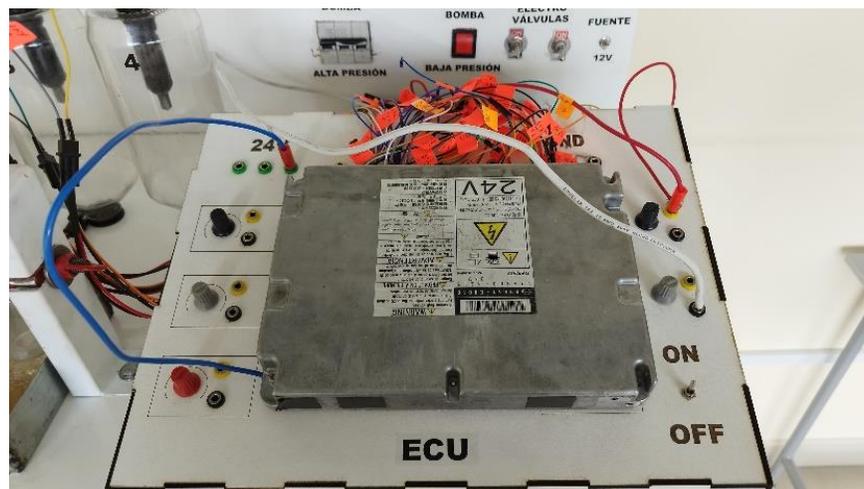
Figura 23*Probetas del subsistema de control hidráulico*

Subsistema de control electrónico

Se implementó una caja de control para el subsistema de control electrónico de inyección diésel riel común CRDI con dimensiones de 40 x 35 cm en la parte derecha del módulo. En la caja de control electrónica se dispuso de salidas de voltaje de 5V, 12V, 24V y GND. Se empleó potenciómetros para variar el voltaje de señal emitidos a través de la perilla del potenciómetro. La ECU se colocó en la parte superior de la caja de control del subsistema de control electrónico.

Figura 24

Subsistema de control electrónico

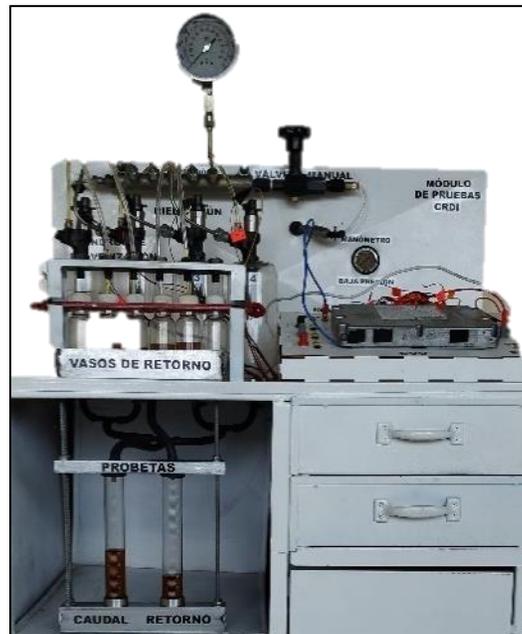


Módulo de pruebas

Los componentes del subsistema de control hidráulico se conectaron con las respectivas líneas hidráulicas y electrónicas. Se implementó conectores para los potenciómetros para un mejor entrenamiento durante el uso del módulo. Se colocaron además etiquetas adhesivas para una correcta información de cada componente durante el uso en pruebas y entrenamiento, como se puede observar en la siguiente figura.

Figura 25

Módulo de pruebas y entrenamiento de inyección diésel riel común CRDI



Protocolo de pruebas

Para la utilización del módulo de pruebas es importante conocer los equipos y protocolos de pruebas para el subsistema de control hidráulico del módulo de entrenamiento de inyección diésel riel común CRDI que se detallan a continuación.

Multímetro automotriz TRUPER MUT-105

Permite medir magnitudes eléctricas como voltajes, amperajes, resistencias, continuidad y otras funciones que los muestra a través de la pantalla digital, siendo de gran utilidad en mediciones y pruebas en diferentes elementos de los sistemas eléctricos automotrices.

Tabla 6

Características del multímetro automotriz MUT-105 TRUPER

Multímetro Automotriz TRUPPER MUT-105	
Características del multímetro automotriz	Escala de circuito integrado con convertidor (alterna / directa)
	Medición en forma de tacómetro (4,6,8 cilindros)
	Protección contra sobrecargas
	Funciones: Prueba de continuidad audible, diodo, transistor NPN o PNP
	Precisión en mediciones de CA (True RMS)
	Sistema de auto apagado

Figura 26

Multímetro automotriz MUT-105 TRUPER



Generación de valores de voltaje con multímetro

Para la generación de valores de voltaje con el multímetro es indispensable la selección de medida y escala adecuada.

Tabla 7

Protocolo de utilización del multímetro automotriz MUT-105 TRUPER

Ord.	Instrucción
1	Encender el multímetro automotriz.
2	Conectar las puntas de medición hacia los terminales de entrada.
3	Girar el interruptor giratorio y seleccionar el valor y rango de la medición a realizar.
4	Ubicar las puntas de medición en los componentes a analizar.
5	Observar el valor medido en la pantalla del multímetro y registrarlo.
6	Repetir el procedimiento para realizar mediciones adicionales.

Osciloscopio automotriz G-Scope 2

Permite visualizar señales eléctricas en función del tiempo para su análisis, este equipo permite variar las escalas de voltaje y tiempo.

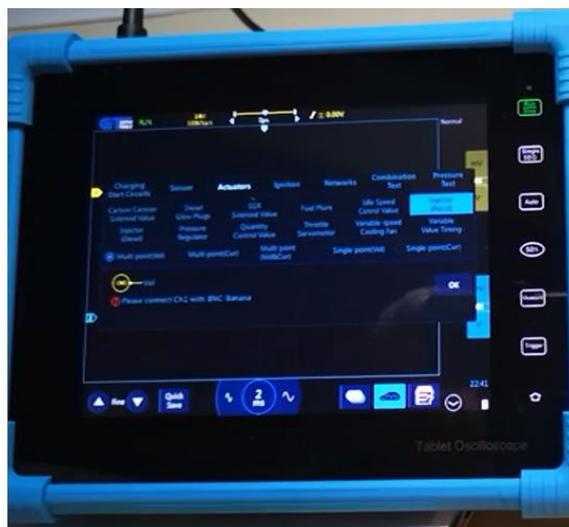
Tabla 8

Características del osciloscopio automotriz G-Scope 2

Osciloscopio G-Scope 2	
Características del osciloscopio	Estructura de triple de CPU de alto rendimiento
	Conectividad Wireless
	Batería Recargable
	Sistema Operativo Win CE 6.0
	Pantalla de 7 "de alta resolución de 1024 x 600
	Soporte para diagnóstico de vehículos 24V

Figura 27

Osciloscopio automotriz G-Scope 2



Generación de señales de actuadores con osciloscopio

Para la generación de señales con el osciloscopio es necesario ajustar las escalas de tiempo y voltaje de acuerdo a las señales a medir para una correcta apreciación en la pantalla.

Tabla 9

Protocolo de utilización del osciloscopio automotriz G-Scope 2

Ord.	Instrucción
1	Conectar el equipo con los cables de alimentación y encender.
2	Desplegar el menú a través de la pantalla y acceder en modo automotriz.
3	Buscar actuador y seleccionar inyector diésel. Automáticamente se configura en la escala adecuada (trigger y disparo) para que la forma de onda se tome automáticamente.
4	Colocar las puntas de medición una a negativo y la otra punta a cualquiera de los inyectores. La grafica se generará automáticamente.
5	Realizar el cambio de los parámetros accediendo al menú, en caso de requerirlo.
6	Capturar la gráfica para el posterior análisis.

Pinza amperimétrica

Fluke (2010) menciona que: “Una pinza amperimétrica es un instrumento de medición o comprobador eléctricos que combina un multímetro digital básico con un sensor de corriente”

Estas pinzas son capaces de medir la corriente CA y la corriente CC siendo una de las medidas más básicas que esta tiene. En diversos circuitos derivados de un sistema de distribución eléctrica se realizan medidas de corriente típicas como por ejemplo el determinar cuánta corriente fluye en los diversos circuitos derivados es una tarea muy común del electricista y en el campo automotriz no es la excepción, ya que hoy en día se usan estas pinzas por su principal ventaja que es la posibilidad de medir intensidades altas con el circuito en funcionamiento y sin riesgos ni daños en la herramienta. (pág. 6)

Tabla 10

Características de la pinza amperimétrica

Pinza amperimétrica	
Características de la pinza amperimétrica	Escala máxima 60A
	Indicador de batería
	Indicador de encendido
	Mordaza detectora de corriente
	Botón de encendido

Figura 28*Pinza amperimétrica***Medición de valores con pinza amperimétrica**

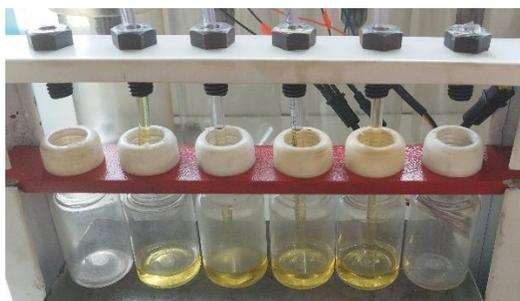
Para la medición de corriente colocar la pinza sin necesidad de desconectar los cables del circuito.

Tabla 11*Protocolo de utilización de la pinza amperimétrica*

Ord.	Instrucción
1	Encender el equipo de medición.
2	Colocar el cable a diagnosticar dentro de la pinza de medición.
3	Observar el valor marcado por el instrumento de medición.
4	Registrar el valor medido.
5	Repetir el procedimiento en caso de requerirse.

Medidor de retorno de combustible

Este medidor permite registrar y analizar la cantidad de combustible que retorna desde los inyectores hacia el tanque con la finalidad de detectar fallos u obstrucciones. La mediación se efectúa en los cuatro inyectores al mismo tiempo mientras estos se encuentran en funcionamiento.

Figura 29*Medidor de retorno de combustible***Tabla 12***Protocolo de utilización del medidor de retorno*

Ord.	Instrucción
1	Verificar que los vasos se encuentren vacíos y limpios.
2	Conectar las mangueras a los acoples de retorno de los inyectores y vasos de retorno.
3	Arrancar el módulo y verificar el nivel de combustible acumulado en los vasos.
4	Registrar los datos y drenar el combustible.
5	Repetir el procedimiento en caso de requerirse.

Capítulo IV

Análisis de resultados y pruebas del sistema CRDI

Distribución de pines ECU Hino J05D/J08E

La siguiente figura muestra la distribución de pines del Hino 2007 para motores J05D/J08E, la ECU posee cinco conjuntos de terminales A, B, C, D y E. Se muestra además la descripción de cada conjunto de pines.

Figura 30

Distribución de pines Hino J05D/J08E 2007

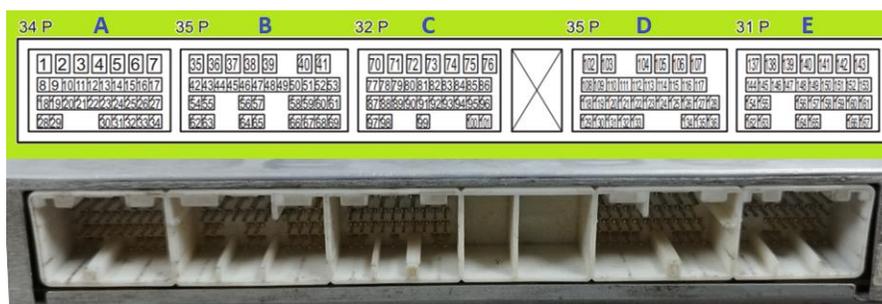


Tabla 13

Descripción de pines conector A - ECU Hino J05D/J08E

N° pin	Descripción	N° pin	Descripción
A1	Tierra de la ECU motor	A18	Tierra carrocería
A2	Tierra de la ECU motor	A19	ISO09141-K
A3	Sin uso	A20	Sin uso
A4	Sin uso	A21	Sensor 1 posición acelerador
A5	Alimentación +B	A22	Sensor 2 posición acelerador
A6	Alimentación +B	A23	Vehículo-sensor posición acelerador externo
A7	Alimentación +B	A24	Sensor presión del diferencial
A8	Sin uso	A25	Sensor 1 temperatura gases de escape
A9	Señal tacómetro	A26	Sensor 2 Temperatura gases de escape
A10	Señal de accionamiento	A27	Sensor velocidad del

N° pin	Descripción	N° pin	Descripción
	solenoides giratorio		vehículo
A11	Sin uso	A28	Tierra carrocería
A12	Sin uso	A29	Sin uso
A13	Sin uso	A30	IMC Volumen
A14	Sin uso	A31	Sensor 1 control electrónico de posición del acelerador
A15	Sin uso	A32	Sensor de temperatura de aire
A16	Sin uso	A33	Sin uso
A17	Sin uso	A34	Sin uso

Tabla 14

Descripción de pines conector B - ECU Hino J05D/J08E

N° pin	Descripción	N° pin	Descripción
B35	+BF	B53	Switch freno
B36	Válvula solenoide freno escape	B54	Sensor tierra 4
B37	Sin uso	B55	Sensor tierra 5
B38	Sin uso	B56	Switch llave
B39	Tierra sensor de posición del cigüeñal	B57	Sensor (fuente de alimentación) 4
B40	Sensor posición cigüeñal +	B58	Switch pedal acelerador
B41	Sensor posición cigüeñal -	B59	Sin uso
B42	Sin uso	B60	Switch velocidad constante
B43	Sin uso	B61	Switch luz freno
B44	Luz freno escape	B62	Sin uso
B45	Brillo luz indicadora	B63	EGR
B46	Switch llave	B64	Sin uso
B47	Sin uso	B65	Sensor (fuente de alimentación) 5
B48	Arranque Switch	B66	Switch neutro
B49	Switch freno escape	B67	Sin uso
B50	Switch paro de motor	B68	Switch diagnóstico
B51	Sin uso	B69	Sin uso
B52	Sin uso		

Tabla 15

Descripción de pines conector C - ECU Hino J05D/J08E

N° pin	Descripción	N° pin	Descripción
C70	Relé de brillo	C86	Sin uso
C71	Relé de brillo	C87	AT señal de identificación
C72	Tierra de la ECU del motor	C88	Interruptor de TDF 2
C73	Tierra de la ECU del motor	C89	Interruptor de toma de fuerza
C74	Relé principal de la ECU del motor	C90	Sin uso
C75	Relé principal de la ECU del motor	C91	Interruptor de parada de ralentí
C76	+BF	C92	Interruptor de crucero 1
C77	Interruptor del embrague	C93	Interruptor de carrera de embrague
C78	Sin uso	C94	Interruptor de regeneración forzada
C79	Interruptor de crucero 2	C95	CAN 2 alto
C80	Interruptor de luz de freno 2	C96	CAN 2 bajo
C81	Interruptor de ralentí	C97	Presostato hidráulico
C82	Comprobación luz del motor 1	C98	Interruptor de calentamiento
C83	Sin uso	C99	Sin uso
C84	Luz indicadora de regeneración DPF	C100	Sin uso
C85	Sin uso	C101	Tierra blindada CAN 2

Tabla 16

Descripción de pines conector D - ECU Hino J05D/J08E

N° pin	Descripción	N° pin	Descripción
D102	Tierra de energía	D120	Sensor de posición del árbol de levas
D103	Inyector No. 1 de combustible (-)	D121	Sensor de presión del raíl 1
D104	Inyector No.2 de combustible (-)	D122	Sensor MAF
D105	Inyector No. 3 de combustible (-)	D123	Sensor (fuente de alimentación) 3
D106	Inyector No. 1 de combustible (+)	D124	Sin uso
D107	Inyector No. 2, 3 de combustible (+)	D125	Sensor (fuente de alimentación) 2

N° pin	Descripción	N° pin	Descripción
D108	Válvula 1 del EGR	D126	Sensor (fuente de alimentación) 1
D109	Válvula 2 del EGR	D127	Sensor de elevación de la válvula EGR 1
D110	Sin uso	D128	Sensor de presión de sobrealimentación
D111	Sin uso	D129	Tierra de la ECU del motor
D112	Luz crucero	D130	Tierra de la ECU del motor
D113	Luz de velocidad constante	D131	Tierra del sensor de posición del árbol de levas
D114	Sin uso	D132	Sensor de presión del rail 2
D115	Sin uso	D133	Sensor de posición del árbol de levas VCC (5 V)
D116	Sin uso	D134	Tierra del sensor 1
D117	Sin uso	D135	Tierra del sensor 2
D118	Tierra del sensor MAF	D136	Tierra del sensor 3
D119	Sin uso		

Tabla 17

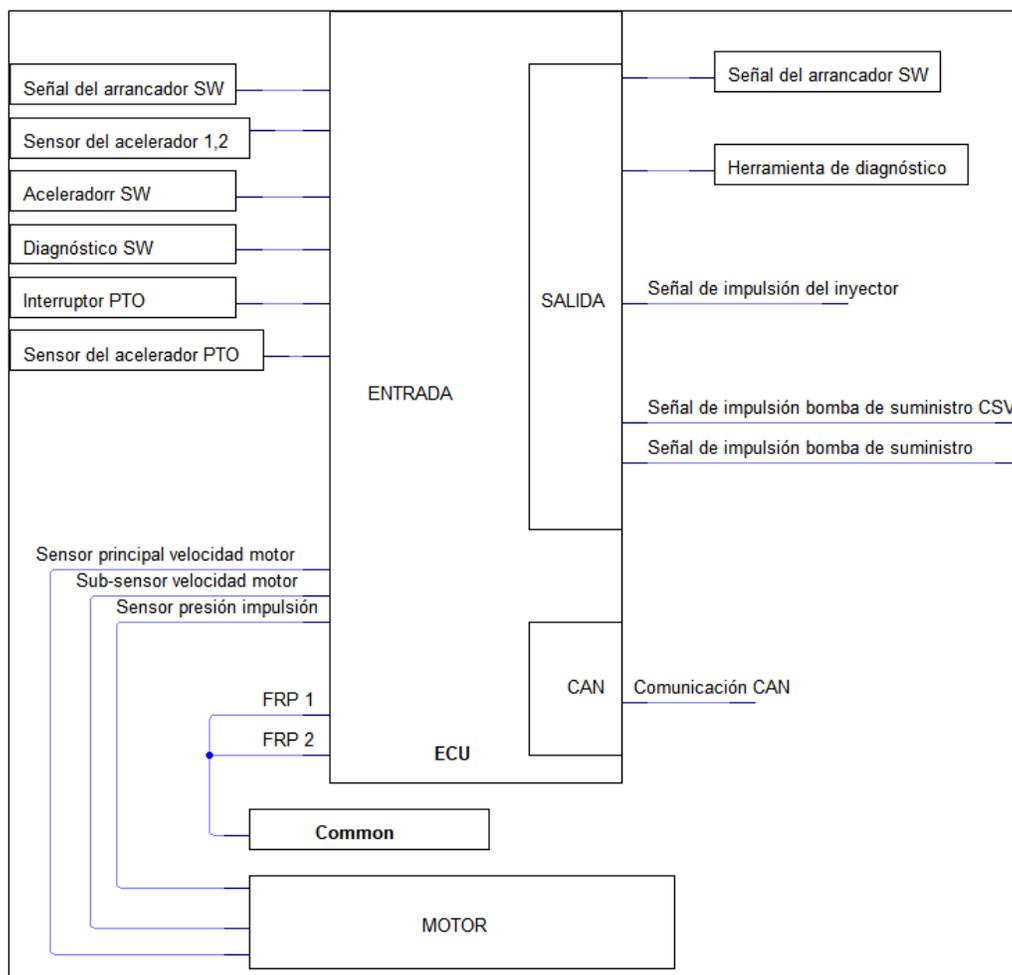
Descripción de pines conector E - ECU Hino J05D/J08E

N° pin	Descripción	N° pin	Descripción
E137	Inyector No. 4 de combustible (-)	E153	Sin uso
E138	Inyector No. 5 de combustible (-)	E154	Sin uso
E139	Inyector No. 6 de combustible (-)	E155	Sin uso
E140	Tierra de potencia	E156	Sin uso
E141	Tierra de potencia	E157	CAN 1 alto
E142	Inyector No. 4, 5 de combustible (+)	E158	CAN 1 bajo
E143	Inyector No. 6 de combustible (+)	E159	Sin uso
E144	Señal de conducción SCV	E160	Sin uso
E145	Señal de conducción SCV	E161	Tierra del motor
E146	Potencia VCS	E162	Sin uso
E147	Potencia VCS	E163	Sensor de temperatura de combustible 2
E148	Sin uso	E164	Sin uso
E149	Sin uso	E165	Sin uso
E150	Sin uso	E166	Sin uso
E151	Sin uso	E167	Tierra carrocería

N° pin	Descripción	N° pin	Descripción
E152	Sin uso	-	Sensor de presión atmosférica (integrado en la ECU del motor)

Figura 31

Esquema eléctrico ECU Hino J05D/J08E modelo 2004, 2007



Conexión de pines ECU

Los pines de conexión de la ECU se conectan a los sensores y actuadores mediante cables etiquetados de acuerdo al diagrama de conexiones del manual de servicio Denso para motores J05D/J08E como se muestra en la siguiente figura.

Figura 32

Pines ECU Hino J05D/J08E etiquetados



Se procede con la polarización de la ECU para la generación del pulso en los inyectores, se alimenta la ECU con 24V y las señales de los sensores CKP y CMP.

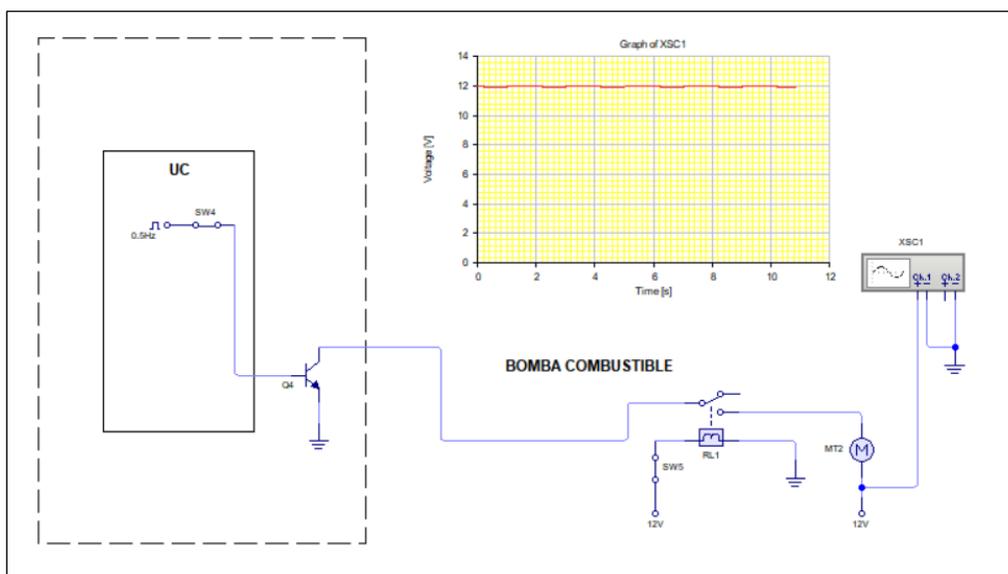
Testeo de actuadores del sistema CRDI

Bomba baja presión

La bomba eléctrica de baja presión suministra el combustible de manera constante por lo que su voltaje de funcionamiento es de 12V constante, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 33

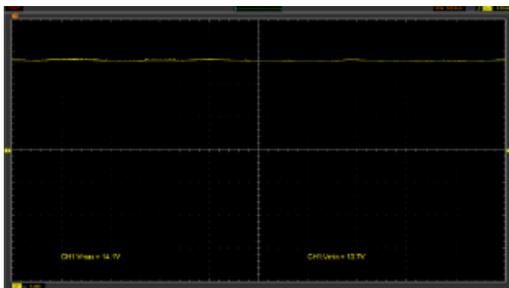
Circuito bomba baja presión



Se obtiene los valores de voltaje y la señal mediante multímetro y osciloscopio con una escala de 5V/div. Esta señal debe ser continua, por lo que se determina que no existe falla en el componente. Los datos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 18

Datos obtenidos de la Bomba baja presión – ECU Hino

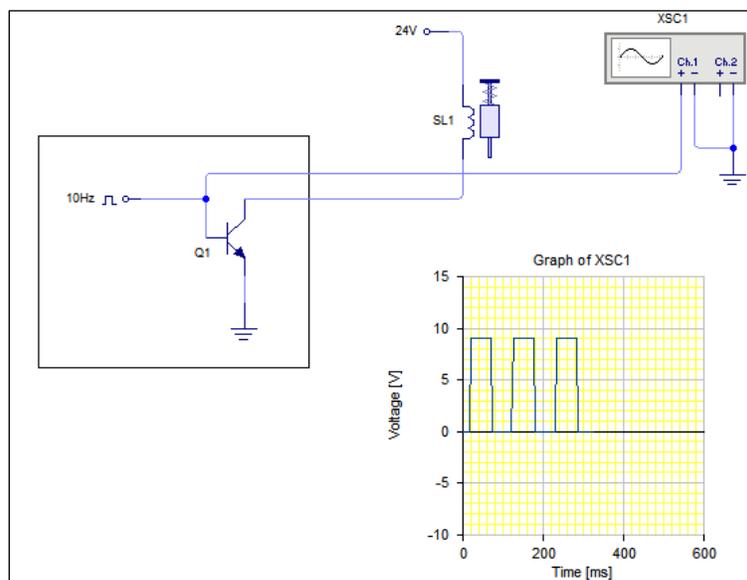
Bomba	Valores registrados	Gráfico bomba baja presión	Oscilograma
Baja presión	V=14.1V		

Válvula IPR

En el análisis de esta válvula se puede observar el tiempo de activación y como varía conforme a las revoluciones del motor, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 34

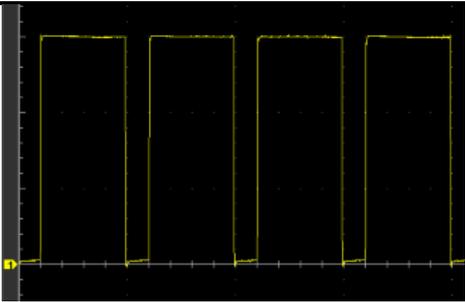
Circuito válvula IPR



Para esta medición se configuró el osciloscopio con una escala de 5V/div y 500us/div para visualizar el tiempo de activación de la válvula.

Tabla 19

Datos obtenidos de la válvula IPR – ECU Hino

Válvula	Valores registrados	Gráfico válvula	Oscilograma
IPR	14.7 V		

De acuerdo al valor registrado se determina que no existe falla en la válvula IPR siendo el voltaje medido 14.7V con un tiempo de caída de voltaje de 200 us.

Sensor FRP

Este sensor se encarga de regular la presión en el riel de combustible variando la resistencia en función de la presión. Tiene un accionamiento por control negativo, a continuación, se muestra los voltajes de señal y referencia registrados. Los síntomas de falla del sensor FRP son: baja o alta presión de combustible, revoluciones escasas o el motor no arranca. Esta prueba se realizó con una escala de 5V/div.

Figura 35

Circuito sensor FRP

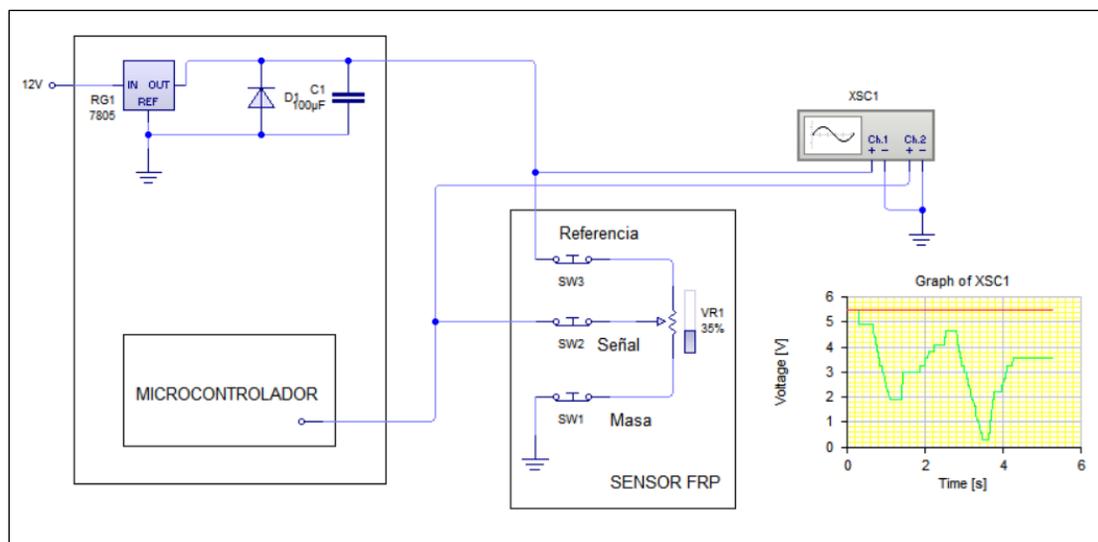
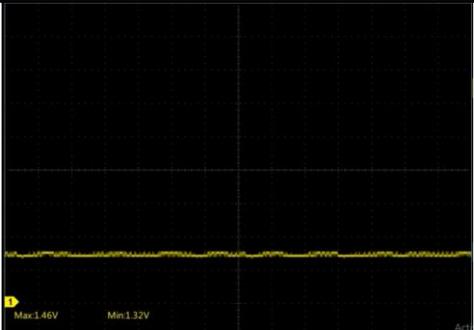


Tabla 20

Datos obtenidos del sensor FRP – ECU Hino.

Sensor	Valores registrados	Gráfico sensor	Oscilograma
FRP	S=1.45V R=1.3V		

En la medición se obtiene voltaje de señal con un valor de 1.45V y referencia con un valor de 1.3V. A continuación, se registran los datos de presión y voltaje para el sensor FRP.

Tabla 21

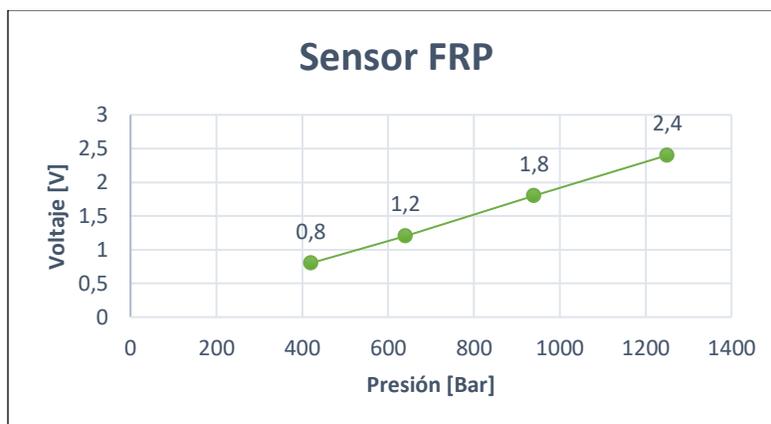
Valores de presión vs voltaje del sensor FRP

Presión [Bar]	Voltaje [V]
420	0.8
640	1.2
940	1.8
1250	2.4

Con los datos de presión y voltaje se genera la curva característica del sensor FRP como se muestra en la siguiente figura.

Figura 36

Curva característica del sensor FRP, presión vs voltaje

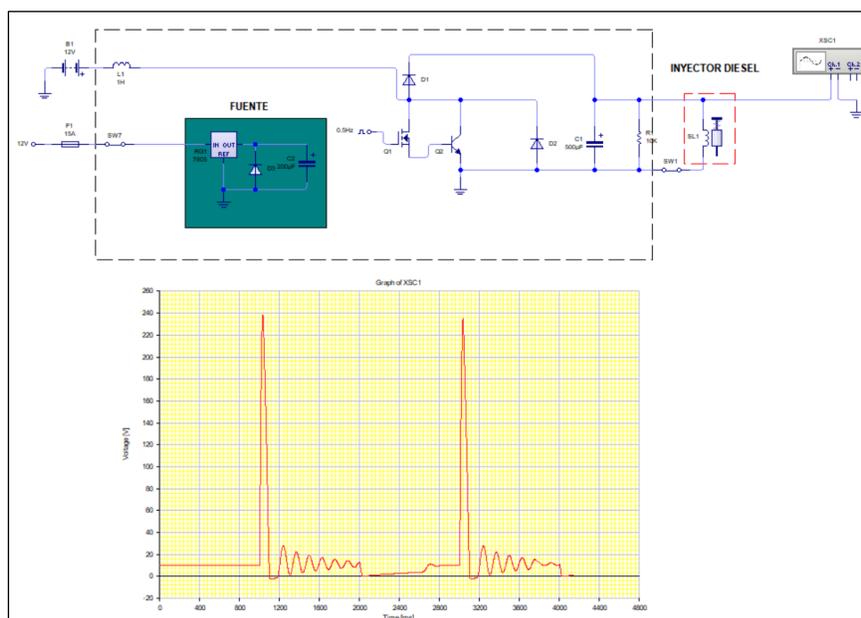


Inyectores

El microcontrolador se encarga de gestionar la señal hacia la base de los transistores MOSFET permitiendo así el paso de señal a los inyectores generada por una bobina conmutada transformando así la tensión recibida por el regulador en voltaje necesario para el pulso del inyector.

Figura 37

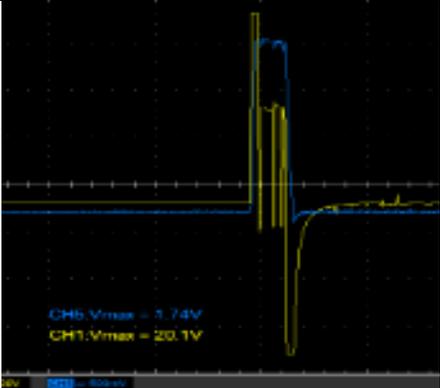
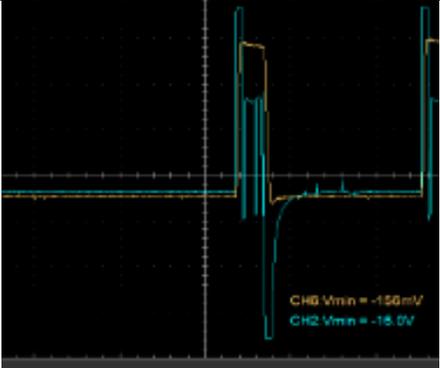
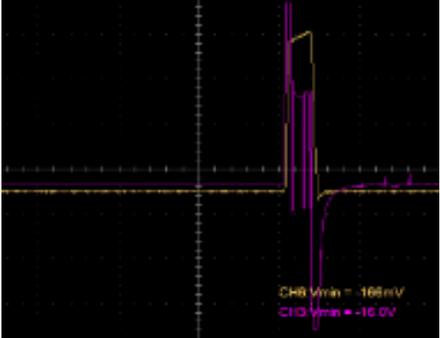
Circuito inyectores CRDI



Mediante el uso del osciloscopio se obtienen los datos de voltaje y corriente que se detallan en la siguiente tabla con las respectivas gráficas del osciloscopio.

Tabla 22

Datos obtenidos Inyectores – ECU Hino

Inyector	Valores registrados	Gráfico inyector	Oscilograma
Inyector 1	Vmax= 20.1V Vmin= -16V Amp máx= 17.4A Amp min=-2.15A		
Inyector 2	Vmax= 20.2V Vmin= -16V Amp máx= 16.7A Amp min=-1.56A		
Inyector 3	Vmax= 20.2V Vmin= -16V Amp máx= 17.2A Amp min=-1.66A		

Inyector	Valores registrados	Gráfico inyector	Oscilograma
Inyector 4	Vmax= 20.1V Vmin= -16V Amp máx= 17.6A Amp min=-1.66A		

Prueba de retorno de combustible

La prueba se realiza para verificar la cantidad de combustible que retorna al depósito en la línea de cada inyector. La prueba duró 1 min hasta que se obtuvo la cantidad de combustible. Se concluye que los inyectores uno, dos y tres tienen un flujo semejante. El inyector número 4 presenta una mayor cantidad de flujo.

Figura 38

Caudal de retorno de combustible



El combustible pulverizado por los inyectores se ubica en la probeta 1 y el caudal de retorno se ubica en la probeta 2. El diésel acumulado en las probetas se drena al depósito a través de las electroválvulas que son accionadas desde el panel de instrumentos, el proceso se realiza cada que se requiera efectuar una nueva medición.

Figura 39

Probetas de caudal inyector y retorno



Códigos de diagnóstico DTC

Los actuadores que presenten anomalías pueden ser diagnosticados con el scanner automotriz de acuerdo a los códigos de diagnóstico DTC detallados en la siguiente tabla.

Tabla 23

Códigos de diagnóstico DCT Hino J05D/J08E

DTC (Código)	Elemento	Descripción
P0087	Riel de presión	La presión real del riel en relación con el la presión del riel de comando es continuamente baja.
P0088	Riel de presión	La presión de combustible del riel es normalmente alta, o cuando la presión real del riel en relación con el comando la presión del riel es continuamente alta.
P0191	Sensor del riel de presión	La presión del riel no puede ser correctamente detectada.
P0200	ECU	El voltaje de activación del inyector es demasiado alto.
P0201	Inyector 1	Mal funcionamiento del inyector 1 y/o un circuito abierto en el arnés de cables
P0202	Inyector 2	Mal funcionamiento del inyector 2 y/o un circuito abierto en el arnés de cables
P0203	Inyector 3	Mal funcionamiento del inyector 3 y/o un circuito abierto en el arnés de cables

DTC (Código)	Elemento	Descripción
P0204	Inyector 4	Mal funcionamiento del inyector 4 y/o un circuito abierto en el arnés de cables
P0628	SCV	Circuito abierto en el cableado que conecta la ECU del motor y la SCV.
P0629	SCV +B Corto	Las posibles causas incluyen un cortocircuito +B en el cableado cableado que conecta la ECU del motor y la SCV
P2635	SCV	Circuito abierto en el cableado entre la ECU del motor y la SCV, y/o una SCV en mal funcionamiento interno.

Capítulo V

Marco administrativo

Para la ejecución y desarrollo del proyecto de investigación se consideró parámetros administrativos, técnicos y financiamiento por lo que se obtiene la factibilidad y desarrollo en la etapa de investigación.

Factibilidad del proyecto

Los recursos que se utilizan en el proyecto son humanos, tecnológicos y financieros que fueron analizados para determinar la viabilidad con la finalidad de evitar imprevistos durante la ejecución y desarrollo del mismo.

Recursos Humanos

Los recursos humanos son de gran importancia ya que cada uno realiza su aporte durante la investigación a fin de cumplir los objetivos planteados.

Tabla 24

Recursos Humanos

Ord	Descripción	Cantidad	Función
1.	Proaño Ulloa Fernando Santiago	1	Investigador
2.	Ing. Washington Germán Erazo Laverde	1	Colaborador Científico

Recursos Materiales

Para el desarrollo del proyecto se utiliza los siguientes recursos tecnológicos detallados en la siguiente tabla a continuación.

Tabla 25*Recursos Materiales*

Orden	Cantidad	Detalle	Costo unitario	Costo total USD
1.	1	ECU Hino	\$ 700	\$ 700
2.	4	Inyectores Hino	\$ 150	\$ 600
3.	6	Potenciómetros	\$ 0.50	\$ 3
4.	5	Cañerías de riel	\$ 20	\$ 100
5.	1	Caja de control electrónico	\$ 100	\$ 100
6.	8	Racores	\$ 3	\$ 24
7.	4	Cilindros de pulverización	\$ 25	\$ 100
8.	1	Filtro de combustible	\$ 50	\$ 50
9.	1	Insumos	\$ 30	\$ 30
10.	1	Varios	\$ 100	\$ 100
TOTAL				\$ 1807

Recursos Tecnológicos

Para el desarrollo del proyecto se utiliza los siguientes recursos tecnológicos detallados en la siguiente tabla a continuación.

Tabla 26*Recursos Tecnológicos*

Orden	Detalle	Cantidad	Costo unitario	Costo total USD
1.	Osciloscopio	1	\$ 250	\$ 250
2.	Multímetro	1	\$ 50	\$ 50
TOTAL				\$ 300

Costo neto del proyecto

El costo neto del proyecto titulado como “Implementación de módulo de pruebas y entrenamiento del subsistema de control hidráulico y de actuadores de inyección diésel riel común CRDI”, resulta de la suma total de los recursos a utilizar y la movilidad como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 27

Costo total del proyecto

Orden	Descripción	Costo total USD
1.	Recursos materiales	\$ 1807
2.	Recursos tecnológicos	\$ 300
	TOTAL	\$ 2107

Capítulo VI

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Se recopiló información bibliográfica de fuentes y manuales de usuario para los conceptos teóricos a utilizar en la investigación como el diagrama de conexiones y pines, así como también las condiciones requeridas para el funcionamiento del subsistema de control hidráulico del módulo de pruebas.

Se seleccionó elementos eléctricos, electrónicos y mecánicos hidráulicos para la medición de los parámetros de los inyectores e implementación del circuito de control de actuadores CRDI con los sistemas hidráulicos de alta y baja presión con control del pulso de inyección mediante la ECU del sistema CRDI.

Se instaló el sistema hidráulico de inyección diésel riel común CRDI con la fijación de componentes a la estructura del módulo con las respectivas conexiones hidráulicas de alta y baja presión para el flujo del combustible de acuerdo a los parámetros de funcionamiento del sistema de riel común.

Se analizó el funcionamiento del subsistema de control hidráulico diésel riel común para la implementación de las condiciones de trabajo requeridas en la línea de alta presión generándose la pulverización de combustible en los inyectores.

Se obtuvo información sobre los valores de voltajes de señal y referencia de los actuadores del sistema de inyección diésel de riel común CRDI por medio de equipos de medición obteniéndose curvas características en oscilogramas que permitió comprobar el estado de los actuadores descartando fallas en los mismos.

Se desarrolló un protocolo de pruebas a fin de establecer el desempeño mecánico y eléctrico del sistema CRDI como la bomba de baja presión, válvula IPR e inyectores que permitió establecer el desempeño mecánico y eléctrico.

Recomendaciones

Disponer de implementos de seguridad y limpieza previo a la utilización del módulo de pruebas y entrenamiento a fin de realizar un mejor trabajo de análisis de los subsistemas CRDI electrónico e hidráulico.

Conectar correctamente la alimentación eléctrica del módulo de pruebas y entrenamiento, siendo 220V AC para el funcionamiento del motor trifásico, para las electroválvulas y la fuente se requiere de 110V AC monofásica.

Verificar el sistema de alta presión antes y después de la utilización del módulo de pruebas ya que debido a las elevadas presiones del sistema podría producirse fugas por los componentes hidráulicos.

Para realizar pruebas en el módulo de entrenamiento, revisar el nivel de combustible en el depósito antes de encender el módulo de entrenamiento verificando además el estado y conexión de las mangueras.

Cuando se han finalizado las pruebas o el uso del motor y se va a mantener apagado el módulo de pruebas y entrenamiento, se recomienda desconectar los conectores de alimentación 220V y 110V.

Bibliografía

Armas, B. D., y Vaca, G. D. (2014). *Repositorio Digital*.

<http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/3406/1/05%20FECYT%201706>

Bernal, J. L. (2007). Diesel electronic injection inyección HEUI y common rail. En *Motor diesel power stroke Ford motor 6.4 lts common rail* (págs. 101-102).

Bosch. (1999). *Manual de la tecnica del automovil*. Reverté.

Bosch. (2006). Componentes del sistema. En A. Marquioni, *Entrenamiento del* (págs. 13-28). Italia.

Bosch, R. (2005). *Sistemas de inyección diesel por acumulador common rail*. Alemania: Robert Bosch GmbH.

Castillejo, C. (2014). *Sistemas de Inyección en Motores Diesel*. Sevilla, España.

Cise Electronics. (2010). Inyectores piezoeléctricos. En *Inyectores diesel piezoeléctricos* (págs. 1-5).

Coral de la Cadena, F. A. (2013). Diseño e implementación de un banco de pruebas. Riobamba, Ecuador: Escuela Politécnica de Chimborazo.

Daimler Chrysler. (2004). *Descripción del sistema inyección diésel common rail CDI 2 y CDI 3*.

Daimler Chrysler. (2004). *Sistema de combustible*. Alemania: Daimler Chrysler.

Delphi. (2007). Manual Common Rail principios de funcionamiento.

Delphi. (2014). Filtro diesel. *Información del producto*.

Denso. (2004). *Manual de servicio funcionamiento Common Rail System*. Denso Corporation.

- Denso. (2007). *Sistema common rail*. Japon: DENSO CORPORATION.
- Denso. (2023). *Inyector de Common Rail*. <https://www.denso-am.eu/es/products/diesel-components/inyector-de-common-rail>
- Fajardo, B., y Omar, P. M. (2019). *Repositorio Digital - EPN*.
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/15360/1/CD-7056.pdf>
- Fluke, C. (2010). *Conceptos básicos de las pinzas amperimétricas*. Madrid: Países Bajos.
- Gudiño, F. (2016). *Sensores y Actuadores de un Vehículo Diesel*. Quito.
- Gudiño, F. (2016). *Sensores y Actuadores de un Vehículo Diésel*. Quito.
- Henkel Ibérica. (2023). *El blog de los profesionales del taller*. <https://blog.reparacion-vehiculos.es/valvula-reguladora-de-presion-tipos-y-consejos-de-mantenimiento>
- Hernández, L. (2006). *Predicción y optimización de emisores y consumo mediante*. Valencia, España: Reverté.
- Kia Motors. (2005). *Common rail Delphi manual de entrenamiento de servicio*. Kia motors.
- Millares, J. (1986). *Motor Diesel Inyeccion y Combustion*. Barcelona.
- Orozco, G., y Garcia, M. (2015). *Sensores y actuadores en el sistema de inyección electrónica*.
- Volkswagen. (2007). *El motor TDI 2.0 con sistema de inyección common rail*. En *Programa autodidáctico 403*.
- Volvo. (2005). *Preinyección funcionamiento*. En *Common rail VM*.

Anexos