



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

Celorio Pacheco, Kevin Paul y Delgado León, Stalin Sebastián

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

---

<b>Analyzed document</b>	TESIS CELORIO_DELGADO_ERAZO_FINAL.pdf (D159368226)
<b>Submitted</b>	2023-02-24 00:43:00
<b>Submitted by</b>	Cristian Laverde
<b>Submitter email</b>	claverde@uteq.edu.ec
<b>Similarity</b>	0%
<b>Analysis address</b>	claverde.uteq@analysis.arkund.com

Firmado digitalmente por WASHINGTON GERMAN ERAZO LAVERDE

### Sources included in the report

---



Departamento de 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 electrónico de inyección diésel riel común CRDI" fue realizado por los señores Celorio Pacheco, Kevin Paul y Delgado León Stalin Sebastián completos; 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 de 2023

Erazo Laverde, Washington Germán

C. C.: 0501432637



**Departamento de Energía y Mecánica**  
**Carrera de Ingeniería Automotriz**

**Responsabilidad de Autoría**

Yo/nosotros, **Celorio Pacheco, Kevin Paul y Delgado León Stalin Sebastián**, con cédulas de ciudadanía n° 1719933242 y n°1718850819, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **"Implementación de módulo de pruebas y entrenamiento del subsistema de control electrónico 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 de 2023**

**Celorio Pacheco, Kevin Paul**

C.C: 1719933242

**Delgado León Stalin Sebastián**

C.C: 1718850819



**Departamento de Energía y Mecánica  
Carrera De Ingeniería Automotriz**

**Autorización de Publicación**

Nosotros **Celorio Pacheco, Kevin Paul y Delgado León Stalin Sebastián**, con cédulas de ciudadanía n° 1719933242 y n°1718850819, 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 electrónico de inyección diésel riel común CRDI**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

**Latacunga, 24 de febrero de 2023**

**Celorio Pacheco, Kevin Paul**

C.C: 1719933242

**Delgado León Stalin Sebastián**

C.C: 1718850819

## **Dedicatoria I**

Dedico el presente proyecto a mis padres Manuel Celorio y Carolina Romero por el apoyo incondicional, el amor y sus enseñanzas de vida.

A mi abuela Luzmila Celorio por ser un pilar fundamental en los momentos de mayor necesidad.

Y a mis abuelos Miguel Pacheco y Blanca Jácome por confiar en mí y darme siempre el apoyo moral que necesité.

Este proyecto va para ustedes.

***Kevin Paul Celorio Pacheco***

## Dedicatoria II

Dedico el presente proyecto a mis dos madres Lorena y Nancy por motivarme y siempre confiar en mí.

A mi padre Roberto por el apoyo brindado durante toda mi vida universitaria.

A mi abuelo German por brindarme su ayuda en los momentos que lo necesité.

Y a mis hermanas, Mia, Alanís y Paz por siempre creer en mí.

Este proyecto va para ustedes.

***Sebastian Delgado León***

## **Agradecimientos I**

Agradezco a todos mis hermanos y hermanas por haber sido una motivación de ser un ejemplo para ellos en toda mi carrera profesional.

A mi madre Patricia Pacheco por haberme brindado la oportunidad de ser una mejor persona y haberme forjado para lo que hoy soy.

A mi tío Geovanny Pacheco y mi tía Carolina Calero por haber sido un gran apoyo para mí y brindarme siempre la ayuda que necesité, lo logramos.

A Erika Jácome por estar siempre presente dándome apoyo para la culminación del presente proyecto.

A mi compañero Sebastián, quien me brindo su amistad desde el primer día de clases y juntos conseguimos culminar de manera exitosa el proyecto.

***Kevin Paul Celorio Pacheco***



## **Agradecimientos II**

Agradezco a toda mi familia quienes fueron y serán siempre mi más grande apoyo en la vida y en esta etapa de desarrollo profesional, los llevo siempre en mi corazón.

A mis amigos que se han convertido en familia quienes de una u otra forma fueron participes y un apoyo para alcanzar este objetivo, Xavier, Andres, Paul, Luis Miguel; lo logramos.

A Mildred quien nunca me dejo caer, siempre me levantó y me daba ánimos, por ser incondicional, ¡Gracias Totales!

A mi compañero Kevin, quien me brindo su amistad desde el primer día de clases y juntos conseguimos culminar de manera exitosa el proyecto.

***Sebastián Delgado León***

**ÍNDICE DE CONTENIDOS**

<b>Carátula .....</b>	<b>1</b>
<b>Reporte de verificación de contenido.....</b>	<b>2</b>
<b>Certificación .....</b>	<b>2</b>
<b>Responsabilidad de autoría .....</b>	<b>4</b>
<b>Autorización de publicación .....</b>	<b>5</b>
<b>Dedicatoria I .....</b>	<b>6</b>
<b>Dedicatoria II .....</b>	<b>7</b>
<b>Agradecimientos I.....</b>	<b>8</b>
<b>Agradecimientos II.....</b>	<b>9</b>
<b>Índice de contenidos .....</b>	<b>10</b>
<b>Índice de Figuras .....</b>	<b>16</b>
<b>Índice de Tablas .....</b>	<b>19</b>
<b>Resumen.....</b>	<b>22</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>23</b>
<b>Capítulo I: Marco metodológico de la investigación .....</b>	<b>24</b>
<b>Antecedentes .....</b>	<b>24</b>
<b>Planteamiento del Problema .....</b>	<b>26</b>
<b>Descripción del proyecto .....</b>	<b>27</b>
<b>Justificación e Importancia .....</b>	<b>28</b>
<b>Objetivos .....</b>	<b>29</b>

<b>Objetivo General</b> .....	<b>29</b>
<b>Objetivos Específicos</b> .....	<b>30</b>
<b>Metas</b> .....	<b>30</b>
<b>Hipótesis</b> .....	<b>30</b>
<b>Variables de investigación</b> .....	<b>30</b>
<b>Variable independiente</b> .....	<b>30</b>
<b>Variables dependientes</b> .....	<b>32</b>
<b>Metodología de desarrollo del proyecto</b> .....	<b>33</b>
<b>Método experimental</b> .....	<b>34</b>
<b>Método de medición</b> .....	<b>34</b>
<b>Método de observación directa</b> .....	<b>34</b>
<b>Método deductivo</b> .....	<b>34</b>
<b>Método inductivo</b> .....	<b>34</b>
<b>Capítulo II: Marco teórico</b> .....	<b>35</b>
<b>Sistema de inyección electrónica</b> .....	<b>35</b>
<b>Sistemas Common Rail</b> .....	<b>35</b>
<b>Sistema de inyección electrónica CRDI</b> .....	<b>36</b>
<b>Componentes del sistema CRDI</b> .....	<b>36</b>
<b>Sensor CMP</b> .....	<b>40</b>
<b>Sensor FRP</b> .....	<b>42</b>
<b>Sensor ECT</b> .....	<b>43</b>

Sensor de Oxígeno .....	44
Sensor TPS.....	45
Sensor MAP.....	46
Sensor MAF .....	48
Sensor IAT .....	48
Desarrollo de la fase de inyección.....	53
<i>Inyección previa.....</i>	<i>53</i>
<i>Inyección principal.....</i>	<i>53</i>
<i>Inyección posterior.....</i>	<i>54</i>
Inyector electrónico CRDI .....	54
Ubicación de los inyectores.....	55
Principio de funcionamiento del inyector .....	55
Partes del inyector .....	56
<i>Retorno de combustible .....</i>	<i>57</i>
<i>Conexión eléctrica .....</i>	<i>57</i>
<i>Electroválvula.....</i>	<i>57</i>
<i>Muelle .....</i>	<i>57</i>
<i>Bola de válvula.....</i>	<i>57</i>
<i>Estrangulador de entrada.....</i>	<i>57</i>
<i>Estrangulador de salida .....</i>	<i>57</i>
<i>Embolo de control de válvula .....</i>	<i>57</i>

<i>Canal de afluencia</i> .....	58
<i>Aguja del inyector</i> .....	58
<i>Entrada de combustible a presión</i> .....	58
<i>Cámara de control</i> .....	58
<i>Inyector Denso</i> .....	58
<i>Estructura del inyector Denso</i> .....	60
<i>Inyector piezoeléctrico Denso</i> .....	62
<b>Capítulo III: Implementación y pruebas del módulo</b> .....	64
<b>Requerimientos</b> .....	64
<b>Diseño eléctrico</b> .....	65
<b>ECU (Unidad de Control Electrónico) Hino Serie 500 modelo DENSO 89661 – E0010</b> .....	68
<b>Construcción del módulo</b> .....	69
<b>Capítulo IV: Análisis de resultados y pruebas del sistema CRDI</b> .....	79
<b>Protocolo de pruebas</b> .....	79
<b>Equipos</b> .....	79
<i>Multímetro automotriz MUT-105 TRUPER</i> .....	79
<i>Osciloscopio automotriz G-SCOPE 2</i> .....	80
<i>Pruebas de sensor CKP</i> .....	86
<i>Pruebas de sensor CMP</i> .....	89
<i>Pruebas de sensor FRP</i> .....	91
<i>Pruebas de sensor MAF</i> .....	94

<i>Pruebas de sensor ECT</i> .....	96
Pruebas de actuadores con multímetro .....	99
<i>Pruebas de inyectores</i> .....	99
<i>Pruebas de válvula IPR</i> .....	101
<i>Pruebas de bomba de baja presión</i> .....	103
Generación de señales de sensores con osciloscopio.....	105
Generación de señales de actuadores con osciloscopio .....	107
Pruebas en sensores .....	108
Sensor CKP .....	108
Sensor CMP.....	109
Sensor APP 1 .....	111
Sensor APP2 .....	114
Sensor FRP .....	116
Sensor FTS.....	118
Sensor ECT .....	120
Sensor BPS .....	122
Capítulo V: Marco administrativo .....	126
Presupuesto y financiamiento .....	126
Recursos Humanos .....	126
Recursos tecnológicos.....	126
Costo neto del proyecto .....	127

<b>Capítulo VI: Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>129</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>129</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>130</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>131</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>134</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Mapa de Problemas</i> .....	27
<b>Figura 2</b> <i>Componentes del Sistema CRDI</i> .....	38
<b>Figura 3</b> <i>Sensor CKP</i> .....	39
<b>Figura 4</b> <i>Sensor CMP</i> .....	41
<b>Figura 5</b> <i>Sensor FRP para Mazda BT50 2.5 CRDI</i> .....	42
<b>Figura 6</b> <i>Esquema electrónico de sensor ECT</i> .....	43
<b>Figura 7</b> <i>Sensor de oxígeno</i> .....	44
<b>Figura 8</b> <i>Sensor TPS</i> .....	45
<b>Figura 9</b> <i>Sensor MAP</i> .....	47
<b>Figura 10</b> <i>Ubicación del sensor MAF</i> .....	48
<b>Figura 11</b> <i>Sensor IAT</i> .....	49
<b>Figura 12</b> <i>Estructura ECU</i> .....	51
<b>Figura 13</b> <i>Diagrama de bloques ECU</i> .....	52
<b>Figura 14</b> <i>Partes del Inyector CRDI</i> .....	56
<b>Figura 15</b> <i>Partes del Inyector DENSO CR</i> .....	59
<b>Figura 16</b> <i>Estructura del Inyector DENSO CR Solenoide</i> .....	60
<b>Figura 12</b> <i>Inyector Denso Piezoeléctrico</i> .....	62
<b>Figura 18</b> <i>Caja de control</i> .....	65
<b>Figura 19</b> <i>Esquema eléctrico de circuito transformador de 110 VAC a 24 VDC</i> .....	66
<b>Figura 20</b> <i>Esquema eléctrico de circuito transformador de 110 VAC a 12 VDC</i> .....	66
<b>Figura 21</b> <i>Esquema eléctrico de circuito transformador de 110 VAC a 5 VDC</i> .....	67
<b>Figura 23</b> <i>Estructura ensamblada y pintada del módulo de pruebas</i> .....	70



<b>Figura 24</b> Diagrama de conexiones eléctricas. ....	71
<b>Figura 25</b> Módulo con distintos componentes del subsistema de control hidráulico.....	72
<b>Figura 26</b> Diagrama de conexiones hidráulicas. ....	73
<b>Figura 27</b> Identificación de pines de ECU Hino Serie 500 modelo DENSO 89661 – E0010.....	74
<b>Figura 28</b> Polarización de ECU Hino Serie 500 modelo DENSO 89661 – E0010 .....	75
<b>Figura 29</b> Disposición de los componentes de la parte superior del módulo.....	76
<b>Figura 30</b> Distribución de los inyectores con sus respectivos conectores y retornos .....	76
<b>Figura 31</b> Etiquetado de los componentes de la parte superior derecha.....	77
<b>Figura 32</b> Etiquetado de los componentes de la parte media izquierda .....	77
<b>Figura 33</b> Módulo de entrenamiento de inyección diésel CRDI finalizado.....	78
<b>Figura 34</b> Diagrama eléctrico del sensor CKP efecto Hall. ....	86
<b>Figura 35</b> Curva característica del sensor CKP efecto Hall.....	87
<b>Figura 36</b> Diagrama eléctrico del sensor CMP efecto Hall. ....	89
<b>Figura 37</b> Curva característica del sensor CMP efecto Hall. ....	89
<b>Figura 38</b> Diagrama eléctrico del sensor FRP. ....	91
<b>Figura 39</b> Curva característica del sensor FRP. ....	92
<b>Figura 40</b> Diagrama eléctrico del sensor MAF. ....	94
<b>Figura 41</b> Curva característica del sensor MAF.....	94
<b>Figura 42</b> Diagrama eléctrico del sensor ECT. ....	96
<b>Figura 43</b> Curva característica del sensor ECT. ....	97
<b>Figura 44</b> Diagrama eléctrico del inyector.....	99
<b>Figura 45</b> Curva característica del inyector.....	99
<b>Figura 46</b> Diagrama eléctrico de la válvula IPR. ....	101
<b>Figura 47</b> Curva característica de la válvula IPR. ....	101
<b>Figura 48</b> Diagrama eléctrico de la bomba de baja presión. ....	103
<b>Figura 49</b> Curva característica de la bomba de baja presión. ....	103

<b>Figura 50</b> <i>Sensor CKP</i> .....	108
<b>Figura 51</b> <i>Esquema de pines, segundo bloque</i> .....	108
<b>Figura 52</b> <i>Esquema de pines, cuarto bloque</i> .....	109
<b>Figura 53</b> <i>Sensor CMP</i> .....	110
<b>Figura 54</b> <i>Esquema de pines, cuarto bloque</i> .....	110
<b>Figura 55</b> <i>Señal sensor CMP</i> .....	111
<b>Figura 56</b> <i>Sensor APP</i> .....	112
<b>Figura 57</b> <i>Esquema de pines, primer y segundo bloque</i> .....	112
<b>Figura 58</b> <i>Apertura del acelerador en el sensor APP 1</i> .....	114
<b>Figura 59</b> <i>Sensor APP 2</i> .....	114
<b>Figura 60</b> <i>Esquema de pines, primer y segundo bloque</i> .....	115
<b>Figura 61</b> <i>Porcentaje de apertura sensor APP 2</i> .....	116
<b>Figura 62</b> <i>Sensor FRP</i> .....	117
<b>Figura 63</b> <i>Esquema de pines, segundo y cuarto bloque</i> .....	117
<b>Figura 64</b> <i>Sensor FTS</i> .....	119
<b>Figura 65</b> <i>Esquema de pines, cuarto y quinto bloque</i> .....	119
<b>Figura 66</b> <i>Sensor ECT</i> .....	121
<b>Figura 67</b> <i>Esquema de pines, cuarto y quinto bloque</i> .....	121
<b>Figura 68</b> <i>Sensor BPS</i> .....	123
<b>Figura 69</b> <i>Esquema de pines, cuarto bloque</i> .....	123

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Variable Independiente</i> .....	31
<b>Tabla 2</b> <i>Variables Dependientes</i> .....	33
<b>Tabla 3</b> <i>Valores de frecuencia y funcionamiento del sensor CKP</i> .....	40
<b>Tabla 4</b> <i>Valores de voltaje y funcionamiento del sensor CMP</i> .....	41
<b>Tabla 5</b> <i>Valores de voltaje y funcionamiento del sensor FRP</i> .....	42
<b>Tabla 6</b> <i>Valores de voltaje y funcionamiento del sensor ECT</i> .....	44
<b>Tabla 7</b> <i>Valores de voltaje y funcionamiento del sensor de oxígeno</i> .....	45
<b>Tabla 8</b> <i>Valores de voltaje y funcionamiento del sensor TPS</i> .....	46
<b>Tabla 9</b> <i>Valores de voltaje y funcionamiento del sensor MAP</i> .....	47
<b>Tabla 10</b> <i>Valores de voltaje y funcionamiento del sensor MAF</i> .....	49
<b>Tabla 11</b> <i>Parámetros Técnicos del Inyector DENSO</i> .....	61
<b>Tabla 12</b> <i>Valores de voltaje y funcionamiento del sensor MAF</i> .....	63
<b>Tabla 13</b> <i>Funciones características del multímetro MUT-105 TRUPER</i> .....	80
<b>Tabla 14</b> <i>Especificaciones del equipo G-SCOPE 2</i> .....	81
<b>Tabla 15</b> <i>Pin Code de la Hino Serie 500 modelo DENSO 89661 – E0010</i> .....	82
<b>Tabla 16</b> <i>Proceso de medición de voltaje referencial del sensor CKP</i> .....	87
<b>Tabla 17</b> <i>Proceso de medición de verificación de masa del sensor CKP</i> .....	88
<b>Tabla 18</b> <i>Proceso de medición de voltaje de señal del sensor CKP</i> .....	88
<b>Tabla 19</b> <i>Proceso de medición de voltaje de alimentación del sensor CMP</i> .....	90
<b>Tabla 20</b> <i>Proceso de medición de voltaje de masa del sensor CMP</i> .....	90
<b>Tabla 21</b> <i>Proceso de medición de voltaje de señal del sensor CMP</i> .....	91

<b>Tabla 22</b> <i>Proceso de medición de voltaje de alimentación del sensor FRP</i> .....	92
<b>Tabla 23</b> <i>Proceso de medición de voltaje de masa del sensor FRP</i> .....	93
<b>Tabla 24</b> <i>Proceso de medición de voltaje de señal del sensor FRP</i> .....	93
<b>Tabla 25</b> <i>Proceso de medición de voltaje de alimentación del sensor MAF</i> .....	95
<b>Tabla 26</b> <i>Proceso de medición de voltaje de masa del sensor MAF</i> .....	95
<b>Tabla 27</b> <i>Proceso de medición de voltaje de señal del sensor MAF</i> .....	96
<b>Tabla 28</b> <i>Proceso de medición de voltaje de alimentación del sensor ECT</i> .....	97
<b>Tabla 29</b> <i>Proceso de medición de voltaje de masa del sensor ECT</i> .....	98
<b>Tabla 30</b> <i>Proceso de medición de voltaje de señal del sensor ECT</i> .....	98
<b>Tabla 31</b> <i>Proceso de medición de voltaje de referencia de inyectores</i> .....	100
<b>Tabla 32</b> <i>Proceso de medición de voltaje de señal de inyectores</i> .....	100
<b>Tabla 33</b> <i>Proceso de medición de voltaje de referencia de válvula IPR</i> .....	102
<b>Tabla 34</b> <i>Proceso de medición de voltaje de señal de válvula IPR</i> .....	102
<b>Tabla 35</b> <i>Proceso de medición de voltaje de referencia bomba de baja presión</i> .....	104
<b>Tabla 36</b> <i>Proceso de medición de voltaje en masa de bomba de baja presión</i> .....	104
<b>Tabla 37</b> <i>Curvas características de los sensores del módulo de entrenamiento</i> .....	105
<b>Tabla 38</b> <i>Curvas características de los actuadores del módulo de entrenamiento</i> .....	107
<b>Tabla 39</b> <i>Valores máximos y mínimos de voltaje del sensor CKP</i> .....	109
<b>Tabla 40</b> <i>Valores máximos y mínimos de voltaje del sensor CMP</i> .....	111
<b>Tabla 41</b> <i>Terminales para el sensor APP1</i> .....	113
<b>Tabla 42</b> <i>Rango de voltajes tomados en los pines del sensor APP 1</i> .....	113
<b>Tabla 43</b> <i>Pines del sensor APP 2</i> .....	115
<b>Tabla 44</b> <i>Rango de voltajes del sensor APP 2</i> .....	116
<b>Tabla 45</b> <i>Pines del sensor FRP</i> .....	118
<b>Tabla 46</b> <i>Rango de voltajes del sensor FRP</i> .....	118
<b>Tabla 47</b> <i>Pines del sensor FTS</i> .....	120

<b>Tabla 48</b> <i>Rango de voltajes del sensor FTS</i> .....	120
<b>Tabla 49</b> <i>Pines del sensor ECT</i> .....	122
<b>Tabla 50</b> <i>Rango de voltajes del sensor ECT</i> .....	122
<b>Tabla 51</b> <i>Pines del sensor BPS</i> .....	124
<b>Tabla 52</b> <i>Rango de voltajes del sensor BPS</i> .....	124
<b>Tabla 53</b> <i>Códigos de error de los diferentes sensores presentes en el módulo</i> .....	125
<b>Tabla 54</b> <i>Recursos humanos</i> .....	126
<b>Tabla 55</b> <i>Recursos Tecnológicos</i> .....	127
<b>Tabla 56</b> <i>Costo Neto del Proyecto</i> .....	128

## Resumen

Se realizó la implementación del módulo de pruebas y entrenamiento del subsistema de control electrónico de inyección diésel riel común CRDI, con el cual se brinda una herramienta didáctica que permita un aprendizaje y entrenamiento técnico de calidad, utilizando instrumentos que permitan realizar pruebas, verificar parámetros de funcionamiento, aplicar mediciones y comparar resultados, de los principales elementos que componen el sistema de inyección electrónica de riel común, garantizando un aprovechamiento tangible de la información recabada. Se realizaron pruebas de funcionalidad de los componentes del sistema tanto electrónicos como hidráulicos. Además, se llevó a cabo el análisis de los valores registrados para comprobar el correcto desempeño de los sensores y actuadores del sistema. Se desarrolla la planificación del proyecto sus objetivos y los diferentes parámetros requeridos para llevarlo a cabo. Consta la recopilación de información del sistema CRDI y sus diferentes componentes de fuentes bibliográficas confiables para la comprensión del sistema a estudiar. Se considera los requerimientos para la creación del módulo a construir, tales como los materiales a utilizar y los procesos de medición necesarios para la obtención de los resultados a obtener, así como los equipos a utilizar para la obtención de estos. Finalmente se determina el marco administrativo en conjunto con las conclusiones y las recomendaciones.

*Palabras clave:* CRDI, sensores, inyección CRDI, actuadores hidráulicos.

## Abstract

The implementation of the test and training module of the CRDI common rail diesel injection electronic control subsystem was carried out, with which a didactic tool is provided that allows learning and quality technical training, using instruments that allow testing, verifying parameters of operation, apply measurements and compare results, of the main elements that make up the common rail electronic injection system, guaranteeing a tangible use of the information collected. Functionality tests of both electronic and hydraulic system components were performed. In addition, the analysis of the registered values was carried out to verify the correct performance of the sensors and actuators of the system. The planning of the project is developed, its objectives and the different parameters required to carry it out. There is a compilation of information from the CRDI system and its different components from reliable bibliographic sources for the understanding of the system to be studied. The requirements for the creation of the module to be built are considered, such as the materials to be used and the measurement processes necessary to obtain the results to be obtained, as well as the equipment to be used to obtain them. Finally, the administrative framework is determined together with the conclusions and recommendations.

*Keywords:* CRDI, sensors, CRDI injection, hydraulic actuators.

## Capítulo I

### Marco metodológico de la investigación

#### Antecedentes

En el sector automotriz es evidente el rápido avance tecnológico, llegando a fabricar motores con una amplia variedad de aplicaciones, con sistemas que usan una tecnología sumamente avanzada lo cual hace posible que dichos motores y vehículos sigan adaptándose a los requerimientos actuales tanto de desempeño y performance que requieren los consumidores, así como las exigencias legislativas y gubernamentales con respecto a la reducción de emisiones gaseosas contaminantes, lo cual parece ser la mayor amenaza para los motores de combustión interna. Actualmente existen motores pequeños y de gran eficiencia energética y de emisiones reducidas, a comparación de motores anticuados los cuales tendían a ser de gran tamaño, poco eficientes y muy contaminantes.

Según (Consuegra, 2007) afirma lo siguiente: Los sistemas de inyección hicieron que el motor diésel fuese lo que es hoy: económico, deportivo, limpio y silencioso. Son la clave del éxito y de la creciente difusión del motor diésel. Dependiendo del fabricante de automóviles, se emplean sistemas distintos, y con resultados iguales. Estos sistemas tienen en común que el carburante se inyecta a muy alta presión en los cilindros, controlando el proceso de inyección mismo de forma electrónica. Por lo tanto, siempre se alimenta la cantidad óptima de carburante en el momento exacto. Esto significa un rendimiento máximo con un consumo mínimo y pocas emisiones.” (p.55)

Los sistemas CRDI no tienen bombas de combustible de alta presión rotativas o lineales, a diferencia de los sistemas diésel convencionales. Los fabricantes principales de los dispositivos de control de los sistemas CRDI son las marcas Bosch,



Siemens, Delphi, Denso. Estos fabricantes se caracterizan por presentar diferencias considerables en el establecimiento de los parámetros de funcionamiento como regulación de presión, cantidad de flujo de combustible, estructura de regulación, retorno y el sistema electrónico de control y activación de los inyectores CRDI. Dentro de este sistema, se encuentra la válvula reguladora de presión, la cual regula la presión del riel común, reduciendo la presión en el circuito de alta presión descargando el combustible. Adicional a esto, también controla de manera precisa los picos de oscilaciones de presión y limitando la presión en el momento cuando exista una sobrepresión en el riel común. (Passo, Ulcuango, Toapanta, & Luna, 2019)

El diagnóstico de motores diésel electrónicos ha mejorado paulatinamente, puesto que se han implementado nuevos equipos de medición de los parámetros característicos de los mismos, más concretamente en lo que refiere al sistema de inyección electrónica. (Reyes, 2018) afirma lo siguiente:

El diagnóstico en motores diésel electrónicos ha mejorado con la implementación de nuevos equipos de medición de parámetros de funcionamiento del motor, exactamente de la parte de inyección diésel. La ayuda de equipos especializados para los parámetros de funcionamiento del sistema CRDI ayudan a tener exactitud en diagnóstico y seguridad para la persona que trabaja en ello, ya que el sistema maneja elevadas presiones de fluidos. (p. 15)

Dentro de los sistemas de inyección electrónica, el sistema CRDI promete ser candidato a permanecer como uno de los principales sistemas de inyección en motores Diesel, debido a su moderna tecnología y continuo progreso en mejoras de los elementos de dicho sistema, lo que difiere de sistemas anteriores con tecnologías en desuso. Este trabajo de investigación se basa en la implementación de un sistema CRDI que sirva de entrenamiento

para analizar el correcto funcionamiento tanto mecánico, electrónico e hidráulico de sensores y actuadores.

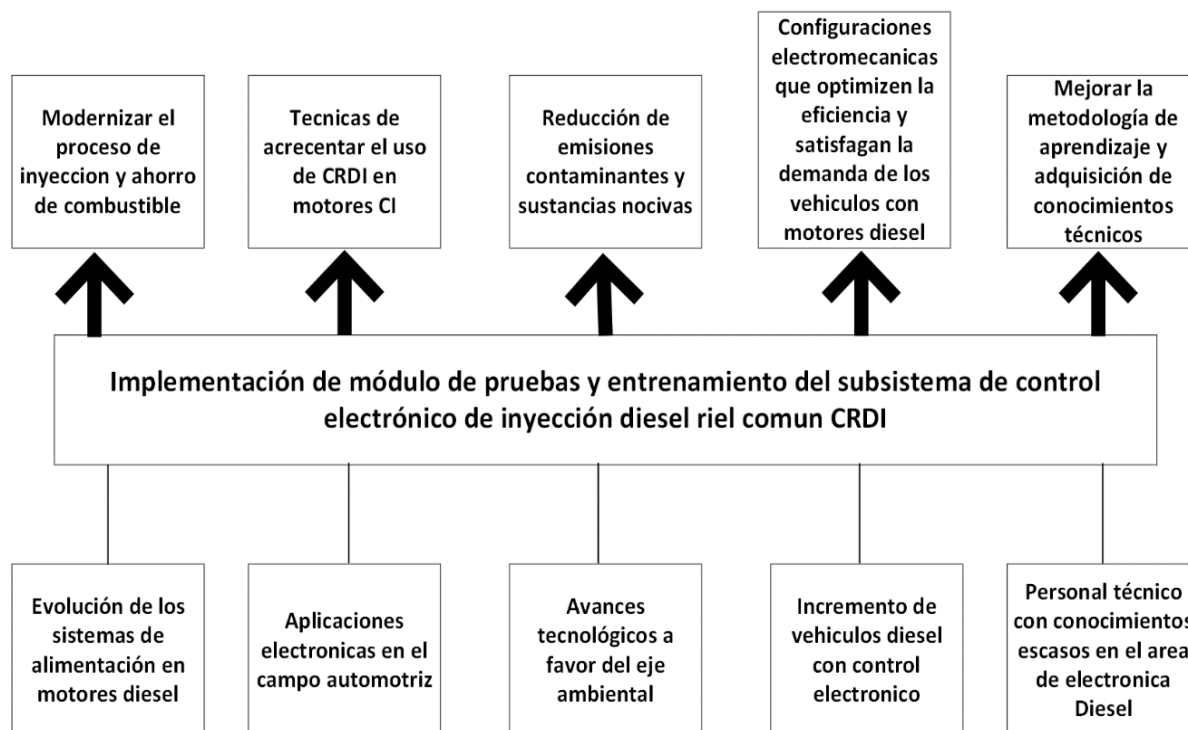
### **Planteamiento del Problema**

Los avances tecnológicos en el área automotriz son cada vez más crecientes e incursionan en los diferentes sistemas y subsistemas del vehículo en este caso en particular en los sistemas de inyección diésel, que figuran dentro los motores a combustión interna una de las opciones más usadas en la industria automotriz.

Actualmente los motores diésel disponen de un sistema de control electrónico lo cual resulta en una mayor eficiencia del motor, por lo cual es imprescindible que los técnicos del campo automotriz estén capacitados para prever, subsanar y evitar averías además de ser capaces de dar un correcto mantenimiento al sistema, por esta razón el personal técnico debe ser apto para conocer este sistema de forma amplia y sin dificultades, quienes además deben familiarizarse fácilmente con los tópicos que a este sistema se refieren.

Hoy en día el sistema que produce las mejores prestaciones y a su vez, es más favorable con el medio ambiente que sus predecesores, es el sistema de inyección diésel CRDI, que adapta todos sus componentes para cumplir una función óptima de inyección de combustible comandada electrónicamente por una ECU. Por este motivo es imperante la necesidad del profundo conocimiento del funcionamiento y equipo de diagnóstico para este sistema de inyección electrónica diésel, con el objetivo de poder evitar daños permanentes, diagnosticar una posible falla y estudiar los parámetros concretos de funcionamiento de inyectores CRDI.

Con la finalidad de analizar este sistema tan versátil y provechoso con sus componentes y elementos, se realiza la investigación con el tema “Implementación de módulo de pruebas y entrenamiento del subsistema de control electrónico de inyección diésel riel común CRDI”.

**Figura 1***Mapa de Problemas*

*Nota.* En la figura muestra la descripción en el árbol de problemas

**Descripción del proyecto**

El presente trabajo de investigación se puntualizaron los pasos a seguir a continuación señalados.

Se realizó la búsqueda y recolección de información técnica especializada de diferentes fuentes confiables referente a los sistemas de inyección electrónica, especialmente en sistemas CRDI riel común. Se seleccionó los diferentes elementos eléctricos, electrónicos y mecánicos que componen el sistema, además de los materiales del módulo. Se procedió a implementar el módulo de pruebas del subsistema de control electrónico de inyección diésel riel común CRDI.

A continuación, se hace el análisis de funcionamiento y operación de los componentes del sistema de inyección con control electrónico de riel común, analizados tanto individualmente, así como en conjunto que compone el sistema completo, verificando los parámetros que cada uno genera.

Posteriormente se elaboró el protocolo de pruebas de cada uno de los componentes utilizando instrumentos y herramientas tales como el multímetro, voltímetro, osciloscopios de bajo voltaje y trazadores de señales, los cuales poseen tecnología avanzada capaz de detectar fallos y errores de funcionamiento por mínimos que estos puedan llegar a ser.

### **Justificación e Importancia**

La comprensión de la tecnología y comportamiento de los componentes de inyección diésel, más concretamente de los inyectores, es importante debido al desarrollo y evolución tecnología de los sistemas y subsistemas en los motores diésel y a que el mayor porcentaje de vehículos en el país son de tecnología diésel, ya que según (Petroecuador, 2022) afirma que:

Según el informe de la entidad pública, un 35% de los vehículos usan diésel, cuyo galón cuesta \$1,75. Un 30,5% emplean gasolina extra y un 27,8% gasolina extra con etanol (ecopaís). El diésel 2, que tiene fines industriales, corresponde al 0,6% restante de los combustibles subsidiados.

En la nación ecuatoriana hay un gran número de vehículos terrestres que utilizan el sistema Common Rail Direct Injection. Esto debido a que se apegan a las normativas medioambientales establecidas por las políticas nacionales. Estos vehículos cuentan con motores de gran torque para las prestaciones de trabajo más altas, y aún más como el que existe en el país. Por este motivo el sistema CRDI requiere de un adecuado proceso para su mantenimiento, tanto correctivos como preventivos, aunque principalmente para la calibración de los inyectores CRDI, los cuales deben alcanzar un

buen funcionamiento tanto en el motor como en el sistema CRDI como tal. (Coral de la cadena, 2013)

Los vehículos modernos requieren de sensores, para el análisis de los datos en vivo que proporciona el motor, y de esta manera poder cambiar los parámetros de funcionamiento del mismo según requiera el usuario, (Medina, 2018) refiere lo siguiente:

Los automóviles actuales tienen una cantidad importante de sensores (de 60 a 70 sensores en algunos casos). Estos sensores son necesarios para la gestión electrónica del automóvil y son utilizados por las unidades de control que gestionan el funcionamiento del motor, así como la seguridad y el confort del vehículo. (p. 4)

Con esta investigación se obtiene un método de entrenador didáctico para poder satisfacer las necesidades de aprendizaje y adquisición de conocimientos necesarios debido al incremento del número de unidades de vehículos con unidades de potencia diésel con control de inyección electrónica, y con esto permitir que técnicos, estudiantes y personas a fin al área automotriz se beneficien de esta investigación con mayor conocimiento en dichos tópicos, esto debido a que se requiere mayor mano de obra especializada en sistemas Common Rail Direct Injection por el creciente número de vehículos que poseen este sistema.

## **Objetivos**

### ***Objetivo General***

- Implementar el módulo de pruebas y entrenamiento del subsistema de control electrónico de inyección diésel riel común CRDI.

### **Objetivos Específicos**

- Buscar y recolectar información técnica especializada de diferentes fuentes confiables referente a los sistemas de inyección electrónica CRDI.
- Seleccionar los elementos eléctricos, electrónicos y mecánicos que componen el sistema, además de los materiales del módulo.
- Implementar el módulo de pruebas del subsistema de control electrónico de inyección diésel riel común CRDI.
- Analizar el funcionamiento y operación de los componentes del sistema de inyección con control electrónico de riel común electrónico, analizados tanto individualmente, así como en conjunto que compone el sistema completo, verificando los parámetros que cada uno genera. Obtener curvas de funcionamiento de voltaje, corriente y traza de imágenes de los inyectores CRDI.
- Elaborar el protocolo de pruebas a los componentes del módulo.

### **Metas**

- Construir un módulo de pruebas de sistemas de control electrónico CRDI con un 90% de similitud a un módulo real, que permita realizar el entrenamiento de manera efectiva.
- Realizar pruebas en tiempo real del sistema de inyección electrónica que evidencie el funcionamiento óptimo del sistema.

### **Hipótesis**

¿La implementación del módulo de pruebas de sistemas de control electrónico CRDI permitirá obtener los parámetros de funcionamiento necesarios para realizar un diagnóstico adecuado?

### **Variables de investigación**

#### ***Variable independiente***

- Subsistema de control electrónico.

**Tabla 1***Variable Independiente*

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Los parámetros electromecánicos son medidas físicas, que los componentes del sistema como son los sensores y actuadores nos proporcionan, para saber bajo que condiciones específicas estos trabajan y se relacionan entre sí, y como la variación de estos influye en el sistema CRDI	Académico Tecnológico	Presión de riel de combustible			
		Voltaje de activación válvula IPR	[psi]	Medición	Guía de pruebas. Registro de datos.
		Voltaje de referencia. Voltaje de alimentación. Voltaje de masa	[v]		
		Flujo Másico de aire	[kg/s]	Medición	Guía de pruebas. Registro de datos.
		Temperatura del combustible	[C °]	Medición	Guía de pruebas. Registro de datos
		Posición del cigüeñal	[°]	Medición	Guía de pruebas. Registro de datos
		Posición del árbol de levas	[°]	Medición	Proceso de pruebas. Registro de datos
Temperatura del refrigerante	[C °]	Medición	Proceso de pruebas. Registro de datos		

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
		Voltaje de activación del inyector.	[v]		
		Voltaje de referencia.			
		Voltaje de alimentación.		Medición	Proceso de pruebas. Registro de datos
		Voltaje de masa	[A]		
		Corriente de activación del inyector			

*Nota.* La tabla describe las variables independientes con sus unidades y descripción

***Variables dependientes***

- Sistema CRDI



**Tabla 2***Variables Dependientes*

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Sistema de inyección electrónica directa para motores Diesel que usan un riel común para efectuar la inyección de combustible.	Académico tecnológico	Presión del sistema de alimentación	[V] (Voltios)	Medición	Proceso de pruebas. Modelo de práctica
		Temperatura de aire de entrada	[C °] (Grados centígrados)	Medición	Proceso de pruebas Modelo de práctica
		Voltajes de operación del control electrónico	[V] (Voltios)	Medición	Proceso de pruebas Modelo de práctica
		Métodos para el autodiagnóstico	[DTC] (Diagnostic Trouble Code)	Medición	Proceso de pruebas Modelo de práctica

*Nota.* La tabla describe las variables dependientes con sus unidades y descripción

**Metodología de desarrollo del proyecto**

Para alcanzar los objetivos propuestos se aplicarán metodologías de diversas características, y técnicas provenientes de varias ramas de la ciencia, la incidencia de cada método depende de cada uno de los puntos expuestos en esta investigación, dichos métodos son; método experimental, método de medición, método científico, método deductivo, método inductivo.

***Método experimental***

Este método permitió realizar pruebas en tiempo real de los componentes del sistema como sensores y actuadores, cuyos resultados deben satisfacer los parámetros esperados, como la toma de datos en vivo con equipos de diagnóstico automotrices del módulo de entrenamiento CRDI.

***Método de medición***

Con la ayuda de este método se obtiene los datos de voltajes, resistencias y corrientes de funcionamiento de los sensores y actuadores para comprobar el sistema. Esto se logra con el multímetro automotriz donde se podrá verificar los voltajes de alimentación, masa, activación, de señal de los diferentes sensores que posee el módulo y se podrá verificar el estado de este.

***Método de observación directa***

Mediante este método se verifica que el funcionamiento y puesta a punto del conjunto modular sea el correcto, se desarrolle de manera fluida y sin interrupciones, de manera que al poner en funcionamiento el módulo se pueda observar a simple vista el estado del módulo de entrenamiento CRDI.

***Método deductivo***

Por medio de este método se analizan los valores obtenidos de funcionamiento como voltajes, resistencias, intensidad, frecuencia entre otros, para recopilar información para una base de datos.

***Método inductivo***

Por medio de este método se puede obtener rangos de voltaje y analizar si estos se encuentran dentro de las directrices establecidas como funcionamiento normal del sistema.

## Capítulo II

### Marco teórico

#### Sistema de inyección electrónica

(Laica, 2012) afirma que:

Los sistemas de inyección electrónica son estructuras independientes del motor de combustión, el cual no acciona dicho sistema, comandado electrónicamente y dosifica el combustible controlando la mezcla aire-combustible en función de las necesidades inmediatas del motor. El propósito es dar equilibrio de funcionamiento para el motor, a través de un rígido control de la mezcla aire-combustible y del ángulo de encendido, en cualquier régimen de trabajo, proporcionando mayor desempeño, menor consumo, facilidad de arranque en frío y calor y principalmente, menor emisión de gases contaminantes. (p.68)

El sistema de Common-rail o conducto común es un sistema de inyección de combustible electrónico para motores diésel de inyección directa en el que el diésel es aspirado directamente del depósito de combustible a una bomba de alta presión y ésta a su vez lo envía a un conducto común para todos los inyectores y por alta presión al cilindro. (Jacome & Lopez, 2013)

#### ***Sistemas Common Rail***

(Arizaga & Torres, 2014) aseguran que;

Los vehículos operados con diesel, toman cada día mucha importancia debido a varios factores, entre estos esta la problemática mundial respecto al costo del combustible, y los efectos de emisiones de gases de escape en la salud de seres vivos y el ambiente.

El desarrollo en la gestión electromecánica de la inyección en los nuevos sistemas Diesel ha permitido incorporar la inyección Diesel en vehículos cada día más pequeños, contrario al pensamiento que se tenía anteriormente, lo cual relacionaba el combustible Diesel solo con camiones.

### **Sistema de inyección electrónica CRDI**

De acuerdo con (Guerra, Alexis, Jairo, & Jefferson, 2021) refieren que:

La tecnología de inyección directa common rail (CRDI) ofrece posibilidades ilimitadas al controlar los parámetros de inyección de combustible, como la presión de inyección de combustible, el tiempo de inicio de la inyección (SOI), la tasa de combustible, inyección y duración de la inyección. Los sistemas CRDI disponibles comercialmente son bastante complejos y utilizan una gran cantidad de sensores, hardware y circuitos analíticos, lo que los hace muy costosos e inviables para motores mono-cilíndricos más baratos, típicamente utilizados en el sector agrícola y el sector energético descentralizado. (p. 54)

#### ***Componentes del sistema CRDI***

Los componentes sistemas de inyección electrónica CRDI se dividen básicamente en dos grupos, los elementos de baja presión o circuito de baja presión y los elementos de alta presión o circuito de alta presión.

El circuito de baja presión comprende los elementos que se encuentran desde el tanque de combustible hasta llegar la bomba de alta presión, y recibe este nombre debido a que la presión en este tramo llega hasta los 6 Bar, mucho menos que en el circuito de alta presión.

El circuito de alta presión está conformado por los elementos que se encuentran desde la bomba de alta presión hasta los inyectores, su nombre se debe a que la presión en este

intervalo puede llegar hasta los 2000 Bar, presión necesaria para pulverizar el combustible y obtener una mezcla estequiométrica óptima.

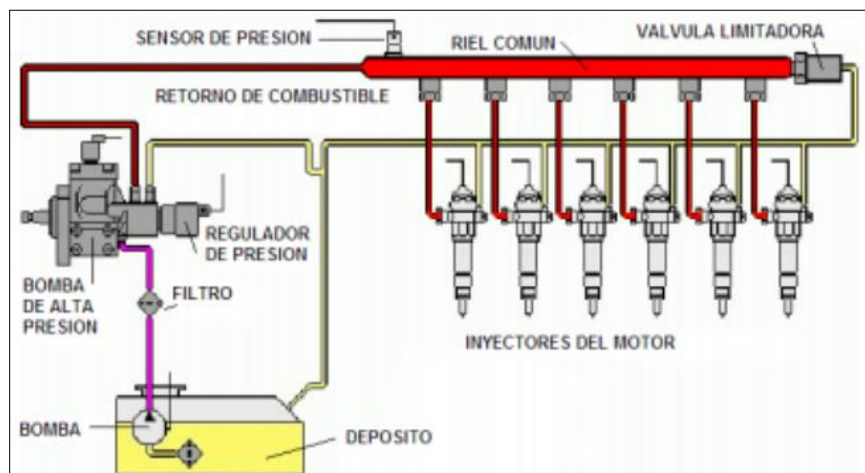
Partes del circuito de baja presión:

- Tanque de combustible
- Filtro previo mallado
- Cañerías de baja presión
- Bomba de suministro o de baja presión
- Filtro de combustible

Los componentes del circuito de alta presión son:

- Bomba de alta presión
- Riel común con válvula reguladora de presión y regulador de flujo
- Sensor de presión de riel común
- Cañerías de alta presión
- Inyectores
- Cañerías de retorno de combustible

Además, el sistema posee algunos elementos electrónicos como el sensor de presión montado en el riel común, y por su puesto la unidad de control electrónica de inyección encargada de comandar el sistema de inyección electrónicamente, empleando un sin número parámetros del motor.

**Figura 2***Componentes del Sistema CRDI*

*Nota.* En la figura se observa los componentes del sistema CRDI. Tomado de (Arizaga & Torres, 2014)

**Sensores automotrices**

Debido a la crisis energética que hubo en la década de los años 1970, se ingeniaron nuevas medidas ambientales debido a la creciente contaminación existente en aquellos tiempos, por lo que los gobiernos implementaron normas estrictas de emisiones de gases. Por esta razón la tecnología automotriz se vio obligada a evolucionar e innovar en nuevos sistemas más eficientes, los cuales fueran capaces de aprovechar mejor la energía calorífica producida en la combustión, tener menores pérdidas mecánicas y por lo tanto menor consumo de combustible, lo que resulta en una menor emisión de gases contaminantes.

Los sensores automotrices son dispositivos electrónicos que trabajan en correlación, los cuales miden las diferentes magnitudes medibles en el motor, enviando señales de voltaje a la computadora o ECU (Electronic Control Unit), la cual las recibe y compara en su memoria,

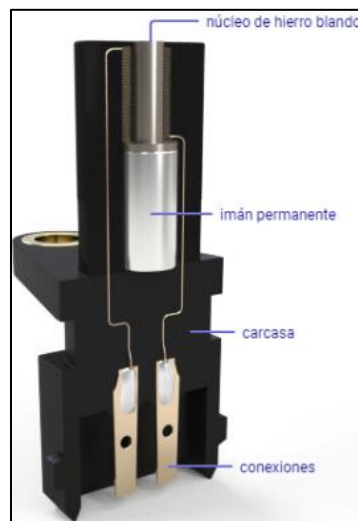
emitiendo órdenes a los diferentes actuadores del motor para determinar su modo de funcionamiento.

### Sensor CKP

El sensor CKP es aquel que se encarga del registro de la velocidad del motor y de la posición del cigüeñal, lo cual se determina mediante los dientes que posee el volante de inercia. Este dispositivo puede ser de distintos tipos, los cuales pueden ser efecto Hall, inductivo, magnético u ópticos.

### Figura 3

*Sensor CKP*



*Nota.* En la figura se muestra la sección de un sensor CKP. Tomado de (Electude Beheer, 2020)

**Tabla 3**

*Valores de frecuencia y funcionamiento del sensor CKP*

<b>RPM</b>	<b>Frecuencia (Hz)</b>	<b>Periodo (ms)</b>
880	0,833	1,2
2640	2,5	0,4
3520	3,33	0,31
3840	3,63	0,27

*Nota.* La tabla 3 presenta los valores de variación de frecuencia según varía las revoluciones del motor. Tomado de (Erazo & Sasilema, 2019)

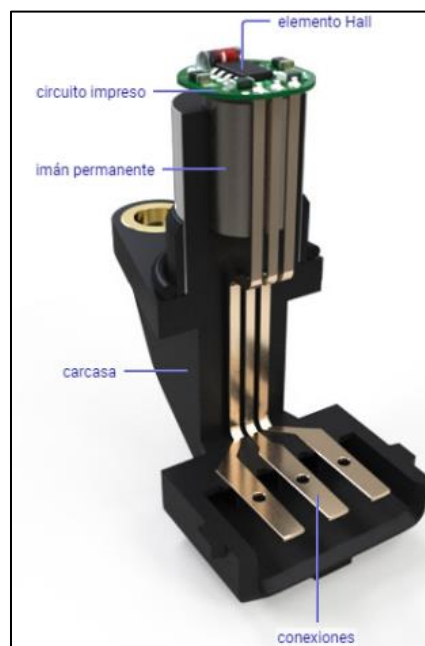
### **Sensor CMP**

El sensor CMP es aquel sensor que se encarga del registro de la velocidad y posición de árbol o árboles de levas. Trabaja en conjunto con el sensor CKP, los cuales son los encargados de la inyección del motor.



## Figura 4

### Sensor CMP



*Nota.* En la figura se muestra un despiece del sensor CMP. Tomado de (Electude Beheer, 2020)

## Tabla 4

*Valores de voltaje y funcionamiento del sensor CMP*

Pines	Denominación	Voltaje (v)
1	Masa	0,01
2	Señal	0-5
3	Alimentación	12

*Nota.* La tabla muestra los valores de voltaje del sensor CMP en sus diferentes pines. Tomado de (Erazo & Sasilema, 2019)

## Sensor FRP

El sensor de presión de riel es un dispositivo encargado que mide la presión del riel común, existente en los sistemas CRDI (Common Rail Direct Injection).

### Figura 5

*Sensor FRP para Mazda BT50 2.5 CRDI*



*Nota.* En la figura se muestra un Sensor FRP para Mazda BT50 2.5 CRDI. Tomado de (Cueva & Zuñiga, 2016)

### Tabla 5

*Valores de voltaje y funcionamiento del sensor FRP*

<b>Carga del motor (RPM)</b>	<b>Presión (BAR)</b>	<b>Voltaje (v)</b>
Contacto ON	0	0,5
Ralentí	300	1,2
3000	600	2
Plena carga en circulación	1300	4,3

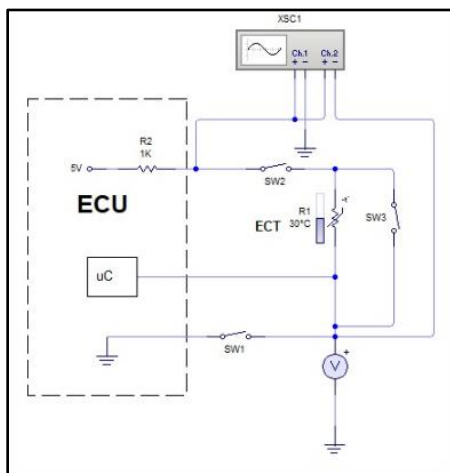
*Nota.* En la tabla se muestra los valores de voltaje de un sensor FRP. Recuperado de (Erazo & Sasilema, 2019)

## Sensor ECT

El sensor ECT es aquel que se encarga de medir y sensar la temperatura de refrigerante del motor.

### Figura 6

*Esquema electrónico de sensor ECT*



*Nota.* En la figura se muestra un esquema electrónico del sensor ECT. Tomado de (Electude Beheer, 2020)

El sensor de temperatura del refrigerante se ubica en un orificio en el bloque del motor o bien en conjunto con la carcasa del termostato, el refrigerante que rodea las paredes de los cilindros dentro de las ranuras disipa el calor de los cilindros por transferencia de calor, el ECT mide la temperatura de este refrigerante.

**Tabla 6**

*Valores de voltaje y funcionamiento del sensor ECT*

Indicador de temperatura °C	Voltaje (v)
10	3,8
20	3
60	1,4
80	0,8
100	0,45

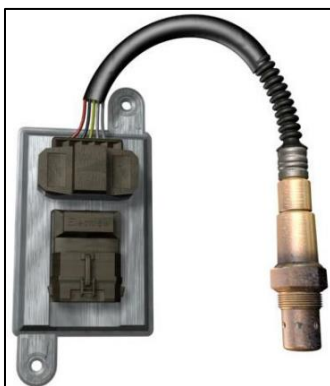
*Nota.* En la tabla se observa los valores de voltaje siendo inversamente proporcionales a la temperatura del motor. Tomado de (Erazo & Sasilema, 2019)

### **Sensor de Oxígeno**

El sensor de oxígeno se encarga de la concentración de oxígeno en los gases de escape. Además de esto se ocupa de determinar si la mezcla de carburante utilizado presenta exceso o escasez de combustible.

### **Figura 7**

*Sensor de oxígeno*



*Nota.* En la figura se muestra un sensor de oxígeno. Tomado de (Electude Beheer, 2020)

**Tabla 7**

*Valores de voltaje y funcionamiento del sensor de oxígeno*

<b>Lambda</b>	<b>Mezcla</b>	<b>Voltaje (v)</b>
Menor a 1	Mezcla rica	0,9
Mayor a 1	Mezcla pobre	0,1

*Nota.* En la tabla se muestra valores de voltaje y funcionamiento. Tomado de (Balseca & Peñafiel, 2019)

### **Sensor TPS**

El sensor de posición de pedal de acelerador es aquel que se encarga de medir la posición del pedal mediante un ángulo y una señal eléctrica, enviada a la ECU, la cual mide en ángulo de apertura de la mariposa del cuerpo de aceleración, midiendo de esta manera la aceleración o desaceleración deseada por el usuario, siendo de esta manera que se tiene una comunicación con el sistema de inyección de combustible, para tener una cantidad de inyección mayor o menor, según sea la necesidad del conductor.

### **Figura 8**

*Sensor TPS*



*Nota.* En la figura se muestra un sensor TPS. Tomado de (Armijos & Mejia, 2015)

**Tabla 8**

*Valores de voltaje y funcionamiento del sensor TPS*

<b>Ángulo rotacional (grados)</b>	<b>Voltaje (v)</b>	
	0	0
Bajo el rango de medición	10	0,45
Ralentí	13	0,9
	20	1,44
	30	1,9
	40	2,37
Funcionamiento del potenciómetro	50	2,84
	60	3,31
	70	3,78
	80	4,24
Mariposa abierta total	84	4,53
	90	4,53
Sobre el rango de medición	10	5

*Nota.* En la tabla se muestra valores de voltaje de un sensor TPS. Tomado de (Balseca & Peñafiel, 2019)

### **Sensor MAP**

Es el encargado de medir las variaciones de presión dentro del múltiple de admisión, en donde este sensor envía una señal a la ECU, con la cual se puede controlar la combustión y el abastecimiento de combustible en las distintas condiciones de carga y altitud del motor.

## Figura 9

*Sensor MAP*



*Nota.* En la figura se muestra un sensor MAP. Tomado de (Armijos & Mejia, 2015)

## Tabla 9

*Valores de voltaje y funcionamiento del sensor MAP*

Presión del múltiple (Kpa)	Presión de vacío (Kpa)	Voltaje (v)
0	100	0,3
10	90	0,3
20	80	0,6
30	70	1,1
40	60	1,7
50	50	2,2
60	40	2,7
70	30	3,3
80	20	3,8
90	10	4,4
100	0	4,9

*Nota.* En la tabla se muestra valores de voltaje y de funcionamiento de un sensor MAP.

Tomado de (Balseca & Peñafiel, 2019).

## Sensor MAF

Este sensor es el encargado de medir la cantidad de aire que ingresa al motor, siendo también que se encarga mediante un hilo de platino caliente de mantener la temperatura del aire a la admisión del motor para una óptima combustión.

### Figura 10

*Ubicación del sensor MAF*



*Nota.* En la figura 13 se muestra la ubicación de un sensor MAF. Tomado de (Electude Beheer, 2020)

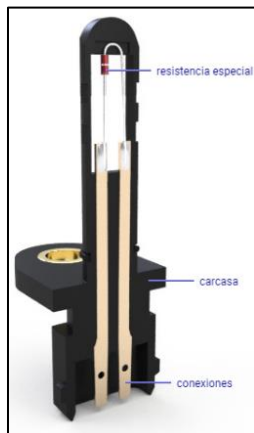
## Sensor IAT

Dicho sensor se encarga de medir la temperatura del aire para poder dar una señal a la unidad del control electrónico para, dependiendo de la temperatura del aire, poder ajustar el tiempo de inyección o mezcla de combustible.



## Figura 11

### Sensor IAT



*Nota.* En la figura se muestra un sensor IAT. Tomado de (Electude Beheer, 2020)

## Tabla 10

### Valores de voltaje y funcionamiento del sensor MAF

Pines	En contacto (v)	Ralentí (Pin)	Plena carga
Alimentación	12 V	1	12 V
Señal MAF	5 V	2	4 V a 4.5 V
Señal IAT	2.5 V a 4 V	Temperatura	Ambiente

*Nota.* En la tabla se muestra valores de voltaje y funcionamiento del sensor MAF y IAT.

Tomado de (Lema & Lopez, 2016)

## **Unidad de Control Electrónico ECU**

(Laica, 2012) afirma que:

Unidad Electrónica de Control está constituida por un conjunto de componentes electrónicos dispuestos en placas de circuito impreso, alojadas en una caja de aluminio, provistas de aletas para su refrigeración. Hasta la unidad llegan las diversas señales sobre el funcionamiento del motor, que son transmitidas por diferentes sensores, las evalúa y calcula las señales de activación para los elementos actuadores.

La ECU, unidad de control electrónico por sus siglas en inglés basa su funcionamiento en el principio básico de un computador, en el cual existen entrada de datos, procesamiento de los datos de entrada y salida de datos.

En la unidad electrónica de control, consta en primer lugar de unas entradas de información que proceden de los sensores. Esta información, permanece mientras está en funcionamiento el motor, penetra por las “etapas de entrada” que está compuesta por dos elementos: el conformador de impulsos y el convertidor analógico digital (A/D) (Laica, 2012).

Desde las etapas de entrada, la información, pasa al interior del microordenador a través de un conducto de “Entrada/Salida”. Desde este punto los datos se distribuyen según su frecuencia a través del intercambiador de datos que lo transporta al “Bus”. El Bus está formado por un conjunto de líneas de transmisión que permiten el acceso a todas las unidades preparadas para la recepción. Son pues las vías a través de las cuales se alimenta de información a cada una de las unidades integradas fundamentales de la ECU. (Laica, 2012)

**Figura 12***Estructura ECU*

*Nota.* La figura esquematiza el funcionamiento básico de la ECU por sus etapas. Tomado de (Casanova, 2014)

(Casanova, 2014) afirma que:

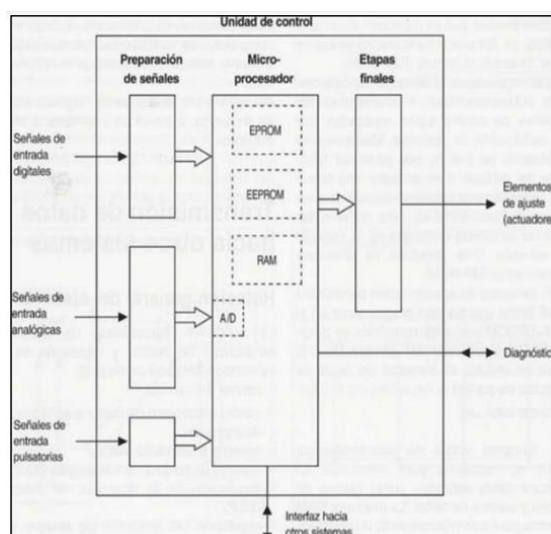
La unidad electrónica de control evalúa las señales recibidas desde los sensores externos y las limita a un nivel de voltaje permisible. Con los datos de entrada y con los mapas característicos almacenados, el microprocesador del ECM calcula la cantidad y tiempo de inyección. Las señales de salida desde el microprocesador del ECM se utilizan para controlar las etapas de conducción que suministran la energía apropiada para conmutar los actuadores que controlan la presión del riel y cambiar el interruptor a OFF. Adicionalmente, son accionados los actuadores para el funcionamiento 42 del motor (por ejemplo, el actuador EGR, relé para bomba eléctrica de combustible, etc.), así como para aquellas otras funciones auxiliares tales como el relé de bujías incandescentes o del aire acondicionado. (p. 42)

(Laica, 2012) señala que:

Para un motor con inyección de combustible, una ECU determinará la cantidad de combustible que se inyecta basándose en un cierto número de parámetros. Si el acelerador está presionado a fondo. La ECU inyectará más combustible según la cantidad de aire que esté pasando al motor. Si el motor no ha alcanzado la temperatura suficiente, la cantidad de combustible inyectado será mayor (haciendo que la mezcla sea más rica hasta que el motor esté caliente). Sin embargo, la ECU proporciona un control más minucioso. Por ejemplo, se utiliza un sistema de control de aprendizaje para mantener en todo momento una proporción óptima de mezcla en ralentí. (p. 8)

**Figura 13**

*Diagrama de bloques ECU*



*Nota.* La figura muestra el procesamiento de señales de la ECU (Erazo & Sasilema, 2019)

Además de controlar la inyección de combustible la ECU tiene otras funciones entre las que destacan:

- **Controlar el regulador de presión:** Regula la presión elevándola o disminuyéndola conforme sean las necesidades del motor, generalmente esta trabaja con un controlador adicional.
- **Controlar el tiempo de inyección:** La ECU puede ordenar cuanto tiempo permanecen abiertos los inyectores para optimizar el consumo de combustible y mejorar el desempeño del motor.
- **Control de marcha en ralentí:** Aumenta el régimen de funcionamiento del motor cuando la ECU detecta que existe un consumo de tensión elevado de la batería cuando varios elementos están encendidos.

### **Desarrollo de la fase de inyección**

El proceso de inyección se realiza en tres partes, las cuales se realizan en secuencia para su correcto funcionamiento, dichas partes son:

- Inyección previa
- Inyección Principal
- Inyección posterior o final

#### ***Inyección previa***

(Gomez, Loachamin, & Guerra, 2017) afirma: “La inyección previa consiste en la emisión de un pequeño caudal de diésel de hasta 4 mm<sup>3</sup>, obteniendo varios beneficios como la reducción del ruido de combustión, disminución de consumo de combustible y en muchos casos de gases contaminantes.”

#### ***Inyección principal***

Según (Alarcon & Jaramillo, 2007) “Es la responsable de la energía de trabajo, su inicio se obtiene pocos grados antes, durante o después del PMS. El volumen que proporciona el inyector en la inyección principal oscila entre 0,1 cm<sup>3</sup>, el combustible a alta presión se inflama y crea una expansión con la fuerza

máxima de trabajo.”

### ***Inyección posterior***

La inyección posterior, la cual sigue a la inyección principal durante el tiempo de explosión, hasta 200°C, después del punto muerto superior. Este combustible sirve como elemento catalítico en los sistemas catalizadores de los motores contemporáneos diseñados para cumplir con estrictas normativas medioambientales (EURO). (Gomez, Loachamin, & Guerra, 2017)

### **Inyector electrónico CRDI**

Según (Coral de la cadena, 2013) refiere que:

La misión de los inyectores es la de realizar la pulverización de la pequeña cantidad de combustible y de dirigir el chorro de tal modo que el combustible sea esparcido homogéneamente por toda la cámara de combustión. Los inyectores son unos elementos muy solicitados, lapeados conjuntamente cuerpo y aguja (fabricados con ajustes muy precisos y hechos expresamente el uno para el otro), que trabajan a presiones muy elevadas de hasta 2000 aperturas por minuto y a unas temperaturas de entre 500 y 600° C. (p. 42)

La atomización de combustible afecta directamente la eficiencia de combustión de la mezcla de combustible y aire en el cilindro de un motor diésel. Si el suministro de combustible no es uniforme en un momento dado, entonces el motor diésel pierde potencia en diferentes modos de funcionamiento, el escape del diésel se vuelve negro, el motor comienza a triplicarse, etc. El motor diésel no arranca bien "en frío", funciona de manera inestable "en caliente". Por lo que es el inyector es uno de los elementos más importantes dentro de los sistemas de inyección CRDI.

## **Ubicación de los inyectores**

La ubicación y montaje de los inyectores depende del tipo de inyección que tenga el sistema sea este directo o indirecto, sin embargo, la ubicación general de los inyectores es entre el riel común y los agujeros en el múltiple de admisión en la culata del motor.

Los inyectores van montados a un mismo riel por donde circula el combustible a alta presión, de ahí su nombre de “Riel común”, este ensamble entre inyector y riel debe ser totalmente hermético, es decir de conservar las altas presiones a las que trabaja el sistema sin sufrir ningún tipo de fuga, ni de presión, ni de combustible, esto se logra gracias al uso de arandelas de estanqueidad generalmente hechas de cobre, que este al ser un material suave y maleable, tiene las propiedades adecuadas para proporcionar un sello hermético en sistemas donde se trabaje con presiones elevadas.

El riel común ubicado en el circuito de alta presión actúa como un acumulador, guardando el combustible bajo alta presión hasta que este sea requerido para su respectiva inyección a la cámara de combustión.

Un conector electrónico el cual comanda la apertura y cierre de la inyección, va conectado en un extremo de los inyectores, mientras que su otro extremo va montado en la culata del motor mediante elementos de fijación. Desde el riel común existen líneas de alta presión las cuales van conectadas al inyector mediante conectores de alta presión.

## **Principio de funcionamiento del inyector**

(Coral de la cadena, 2013) asegura:

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 el 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)

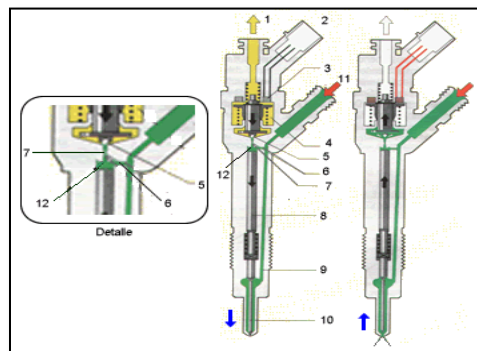
### Partes del inyector

Los inyectores en sistemas de riel común tienen genéricamente las mismas partes ya que funcionan bajo el mismo principio de inyección estas partes, son el conjunto que forman el inyector electrónico sin embargo este también presenta partes mecánicas, lo que lo hace un conjunto electromecánico. Además, el diseño de las partes que componen este tipo de inyector en este tipo de sistemas CRDI, proporciona mayor flujo de combustible, para satisfacer las demandas de potencia más altas y emisiones más bajas del motor.

Sus partes principales son:

### Figura 14

#### *Partes del Inyector CRDI*



*Nota.* En la figura se observa las partes que contiene un inyector CRDI. Tomado de (Coral de la cadena, 2013)



***Retorno de combustible***

Apertura por la cual el combustible no combustionado regresa al depósito de combustible por la línea de retorno.

***Conexión eléctrica***

Conector electrónico el cual va conectado a la UCE que comanda la apertura y cierre del inyector.

***Electroválvula***

Válvula comandada electrónicamente, se magnetiza para dejar pasar el combustible hacia el extremo del inyector.

***Muelle***

Devuelve a su posición a la aguja sobre el asiento del inyector y cesa la inyección.

***Bola de válvula***

Esfera metálica que sirve para mantener abierto o cerrado el orificio de paso de combustible dentro del inyector.

***Estrangulador de entrada***

Canal por donde ingresa el combustible al cuerpo del inyector, tiene una reducción en su diámetro.

***Estrangulador de salida***

Canal por donde el combustible sale hacia el orificio de retorno de combustible.

***Embolo de control de válvula***

Pistón alargado el cual se mueve alternativamente de arriba hacia abajo permitiendo la salida de combustible al desplazarse verticalmente y dejar abierto el orificio de salida.

***Canal de afluencia***

Canal que comunica la salida de del inyector con la entrada.

***Aguja del inyector***

Cuando existe un pulso, el magnetismo creado por este levanta la aguja, y se entrega el combustible.

***Entrada de combustible a presión***

Canal hacia donde llegan las líneas de alta presión provenientes del riel común

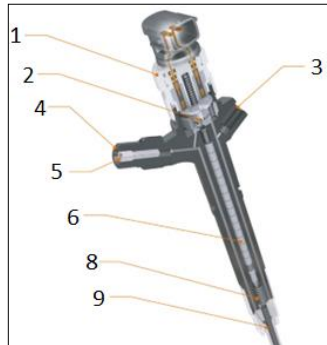
***Cámara de control***

Recamara donde se dividen los canales de afluencia y de retorno.

**Inyector Denso**

A diferencia de otro tipo de inyectores, el inyector Denso tiene un asiento, que es donde se asienta la válvula de bola, manteniendo comunicado la alta presión del riel para inyectar y abrir el retorno. Sin embargo, las bases del funcionamiento de los inyectores solenoides sigue siendo los mismos para todos los casos ya sea Bosch, Denso o Delphi, y otras marcas, gracias al uso de un solenoide.

Según (Almendariz & Naranjo, 2022): “Disponen de una resistencia de 0.8 a 1 ohm obteniendo tiempos de inyección de combustible de 0,4 a 1,5 milisegundos, tiempos en los cuales se ha producido la pre inyección e inyección principal hasta alcanzar las 3000 Rpm. El inyector permanece sin activarse cuando no hay excitación del solenoide la fuerza aplicada por el muelle de la válvula es mayor a la presión hidráulica ejercida en la cámara de control, ante esto la válvula de 3 vías no permite que haya inyección cerrando el orificio de la salida de combustible. La presión del circuito hidráulico se aplica al pistón de mando y está al muelle de la tobera del inyector compartiéndola para impedir la inyección de combustible.”

**Figura 15***Partes del Inyector DENSO CR*

*Nota.* En la figura se puede ver como son las partes del inyector CR. Adaptado de catálogo DENSO aftermarket (Denso , 2022).

1. *Solenoid*

2. *Válvula*

3. *Puerto de retorno*

4. *Puerto de entrada de alta presión*

5. *Filtro de entrada*

6. *Embolo de control*

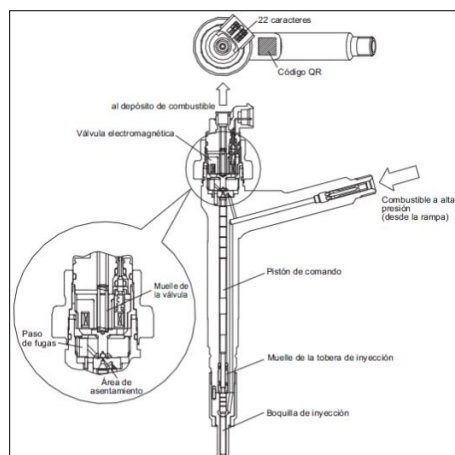
8. *Muelle de boquilla*

9. *Boquilla*

## Estructura del inyector Denso

### Figura 16

#### *Estructura del Inyector DENSO CR Solenoide*



*Nota.* En la figura se observa la estructura interna del inyector CR. Tomado de (DENSO CORPORATION, 2007)

La válvula de tres vías abre y cierra el orificio de salida para regular la presión hidráulica de la cámara de control y controlar el inicio y el final de la inyección.

No hay inyección, cuando no se aplica ninguna corriente al solenoide, la fuerza del muelle de la válvula es superior a la presión hidráulica de la cámara de control. Por consiguiente, la válvula de tres vías es presionada hacia abajo, cerrando el orificio de salida. Por ello, la presión hidráulica de la cámara de control que se aplica al pistón de mando provoca que el muelle de la tobera del inyector se comprima. Esto cierra la aguja de la tobera de inyección, impidiendo que se inyecte el combustible. (Coral de la cadena, 2013)

“Cuando se aplica corriente inicialmente al solenoide, la fuerza de atracción de este empuja la TWV hacia arriba, abriendo el orificio de salida y permitiendo el paso del

combustible a la cámara de control. Una vez que fluye el combustible, la presión hidráulica de la cámara de control disminuye, empujando hacia arriba al pistón de mando. Esto provoca la elevación de la tobera de inyección y el comienzo de la inyección.” (Coral de la cadena, 2013).

El combustible que ingresa hacia el orificio de salida pasa por el puerto de retorno y también por el émbolo de mando, este combustible empuje al émbolo hacia arriba, haciendo que la boquilla de inyección se abra y se cierre alternadamente.

Cuando la corriente fluye al solenoide, la tobera alcanza su máxima altura de apertura lo que hace que la cantidad de combustible inyectado sea el máximo. Cuando la corriente deja de fluir al solenoide, la válvula de dos vías se desplaza hacia abajo, haciendo que la aguja de la tobera del inyector se cierre inmediatamente y se detenga la inyección.

**Tabla 11**

*Parámetros Técnicos del Inyector DENSO*

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
<b>Resistencia</b>	0,8 – 1 [ $\Omega$ ]
<b>Voltaje</b>	5 [V]
<b>Corriente</b>	12 [A] (Apertura)
	20 [A] (Mantenimiento)
<b>Presión de apertura</b>	200 [BAR]
<b>Presión máxima</b>	1800 [BAR]

*Nota.* En la tabla se muestra los detalles técnicos de un inyector DENSO. Tomado de (Denso , 2022).

### ***Inyector piezoeléctrico Denso***

En los inyectores de tipo piezoeléctrico, las presiones pueden llegar hasta 2700 bar. Este tipo de inyector opera con variaciones a partir de expansiones y contracciones del cuerpo del inyector debido al voltaje que se le aplica.

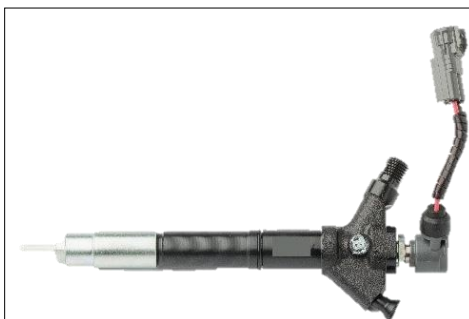
Se caracteriza por ser mucho más delgado y armonioso que el del tipo solenoide. Este tipo de inyector presenta en su cuerpo entero una gran cantidad de discos piezoeléctricos internamente, tan delgados, que puede haber 300 discos, uno encima del otro.

Asimismo, el inyector piezoeléctrico internamente ya no tiene una bobina como el solenoide en el que se pueda realizar mediciones de resistencia eléctrica. El inyector piezoeléctrico funciona a partir de estas variaciones en el cuerpo a gracias al voltaje que se le aplica, que es directamente proporcional a esta expansión.

En resumen, entre mayor sea el voltaje aplicado, mayor será la expansión de los discos piezoeléctricos, lo que se traduce en una mayor cantidad de inyección. Los inyectores piezoeléctricos son capaces de operar en rangos de hasta 250 voltios.

### **Figura 17**

*Inyector Denso Piezoeléctrico*



*Nota.* En la figura se muestra los detalles técnicos de un inyector DENSO. Tomado de catálogo DENSO aftermarket Iberia (Denso , 2022)

## Código QR

(Coral de la cadena, 2013) asegura: “Los códigos QR (Quick Response) han sido adoptados para aumentar la precisión de la cantidad de inyección. La adopción de estos códigos QR permite controlar la dispersión de la cantidad de inyección en todos los márgenes de presión,

**Tabla 12**

*Valores de voltaje y funcionamiento del sensor MAF*

<b>Pines</b>	<b>En contacto (v)</b>	<b>Ralentí (Pin)</b>	<b>Plena carga</b>
Alimentación	12 V	1	12 V
Señal MAF	5 V	2	4 V a 4.5 V
Señal IAT	2.5 V a 4 V	Temperatura	Ambiente

*Nota.* En la tabla se muestra valores de voltaje y funcionamiento del sensor MAF. Tomado de (Lema & Lopez, 2016)

## Capítulo III

### Implementación y pruebas del módulo

#### Requerimientos

Para la construcción e implementación del módulo de entrenamiento de inyección diésel riel común CRDI, se requiere el espacio adecuado dentro del laboratorio de Autotrónica, donde se creó un aula dedicada al estudio de los sistemas Common Rail Direct Injection. Este módulo de entrenamiento consta de:

- ECU (Unidad de Control Electrónico) Hino Serie 500 modelo DENSO 89661 – E0010
- Estructura metálica adecuada para las diferentes conexiones electrónicas e hidráulicas del sistema
- Cuatro inyectores DENSO 6593 05N 00403 inductivos.
- Motor trifásico el cual se encarga de la rotación de la bomba de alta presión.
- Bomba de combustible de alta presión DENSO HP3.
- Riel común CRDI del sistema DENSO HP3 junto con las cañerías de combustible.
- Sensor FRP (Fuel Riel Presion) el cual se encarga de elevar o disminuir la presión dentro del riel común según requiera el usuario.
- Caja de control electrónica para monitorizar y variar los valores de las magnitudes de los distintos sensores implementados para el control de la inyección del módulo.
- Cuatro probetas para monitorear y observar la cantidad de inyección de combustible de cada uno de los inyectores que estén en funcionamiento.
- Cuatro probetas de retorno para medir el retorno que posee cada inyector.
- Dos electroválvulas para el vaciado de combustible de las probetas y retorno hacia el tanque de combustible.



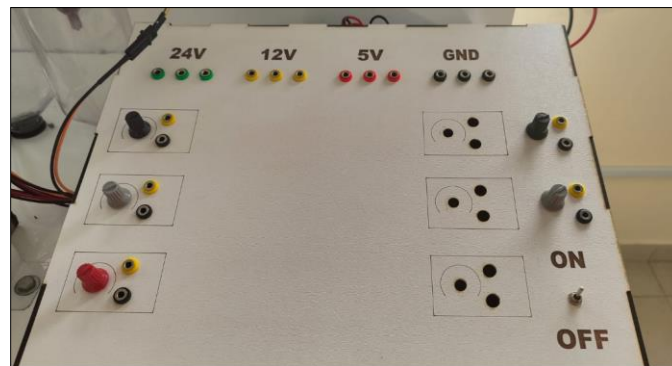
- Una bomba de combustible de baja presión DENSO.
- Dos manómetros medidores de presión en el riel común y para la presión de la bomba de combustible del circuito de baja presión.
- Un filtro de combustible para filtrar las impurezas del combustible.

### Diseño eléctrico

Para la construcción de la caja de control electrónica se procedió a tomar las medidas de la Unidad de Control Electrónico (ECU) para que sea colocada en el centro de la caja de control, obteniendo una superficie de 40 x 35 cm. Alrededor del espacio sobrante se colocaron las conexiones para las perillas de variación de los distintos sensores implementados, así como distintas salidas de voltajes y GND, teniendo una salida de 24 V, una salida de 12 V y una salida de 5V.

### Figura 18

*Caja de control*



*Nota.* La figura muestra la caja de control que posee salidas de diferentes voltajes.

Se requirió el diseño de diferentes circuitos de conversión de voltaje de corriente alterna 110 V, a las distintas salidas de voltaje antes mencionadas de corriente directa.

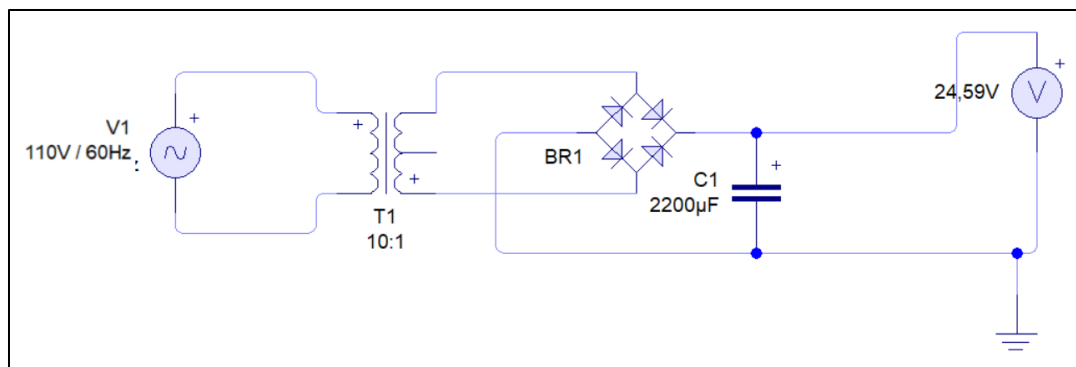
- Diagrama electrónico LiveWire transformador a 24, 12 y 5V.

Se presentan los diagramas eléctricos utilizados y creado para la caja de control, el cual consiste en una serie de elementos electrónicos los cuales rectifican la entrada de voltaje de

corriente alterna a una salida de corriente directa de voltaje variable. El mismo principio es utilizado para las salidas de voltaje diferentes.

**Figura 19**

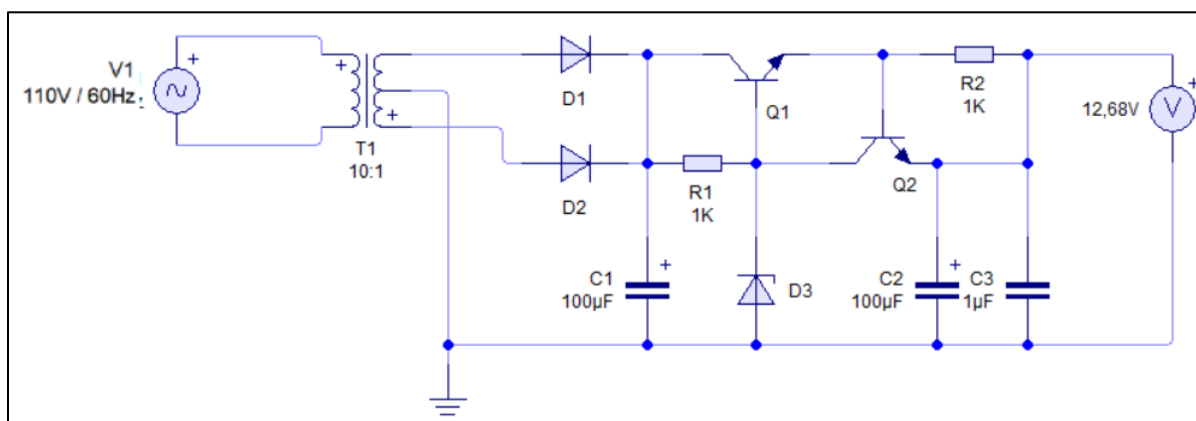
*Esquema eléctrico de circuito transformador de 110 VAC a 24 VDC*



*Nota.* La imagen presenta el diagrama eléctrico utilizado y creado para la caja de control para la salida de 24 voltios para la alimentación de la ECU.

**Figura 20**

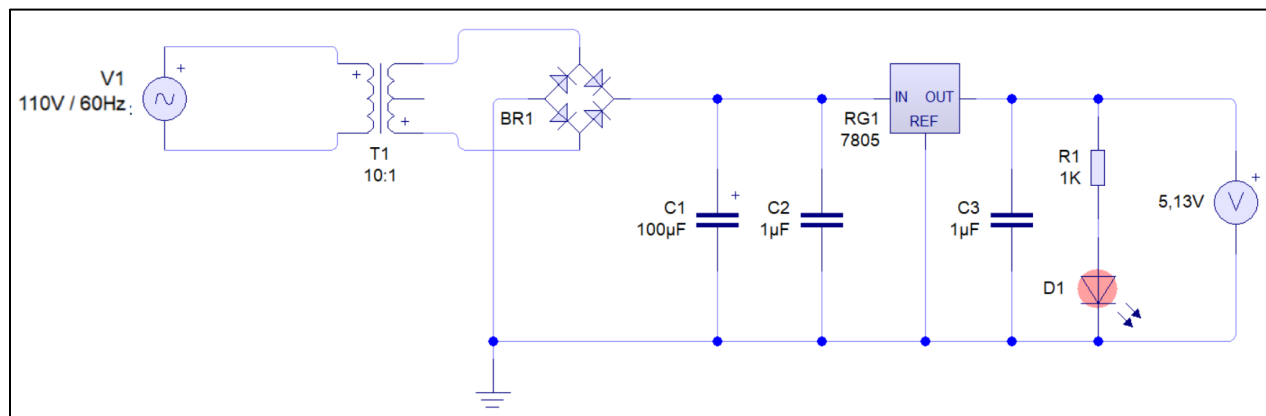
*Esquema eléctrico de circuito transformador de 110 VAC a 12 VDC*



*Nota.* La imagen presenta el diagrama eléctrico utilizado y creado para la caja de control para la salida de 12 voltios para la alimentación de la bomba de combustible de baja presión.

**Figura 21**

Esquema eléctrico de circuito transformador de 110 VAC a 5 VDC



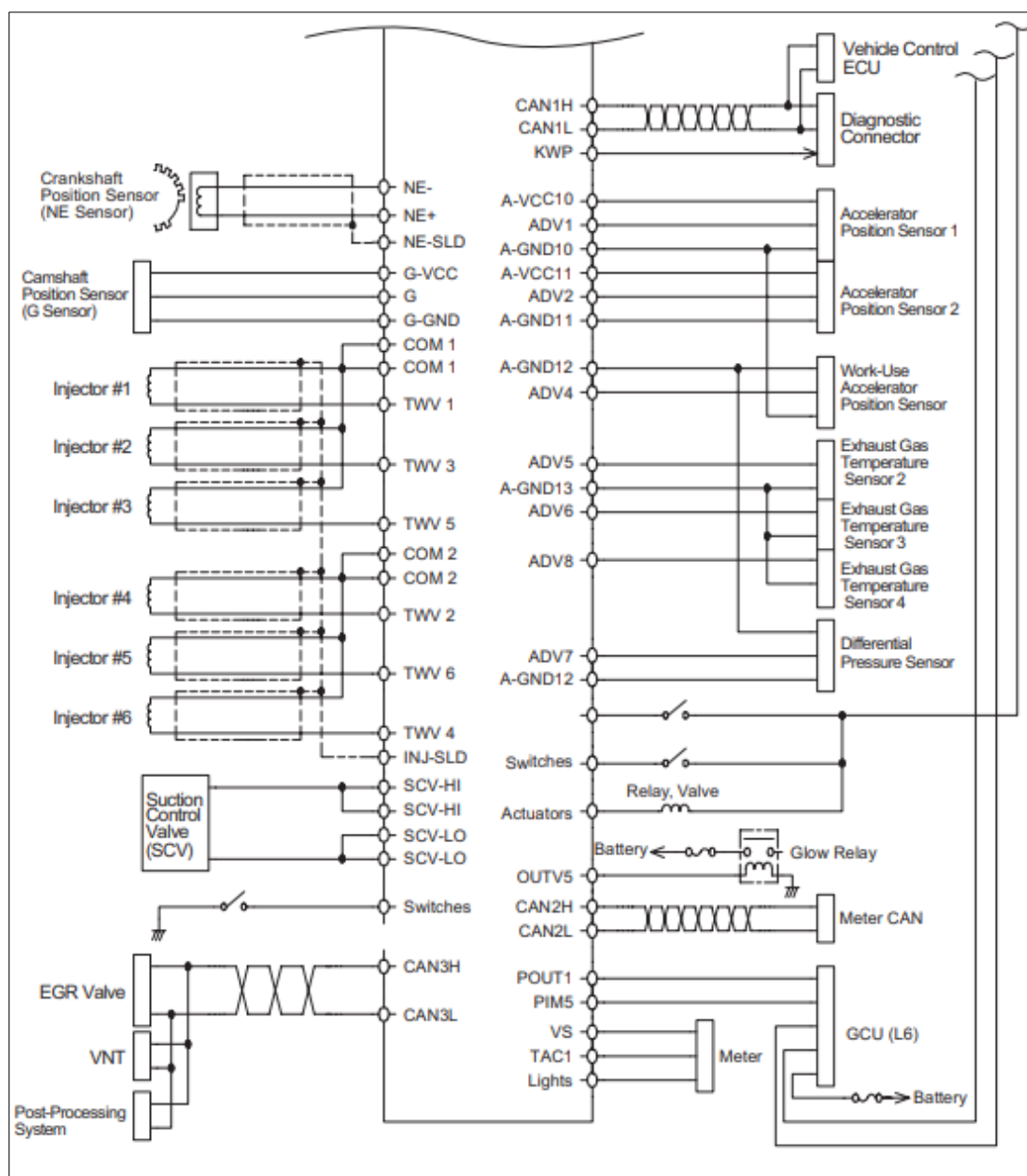
*Nota.* La imagen presenta el diagrama eléctrico utilizado y creado para la caja de control para la salida de 5 voltios para el voltaje de señal de los sensores.

## ECU (Unidad de Control Electrónico) Hino Serie 500 modelo DENSO 89661 – E0010

A continuación, se muestra el diagrama eléctrico de la Unidad de Control Electrónico del módulo de entrenamiento.

**Figura 22**

*Diagrama eléctrico de la Unidad de Control Electrónico*



*Nota.* La imagen presenta el diagrama eléctrico de la ECU Hino Serie 500 modelo DENSO 89661 – E0010. Tomado de (DENSO CORPORATION, 2007).

### **Construcción del módulo**

Una vez construida la caja de control electrónico se procede al acople de todos los componentes y la colocación de estos en la estructura previamente obtenida y construida. Se procede a realizar cada una de las conexiones eléctricas para el funcionamiento de la Unidad de Control Electrónico que comandará los pulsos de inyección de los inyectores diésel y el funcionamiento de cada uno de los sensores implementados, así como de la generación de señales características de CKP y CMP, las que trabajan en correlación para el encendido del motor, es decir, que exista pulsos de inyección de combustible.

En primera instancia se tomaron medidas para la creación de la estructura en donde se procederán a acoplar los diferentes elementos que componen tanto el subsistema de control electrónico (caja de control, ECU, conexiones eléctricas para electroválvulas de vaciado, conexiones eléctricas para bomba de baja presión, etc.), como el subsistema de control hidráulico como se muestra en la figura 17.

**Figura 23**

*Estructura ensamblada y pintada del módulo de pruebas*

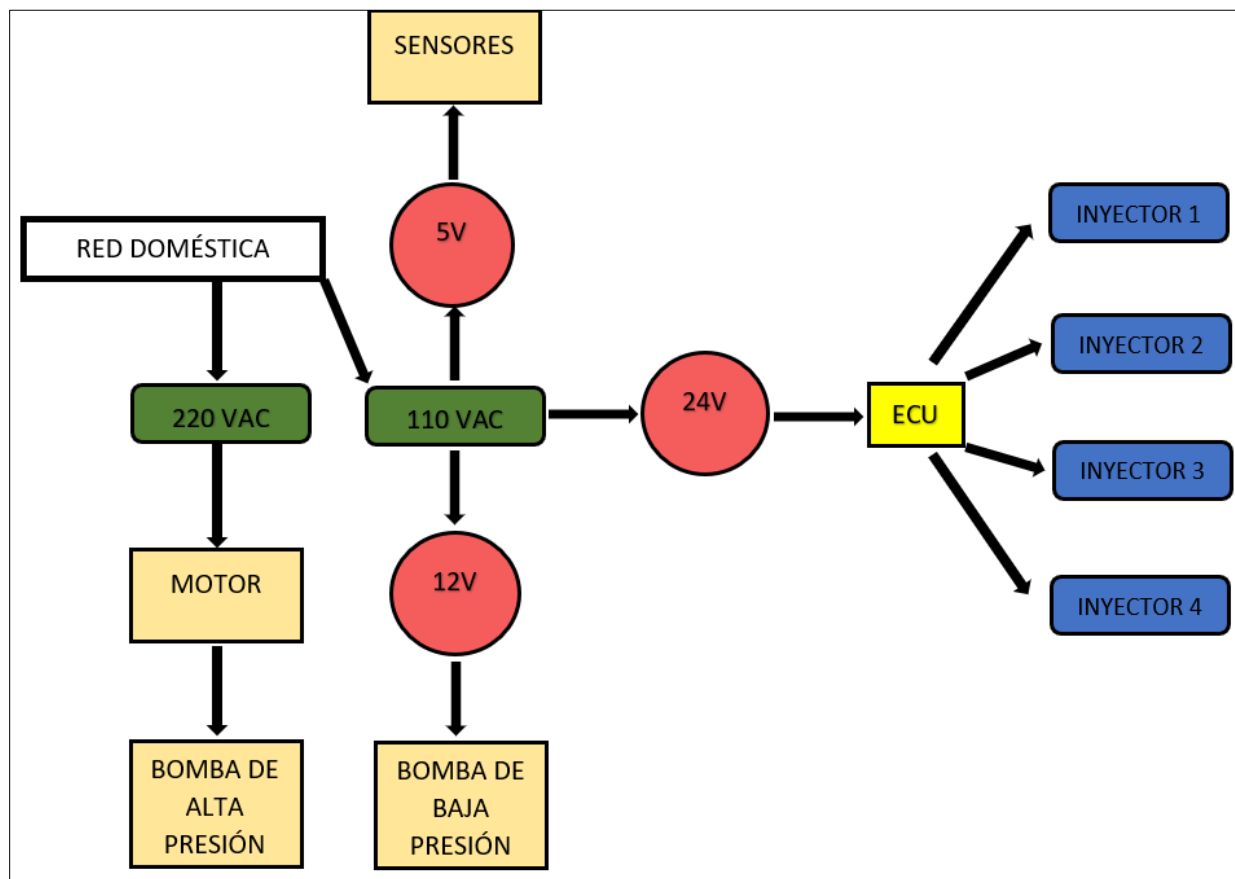


*Nota.* La imagen presenta la estructura y armazón donde será construido el módulo.

Una vez realizada la estructura, se procede a colocar los elementos del subsistema hidráulico como la bomba de alta presión, el motor trifásico encargado de dar movimiento a la bomba, las conexiones de mangueras y cañerías para el transporte de combustible hasta los inyectores.

Figura 24

Diagrama de conexiones eléctricas

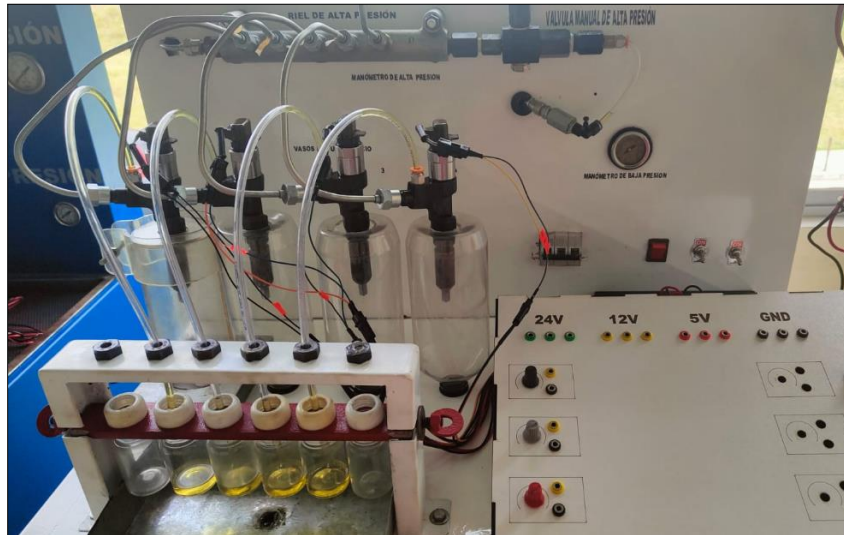


*Nota.* La imagen presenta el esquema de conexión y la distribución de los distintos dispositivos con sus respectivos voltajes de alimentación.

A continuación se requiere la colocación de el riel común junto con un manómetro, cañerías, válvula de control de presión manual, así como de la disposición del espacio para los vasos de retorno y los vasos de medición de la cantidad de combustible inyectado como se muestra a continuación.

**Figura 25**

*Módulo con distintos componentes del subsistema de control hidráulico*



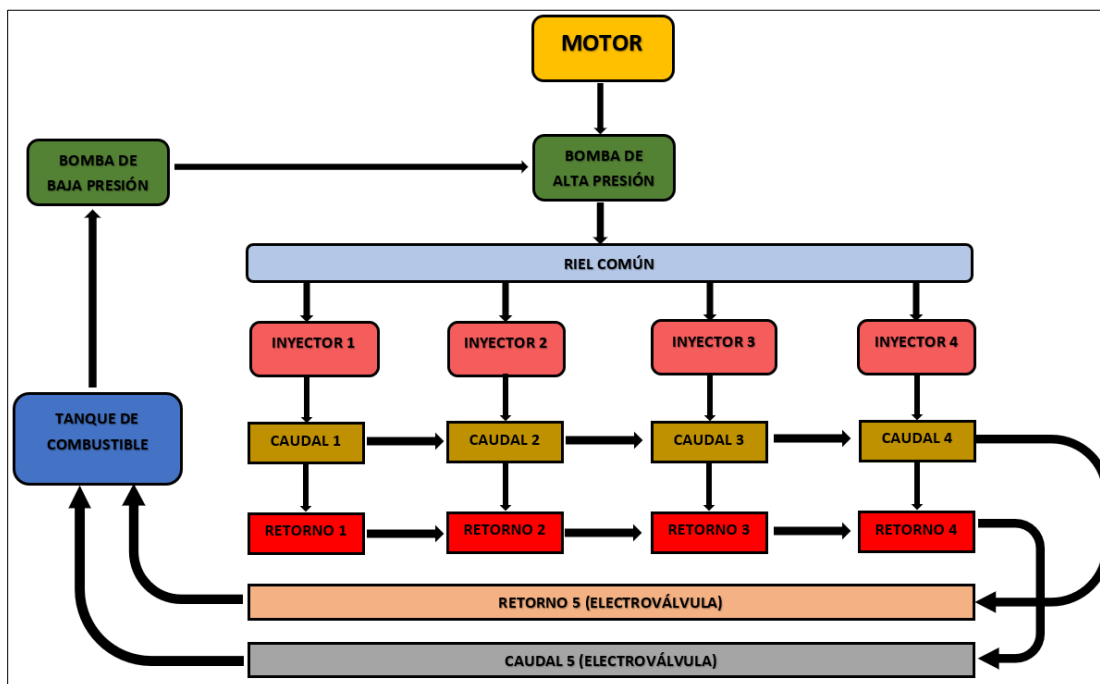
*Nota.* La imagen presenta la parte donde se encuentra el subsistema de control hidráulico.

Posterior a esto, se procede con la conexión y colocación de cada uno de los inyectores en las cañerías de combustible, los cuales se encuentra en la parte izquierda del módulo, junto con los vasos de retorno correspondientes.



Figura 26

Diagrama de conexiones hidráulicas



*Nota.* La imagen presenta el diagrama de conexiones hidráulicas del módulo de entrenamiento CRDI.

A continuación se procede con la identificación de los diferentes pines de la Unidad de Control Electrónico, para proceder con las conexiones necesarias para controlar los diferentes parámetros de la inyección de combustible y el óptimo funcionamiento de los inyectores CRDI, para poder observar el fenómeno de la pulverización del combustible y realizar las mediciones necesarias para determinar el buen o mal funcionamiento del sistema como tal.

**Figura 27**

*Identificación de pines de ECU Hino Serie 500 modelo DENSO 89661 – E0010*

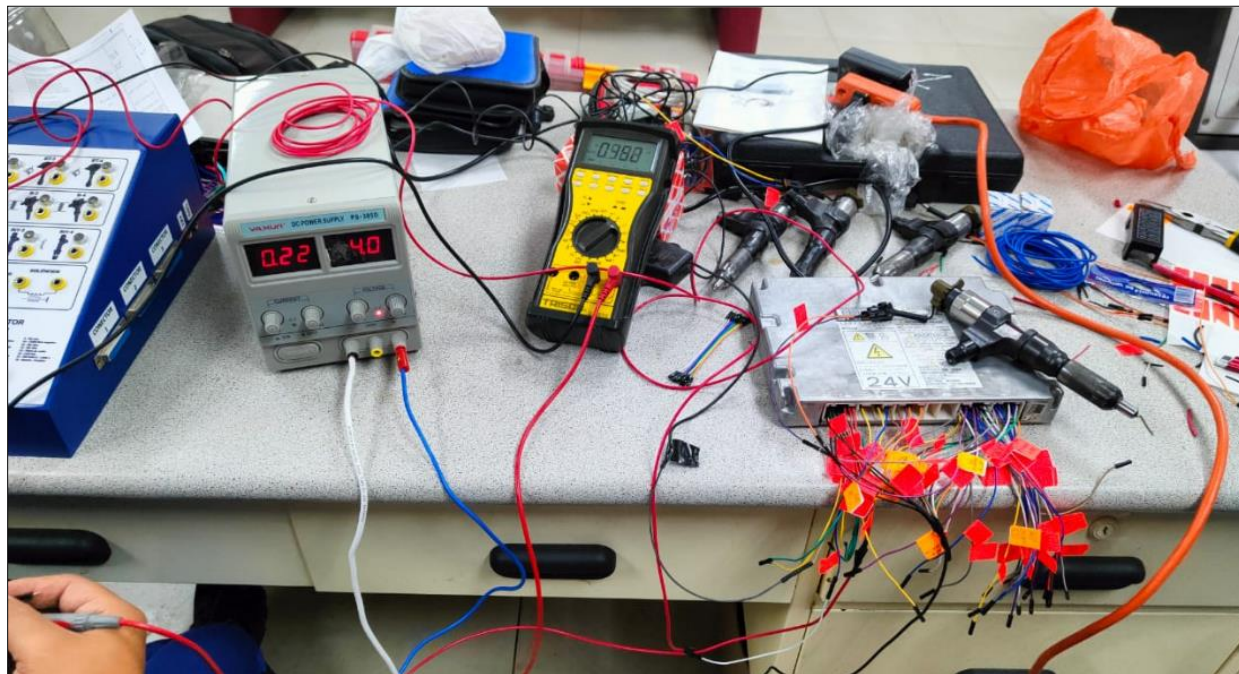


*Nota.* La imagen presenta la parte donde se encuentra la identificación de pines de la ECU.

Realizada la identificación de los pines de la ECU se procede con la polarización de la misma, para medir las salidas de voltaje que posee cada uno de los componentes a analizar y verificar el buen estado de funcionamiento de la ECU, la cual cabe destacar, opera con 24 voltios de corriente directa.

**Figura 28**

*Polarización de ECU Hino Serie 500 modelo DENSO 89661 – E0010*

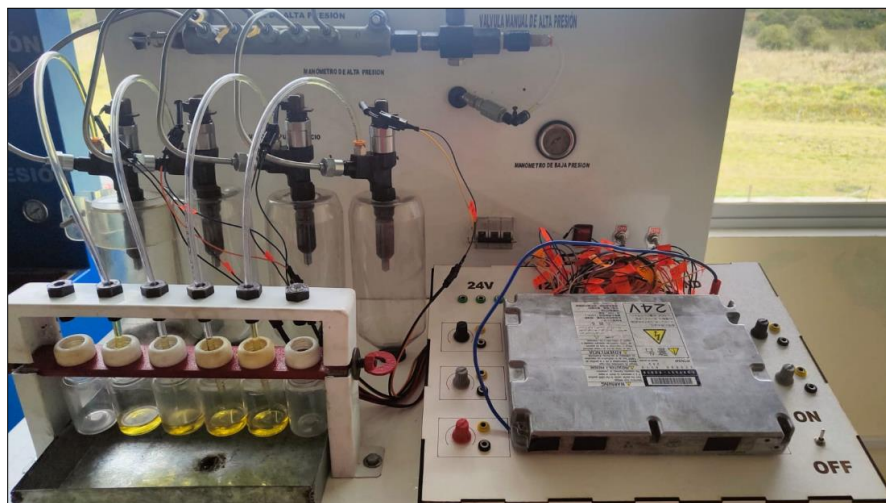


*Nota.* La imagen presenta la parte donde se muestra la polarización de la ECU.

Con la Unidad de Control Electrónico ya polarizada, está lista para acoplarse a la caja de control, junto con el módulo, para proceder a la conexión de la ECU con los dispositivos de inyección de combustible y los diferentes emuladores de sensores distribuidos alrededor de la caja de control.

**Figura 29**

*Disposición de los componentes de la parte superior del módulo*



*Nota.* La imagen presenta la parte donde se encuentra la disposición de los componentes tanto hidráulicos como eléctricos.

**Figura 30**

*Distribución de los inyectores con sus respectivos conectores y retornos*



*Nota.* La imagen presenta la parte donde se encuentra la distribución de inyectores.

Cada uno de los componentes del módulo de entrenamiento fue etiquetado con su respectiva denominación para el buen manejo a posterior del mismo, evitando así daños en la máquina.

**Figura 31**

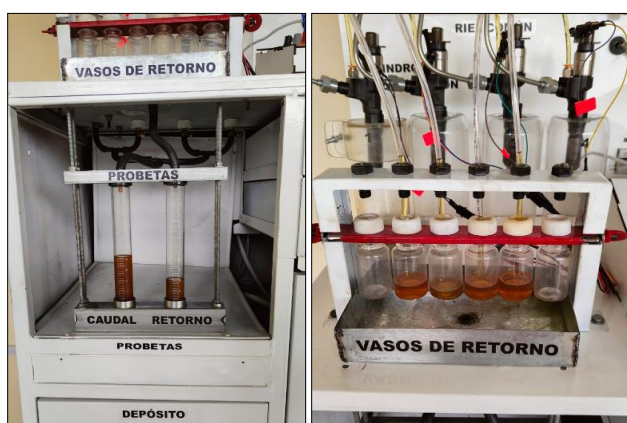
*Etiquetado de los componentes de la parte superior derecha*



*Nota.* La imagen presenta la parte donde se encuentra la etiquetación de los componentes.

**Figura 32**

*Etiquetado de los componentes de la parte media izquierda*



*Nota.* La imagen presenta la parte donde se encuentra la etiquetación de los componentes inferiores.

Una vez realizado el etiquetado de cada componente y cada interconexión electrónica de los mismos, se procede al transporte del módulo de entrenamiento al laboratorio de Autotrónica, en el aula de inyección diésel CRDI.

### Figura 33

*Módulo de entrenamiento de inyección diésel CRDI finalizado*



*Nota.* La imagen presenta la parte donde se encuentra el conjunto de módulo de entrenamiento CRDI.

## Capítulo IV

### Análisis de resultados y pruebas del sistema CRDI

#### Protocolo de pruebas

El protocolo de pruebas utilizado para el análisis del subsistema de control electrónico del módulo de entrenamiento de inyección diésel riel común CRDI es el siguiente.

#### Equipos

Los equipos de medición usados para la ejecución de las pruebas del proyecto de investigación son los siguientes:

#### ***Multímetro automotriz MUT-105 TRUPER***

El multímetro automotriz es un equipo de medición básico de diagnóstico en vehículos, el cual se utiliza mayormente en el campo automotriz para la medición de voltajes, resistencias, corrientes y continuidad. Existen multímetros como el MUT-105 TRUPER, donde Truper (2012), refiere que:

**Tabla 13**

*Funciones características del multímetro MUT-105 TRUPER*

<b>MUT-105 TRUPER</b>	
<b>Funciones características</b>	Medición de tensión de c.c.
	Medición de tensión c.a.
	Medición de corriente de c.c.
	Prueba de diodo.
	Prueba de continuidad.
	Medición de resistencia.
	Prueba de intervalo de arranque. Unidad: grados
	Prueba del tacómetro de motor (velocidad de rotación). (Lectura en pantalla x 10). Unidad: r/min

*Nota. La tabla muestra las funciones de las cuales dispone el multímetro MUT-105 TRUPER.*

Tomado de *TRUPER INSTRUCTIVO* (Truper, 2010)

### **Osciloscopio automotriz G-SCOPE 2**

(Balseca & Peñafiel, 2019) aseguran que el osciloscopio posee tres aspectos que se deben ajustar:

- La amplitud de la señal (volts/ div)
- La base de tiempo (seg/div)
- El gatillo o disparador (Trigger) para estabilizar una señal repetitiva.



**Tabla 14***Especificaciones del equipo G-SCOPE 2*

<b>G-SCOPE 2</b>	
<b>Funciones</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar directamente el periodo y voltaje de una señal</li> <li>• Determinar indirectamente la frecuencia de una señal.</li> <li>• Determinar que parte de la señal es DC y AC</li> <li>• Localizar anomalías en un circuito</li> <li>• Medir la fase entre dos señales</li> </ul> <hr/> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar si hay ruido en la señal</li> <li>• Determinar como varia la señal en función del tiempo</li> </ul>

*Nota.* La tabla indica las especificaciones características del equipo G-SCOPE 2. Tomado de (Balseca & Peñafiel, 2019).

Tabla 15

Pin Code de la Hino Serie 500 modelo DENSO 89661 – E0010

N° Pin	Código	Descripción
1	GND	TIERRA DE ECU
2	GND	TIERRA DE ECU
3	IN3	-
4	IN3-	-
5	+B	POWER
6	+B	POWER
7	+B	POWER
8	TAC1	-
9	TCA2	SEÑAL DE TACOMETRO
10	POUT1	SEÑAL DE ACTIVACION DE SOLENOIDE ROTACIONAL
11	POUT2	-
12	POUT3	-
13	POUT4	-
14	PIN1	-
15	PIN2	-
16	-	-
17	BATT	-
18	CASE GND	TIERRA
19	KWP2000	ISO141-K
20	IN1	-
21	AD1	SENSOR APP 1
22	AD2	SENSOR APP2
23	AD10	SENSOR DE VELOCIDAD EXTERNA
24	AD12	SENSOR DE DIFERENCIA DE PRESION
25	AD19	SENSOR DE TEMPERATURA DE GASES DE ESCAPE 1
26	AD20	SENSOR DE TEMPERATURA DE GASES DE ESCAPE 2
27	VS1	SENSOR DE VELOCIDAD
28	CASE GND	TIERRA
29	IN2	-
30	AD14	IMC VOLUME
31	AD15	SENSOR TPS 1
32	AD16	TEMPERATURA DE AIRE DE ADMISION SENSOR (MAF)
33	AD17	-
34	AD18	-
35	+BF	+BF
36	OUT5	VALVULA SOLENOIDE DE SALIDA DE FRENO

<b>N° Pin</b>	<b>Código</b>	<b>Descripción</b>
37	OUT6	-
38	OUT7	-
39	NE-SLD	TIERRA CKP
40	NE+	POSITIVO CKP
41	NE-SLD	NEGATIVO CKP
42	OUT1	-
43	OUT2	-
44	OUT3	SALIDA DE LUZ DE FRENO
45	OUT4	LUZ INDICADORA DE BRILLO
46	SW1	LLAVE SWITCH
47	OUT8	-
48	SW2	SWITCH DE ARRANQUE
49	SW3	SWITCH DE SALIDA DE FRENO
50	SW4	SWITCH DE APAGADO DE MOTOR
51	SW5	-
52	SW6	-
53	SW7	SWITCH DE FRENO
54	A-GND4	TIERRA SENSOR 4
55	A-GND5	TIERRA SENSOR 5
56	SW1	LLAVE SWITCH
57	A-VCC4	ALIMENTACION DE SENSOR 4
58	SW8	-
59	SW10	SWITCH DE VELOCIDAD CONSTANTE
60	SW12	LUZ DE STOP SWITCH
61	SW17	-
62	AD21	SENSOR 2 DE ELEVACION VALVULA EGR
63	AD22	-
64	-	-
65	A-VCC5	ALIMENTACION DE SENSOR 5
66	SW9	SWITCH NEUTRAL
67	SW11	-
68	SW16	SWITCH DE DIAGNOSIS
69	SW18	-
70	OUT19	RELE DE BRILLO
71	OUT20	RELE DE BRILLO
72	GND	TIERRA DE ECU MOTOR
73	GND	TIERRA DE ECU MOTOR
74	OUT17	RELE PRINCIPAL DE ECU- MOTOR
75	OUT18	RELE PRINCIPAL DE ECU- MOTOR
76	+BF	+BF
77	SW27	SWITCH DE EMBRAGUE
78	SW19	-

<b>N° Pin</b>	<b>Código</b>	<b>Descripción</b>
79	SW14	SWITCH DE CRUCERO 2
80	SW15	SWITCH DE LUCES DE STOP 2
81	SW24	SWITCH DE RALENTÍ
82	S-OUT1	LUZ 1 DE CHECK ENGINE
83	S-OUT2	-
84	S-OUT3	DPF LUZ INDICADORA DE REGENERACION
85	S-OUT4	-
86	-	-
87	SW31	SEÑAL IDENTIFICADORA DE AT
88	SW20	PTO 1 SWITCH
89	SW21	PTO SWITCH
90	SW25	-
91	SW26	SWITCH DE STOP DE RALENTÍ
92	SW13	SWITCH 2 DE CRUCERO
93	SW28	SWITCH DE CARRERA DE EMBRAGUE
94	SW29	SWITCH DE REGENERACIÓN FORZADA
95	CANH	CAN 2 HIGH
96	CANL	CAN 2 LOW
97	SW32	SWITCH DE PRESION HIDRAULICA
98	SW22	SWITCH DE CALENTAMIENTO
99	SW23	-
100	SW30	-
101	CAN-SLD	CAN 2 TIERRA
102	P-GND	POWER
103	TWV1	SEÑAL DE ACTIVACION DE INYECTOR 1
104	TWV3	SEÑAL DE ACTIVACION DE INYECTOR 3
105	TWV5	SEÑAL DE ACTIVACION DE INYECTOR 1
106	COMMON1	SEÑAL DE ACTIVACION DE INYECTOR 1
107	COMMON1	SEÑAL DE ACTIVACION DE INYECTOR 1
108	OUT9	SEÑAL DE ACTIVACIÓN LINEAL DE EGR 1
109	OUT10	SEÑAL DE ACTIVACIÓN LINEAL DE EGR 2
110	OUT11	-
111	OUT12	-
112	OUT13	LUZ DE CRUCERO
113	OUT14	LUZ DE VELOCIDAD CONSTANTE
114	OUT15	-
115	OUT16	-
116	-	-
117	-	-
118	A-GND6	TIERRA DE SENSOR MAF
119	NE (MRE)	-
120	GND	SENSOR CMP

<b>N° Pin</b>	<b>Código</b>	<b>Descripción</b>
121	AD4	SENSOR 1 DE PRESION DE RIEL
122	AD11	SENSOR MAF
123	A-VCC3	ALIMENTACION DE SENSOR 3
124	NE-VCC	-
125	A-VCC2	ALIMENTACION DE SENSOR 2
126	A-VCC1	ALIMENTACION DE SENSOR 1
127	AD13	SENSOR DE ELEVACION DE VALVULA EGR 1
128	AD3	SENSOR DE PRESION DE SOBREALIMENTACION
129	GND	TIERRA ECU-MOTOR
130	GND	TIERRA ECU-MOTOR
131	G-GND	SENSOR CMP
132	AD5	SENSOR 2 DE PRESION DE RIEL
133	G-VCC	CMP VCC (5V)
134	A-GND1	TIERRA SENSOR 1
135	A-GND2	TIERRA SENSOR 2
136	A-GND3	TIERRA SENSOR 3
137	TWV2	SEÑAL DE ACTIVACION DE INYECTOR 2
138	TWV4	SEÑAL DE ACTIVACION DE INYECTOR 4
139	TWV6	SEÑAL DE ACTIVACION DE INYECTOR 6
140	P-GND	POWER
141	P-GND	POWER
142	COMMON2	SEÑAL DE ALIMENTACION DE INYECTOR 2
143	COMMON2	SEÑAL DE ALIMENTACION DE INYECTOR 3
144	SCVLO	SCV SEÑAL DE ACTIVACION
145	SCVLO	SCV SEÑAL DE ACTIVACION
146	SCVHI	SCV SEÑAL DE ALIMENTACION
147	SCVHI	SCV SEÑAL DE ALIMENTACION
148	-	-
149	-	-
150	PCV2	-
151	PCV2	-
152	PCV1	-
153	PCV1	-
154	AD6	-
155	AD7	SENSOR ECT
156	-	-
157	CAN1H	CAN 1 HIGH
158	CAN1L	CAN 1 LOW
159	-	-
160	-	-
161	CASE GND	TIERRA
162	AD8	-

N° Pin	Código	Descripción
163	AD9	SENSOR DE TEMPERATURA DE COMBUSTIBLE
164	-	-
165	CAN1-SLD	-
166	-	-
167	CASE GND	TIERRA
-	PATM	SENSOR DE PRESION ATMOSFERICA

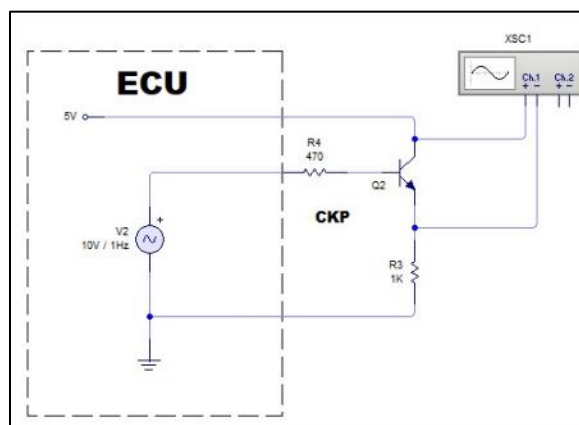
*Nota.* La tabla presenta la denominación de cada pin de la ECU. Tomado de (DENSO CORPORATION, 2007)

A continuación, se muestran las tablas, circuito y pines para el procedimiento de medición de los sensores del módulo, con el multímetro.

### **Pruebas de sensor CKP**

#### **Figura 34**

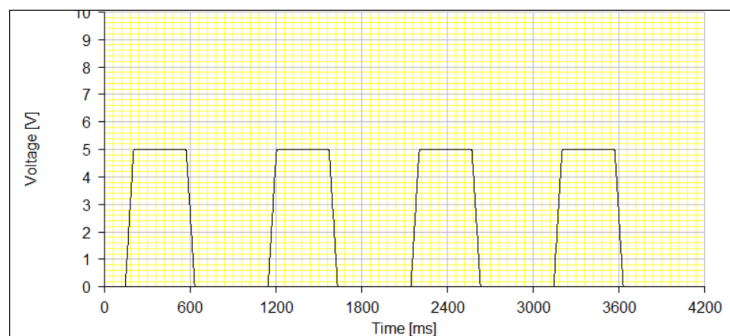
*Diagrama eléctrico del sensor CKP inductivo con acondicionador de señal*



*Nota.* La figura muestra el diagrama eléctrico correspondiente al sensor CKP.

**Figura 35**

*Curva característica del sensor CKP con señal acondicionada*



*Nota.* La figura muestra la curva característica obtenida con osciloscopio en LiveWire del sensor CKP con señal acondicionada.

**Tabla 16**

*Proceso de medición de voltaje referencial del sensor CKP*

---

### Voltaje de alimentación del sensor CKP

---

Poner el interruptor de encendido en "ON".

Colocar el multímetro en la función para medir voltios de corriente directa.

Conectar el cable negativo del multímetro al terminal de tierra.

Conectar el cable positivo del multímetro al primer terminal de alimentación del sensor CKP.

Conectar el cable positivo del multímetro al segundo terminal de alimentación del sensor CKP.

Verificar el valor de voltaje adquirida del sensor CKP.

---

*Nota.* En la tabla se muestra el proceso de medición del voltaje de alimentación del sensor CKP de manera detallada.

**Tabla 17**

*Proceso de medición de verificación de masa del sensor CKP*

<b>Verificación de masa del sensor CKP</b>
Poner el interruptor de encendido en "ON".
Colocar el multímetro en la función para medir milivoltios en DC.
Conectar el cable negativo del multímetro al terminal de tierra.
Conectar el cable positivo del multímetro al terminal negativo del sensor CKP.
Verificar el valor de voltaje del sensor CKP.

*Nota.* En la tabla se muestra el procedimiento de la medición del voltaje de masa del sensor CKP de manera detallada.

**Tabla 18**

*Proceso de medición de voltaje de señal del sensor CKP*

<b>Voltaje de señal del sensor CKP</b>
Colocar el multímetro en la función para medir voltios en corriente directa.
Conectar el cable negativo del multímetro al terminal de tierra.
Conectar el cable positivo del multímetro al primer terminal en donde se midió la alimentación del sensor CKP.
Conectar el cable positivo del multímetro al segundo terminal en donde se midió la alimentación del sensor CKP.
Observar la lectura y verificar que sean correctos los valores de 0 y 5v voltios.

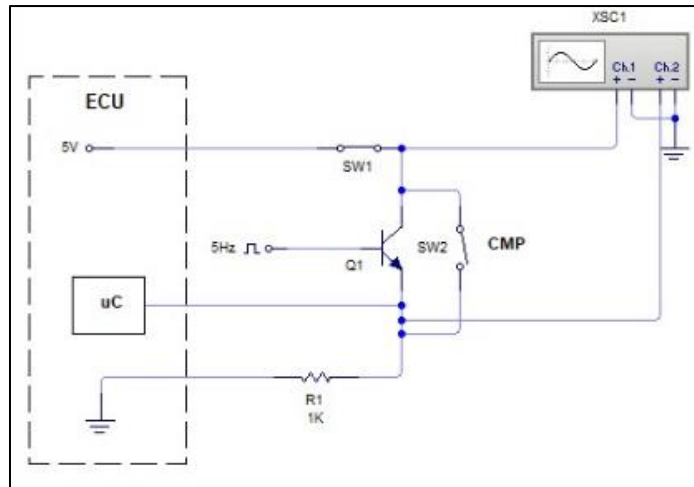
*Nota.* En la tabla se muestra el procedimiento de la medición del voltaje de señal del sensor CKP de manera detallada.



## Pruebas de sensor CMP

Figura 36

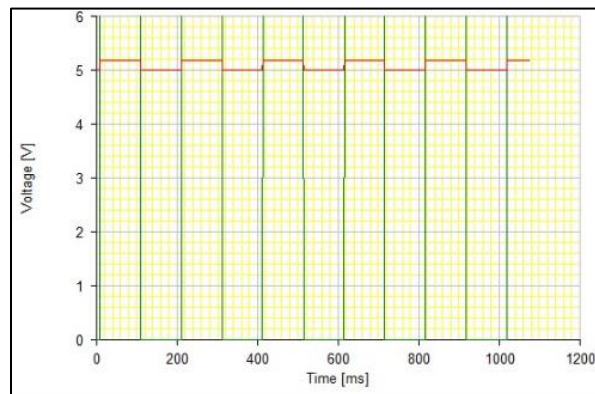
Diagrama eléctrico del sensor CMP efecto Hall



Nota. La figura muestra el diagrama eléctrico correspondiente al sensor CMP.

Figura 37

Curva característica del sensor CMP efecto Hall



Nota. La figura muestra la curva característica obtenida con osciloscopio en LiveWire del sensor CMP.

**Tabla 19**

*Proceso de medición de voltaje de alimentación del sensor CMP*

<b>Voltaje de alimentación del sensor CMP</b>
Poner el interruptor de encendido en "ON".
Colocar el multímetro en la función para medir voltios en corriente directa.
Conectar el cable negativo del multímetro al terminal de tierra.
Conectar el cable positivo del multímetro al primer terminal de alimentación del sensor CMP.
Verificar el valor de voltaje de alimentación del sensor CMP.

*Nota.* En la tabla se muestra el procedimiento de la medición del voltaje de alimentación del sensor CMP de manera detallada.

**Tabla 20**

*Proceso de medición de voltaje de masa del sensor CMP*

<b>Voltaje de masa del sensor CMP</b>
Poner el interruptor de encendido en "ON".
Colocar el multímetro en la función para medir milivoltios en corriente directa.
Conectar el cable negativo del multímetro al terminal de tierra del tablero.
Conectar el cable positivo del multímetro al terminal negativo del sensor CMP.
Verificar el valor de voltaje de masa del sensor CMP.

*Nota.* En la tabla se muestra el procedimiento de la medición del voltaje de masa del sensor CMP de manera detallada.

**Tabla 21**

*Proceso de medición de voltaje de señal del sensor CMP*

---

### Voltaje de señal del sensor CMP

---

Colocar el multímetro en la función para medir voltios en corriente directa.

Conectar el cable negativo del multímetro al terminal de tierra.

Conectar el cable positivo del multímetro al primer terminal en donde existe la señal del sensor CMP.

Verificar el voltaje del sensor CMP, siendo característico las caídas de tensión.

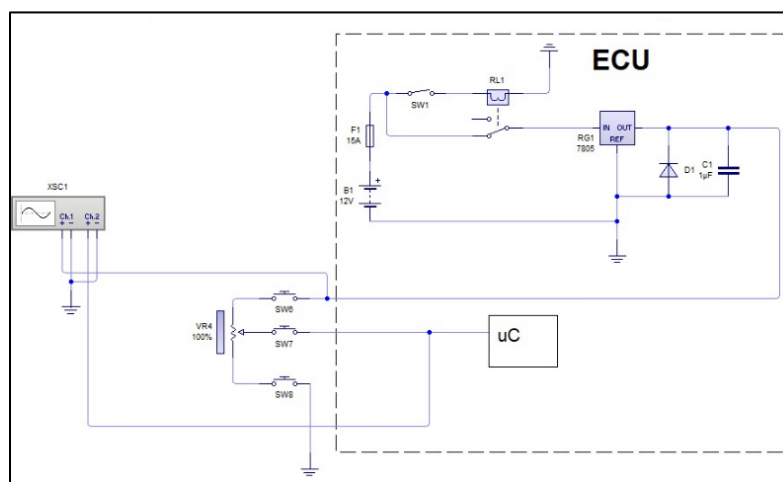
---

*Nota.* En la tabla se muestra el procedimiento de la medición del voltaje de señal del sensor CMP de manera detallada.

### **Pruebas de sensor FRP**

**Figura 38**

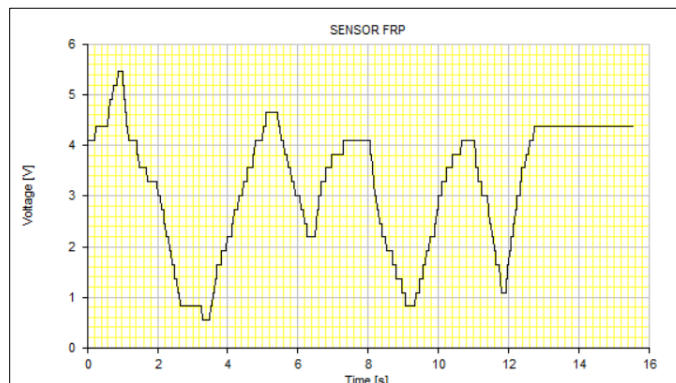
*Diagrama eléctrico del sensor FRP*



*Nota.* La figura muestra el diagrama eléctrico correspondiente al sensor FRP.

### Figura 39

*Curva característica del sensor FRP*



*Nota.* La figura muestra la curva característica obtenida con osciloscopio en LiveWire del sensor FRP, debido a que actúa como un potenciómetro se observan caídas y subidas de tensión.

### Tabla 22

*Proceso de medición de voltaje de alimentación del sensor FRP*

---

#### Voltaje de alimentación del sensor FRP

---

Poner el interruptor de encendido en "ON".

Colocar el multímetro en la función para medir voltios en corriente directa.

Conectar el cable negativo del multímetro al terminal de tierra.

Conectar el cable positivo del multímetro al primer terminal de alimentación del sensor FRP.

Verificar el valor de voltaje de alimentación del sensor FRP.

---

*Nota.* En la tabla se muestra el procedimiento de la medición del voltaje de alimentación del sensor FRP de manera detallada.

**Tabla 23**

*Proceso de medición de voltaje de masa del sensor FRP*

<b>Voltaje de masa del sensor FRP</b>
Poner el interruptor de encendido en "ON".
Colocar el multímetro en la función para medir milivoltios en corriente directa.
Conectar el cable negativo del multímetro al terminal de tierra.
Conectar el cable positivo del multímetro al terminal negativo del sensor FRP.
Verificar el valor de voltaje de masa del sensor FRP.

*Nota.* En la tabla se muestra el procedimiento de la medición del voltaje de masa del sensor FRP de manera detallada.

**Tabla 24**

*Proceso de medición de voltaje de señal del sensor FRP*

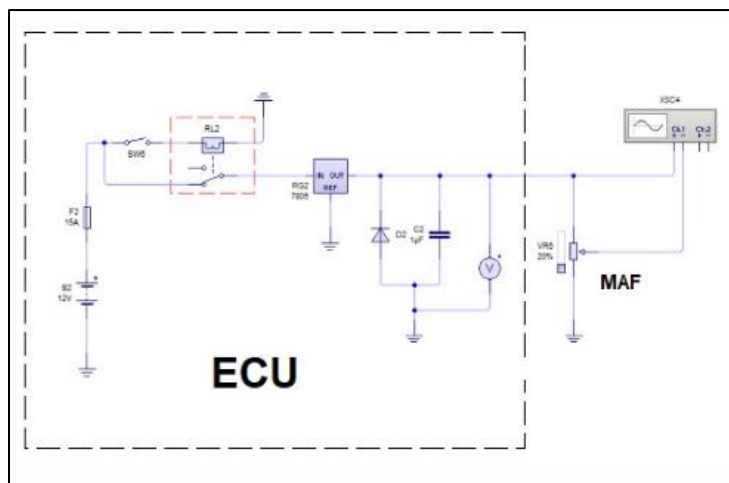
<b>Voltaje de señal del sensor FRP</b>
Colocar el multímetro en la función para medir voltios en corriente directa.
Conectar el cable negativo del multímetro al terminal de tierra del tablero.
Conectar el cable positivo del multímetro al primer terminal en donde existe la señal del sensor FRP
Observar el voltaje y verificar que éste aumenta conforme aumenta la presión de combustible o se aumenta la aceleración.

*Nota.* En la tabla se muestra el procedimiento de la medición del voltaje de señal del sensor FRP de manera detallada

## Pruebas de sensor MAF

Figura 40

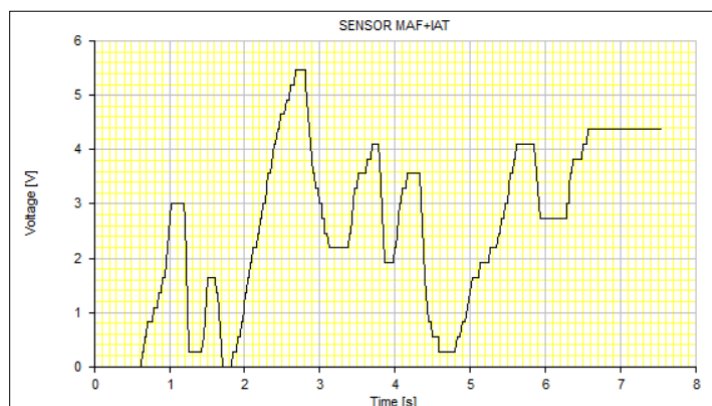
Diagrama eléctrico del sensor MAF



Nota. La figura muestra el diagrama eléctrico correspondiente al sensor MAF

Figura 41

Curva característica del sensor MAF



Nota. La figura muestra la curva característica obtenida con osciloscopio en LiveWire del sensor MAF, debido a que actúa como un potenciómetro se observan caídas y subidas de tensión.

**Tabla 25**

*Proceso de medición de voltaje de alimentación del sensor MAF*

---

**Voltaje de alimentación del sensor MAF**

---

Poner el interruptor de encendido en "ON".

Colocar el multímetro en la función para medir voltios en corriente directa.

Conectar el cable negativo del multímetro al terminal de tierra.

Conectar el cable positivo del multímetro al terminal de alimentación del sensor MAF

Verificar el valor de voltaje que llega los terminales conectados del sensor MAF .

---

*Nota.* En la tabla se muestra el procedimiento de la medición del voltaje de alimentación del sensor MAF de manera detallada.

**Tabla 26**

*Proceso de medición de voltaje de masa del sensor MAF*

---

**Voltaje de masa del sensor MAF**

---

Poner el interruptor de encendido en "ON".

Colocar el multímetro en la función para medir milivoltios en corriente directa.

Conectar el cable negativo del multímetro al terminal de tierra del tablero.

Conectar el cable positivo del multímetro al terminal negativo del sensor MAF.

Verificar el valor de voltaje, subidas y bajadas de tensión, características de este sensor.

---

*Nota.* En la tabla se muestra el procedimiento de la medición del voltaje de masa del sensor MAF de manera detallada.

**Tabla 27**

*Proceso de medición de voltaje de señal del sensor MAF*

---

### Voltaje de señal del sensor MAF

---

Colocar el multímetro en la función para medir voltios en corriente directa.

Conectar el cable negativo del multímetro al terminal de tierra.

Conectar el cable positivo del multímetro al primer terminal en donde señal del sensor MAF.

Observar la lectura, verificar que el voltaje de alimentación del sensor MAF.

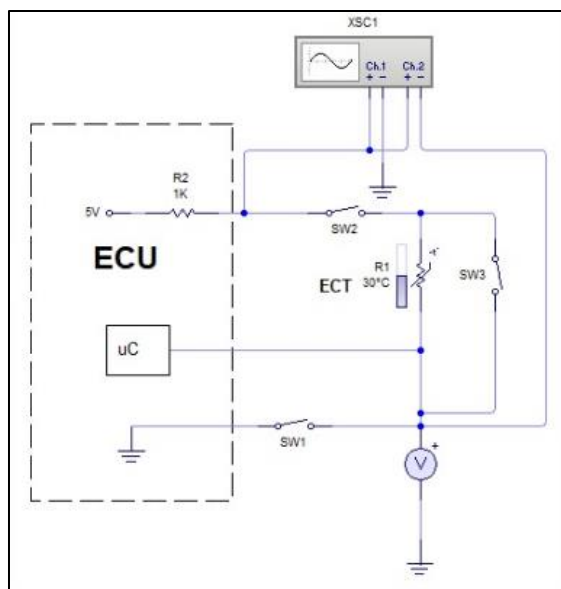
---

*Nota.* En la tabla se muestra el procedimiento de la medición del voltaje de señal del sensor MAF de manera detallada.

### **Pruebas de sensor ECT**

**Figura 42**

*Diagrama eléctrico del sensor ECT*

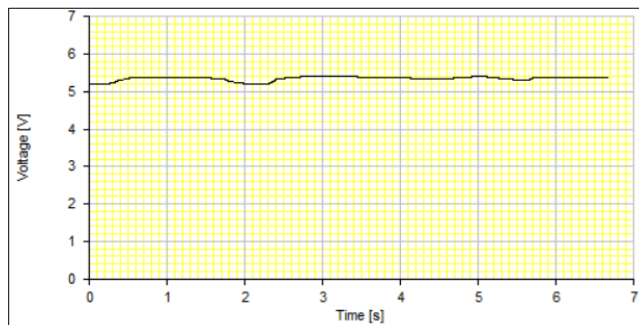


*Nota.* La figura muestra el diagrama eléctrico correspondiente al sensor ECT.



### Figura 43

*Curva característica del sensor ECT*



*Nota.* La figura muestra la curva característica obtenida con osciloscopio en LiveWire del sensor ECT, debido a que actúa como un potenciómetro se observan caídas y subidas de tensión.

### Tabla 28

*Proceso de medición de voltaje de alimentación del sensor ECT*

---

#### Voltaje de alimentación del sensor ECT

---

Poner el interruptor de encendido en "ON".

Colocar el multímetro en la función para medir voltios en corriente directa.

Conectar el cable negativo del multímetro al terminal de tierra.

Conectar el cable positivo del multímetro al primer terminal de alimentación del sensor ECT.

Verificar el valor de voltaje de alimentación del sensor ECT.

---

*Nota.* En la tabla se muestra el procedimiento de la medición del voltaje de alimentación del sensor ECT de manera detallada.

**Tabla 29**

*Proceso de medición de voltaje de masa del sensor ECT*

<b>Voltaje de masa del sensor ECT</b>
Poner el interruptor de encendido en "ON".
Colocar el multímetro en la función para medir milivoltios en corriente directa.
Conectar el cable negativo del multímetro al terminal de tierra.
Conectar el cable positivo del multímetro al terminal negativo del sensor ECT.
Verificar el valor de voltaje de masa del sensor ECT.

*Nota.* En la tabla se muestra el procedimiento de la medición del voltaje de masa del sensor ECT de manera detallada.

**Tabla 30**

*Proceso de medición de voltaje de señal del sensor ECT*

<b>Voltaje de señal del sensor ECT</b>
Colocar el multímetro en la función para medir voltios de corriente directa.
Conectar el cable negativo del multímetro al terminal de tierra.
Conectar el cable positivo del multímetro al primer terminal en donde exista señal del sensor ECT.
Observar la lectura, verificar que el voltaje aumenta conforme aumenta la temperatura manualmente en el módulo.

*Nota.* En la tabla se muestra el procedimiento de la medición del voltaje de señal del sensor MAF+IAT de manera detallada.

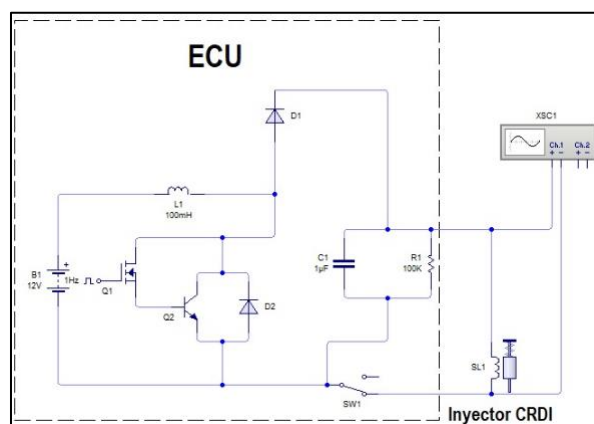
## Pruebas de actuadores con multímetro

A continuación, se muestran las tablas para el procedimiento de medición de los actuadores del módulo, con el multímetro.

### Pruebas de inyectores

#### Figura 44

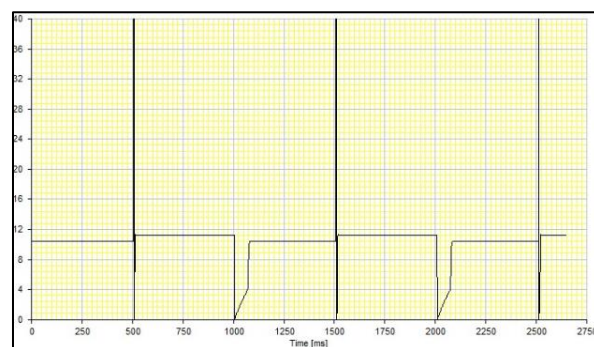
Diagrama eléctrico del inyector



*Nota.* La figura muestra el diagrama eléctrico correspondiente al inyector.

#### Figura 45

Curva característica del inyector



*Nota.* La figura muestra la curva característica obtenida con osciloscopio en LiveWire del inyector, para lo cual cabe destacar que es la misma en los cuatro inyectores.

**Tabla 31**

*Proceso de medición de voltaje de referencia de inyectores*

<b>Voltaje de referencia de inyector</b>
Poner el interruptor de encendido en "ON" con el motor trifásico apagado.
Colocar el multímetro en la función para medir voltios para medir corriente directa.
Conectar el cable negativo del multímetro al negativo GND de la caja de control.
Conectar el cable positivo del multímetro al terminal de referencia del inyector.
Verificar que el valor de voltaje coincida con el establecido por el fabricante.
Repetir los pasos anteriores con cada uno de los inyectores del módulo.

*Nota.* En la tabla se muestra el procedimiento de la medición del voltaje de referencia de los inyectores CRDI.

**Tabla 32**

*Proceso de medición de voltaje de señal de inyectores*

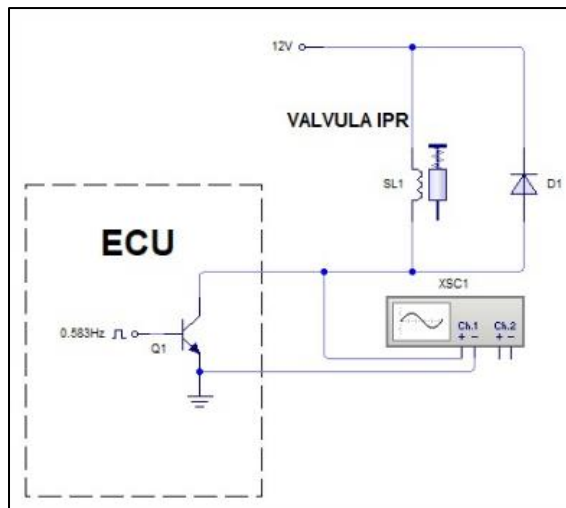
<b>Voltaje de señal de inyectores</b>
Encender el motor trifásico y conectar la ECU a su fuente de alimentación de 24 voltios.
Colocar el multímetro en la función para medir voltios de corriente directa.
Conectar el cable negativo del multímetro al terminal GND de la caja de control.
Conectar el cable positivo del multímetro al terminal de señal del inyector del módulo.
Observar el valor de voltaje obtenido.
Repetir los pasos anteriores con cada uno de los inyectores del módulo.

*Nota.* En la tabla se muestra el procedimiento de la medición del voltaje de señal de los inyectores CRDI.

## Pruebas de válvula IPR

Figura 46

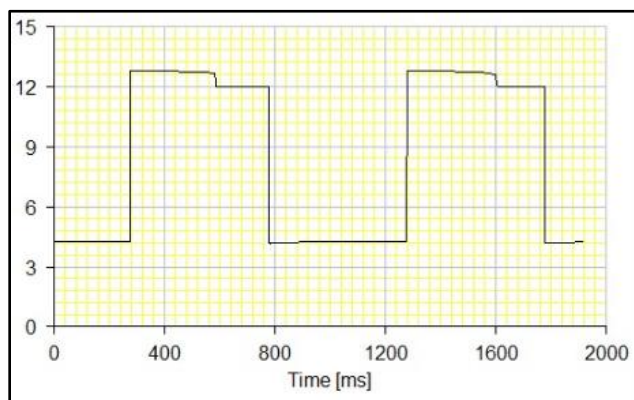
Diagrama eléctrico de la válvula IPR



Nota. La figura muestra el diagrama eléctrico correspondiente a la válvula IPR.

Figura 47

Curva característica de la válvula IPR



Nota. La figura muestra la curva característica obtenida con osciloscopio en LiveWire de la válvula IPR.

**Tabla 33**

*Proceso de medición de voltaje de referencia de válvula IPR*

<b>Voltaje de referencia de válvula IPR</b>
Poner el interruptor de encendido en “ON” con el motor trifásico apagado.
Colocar el multímetro en la función para medir voltios de corriente directa.
Conectar el cable negativo del multímetro al terminal GND de la caja de control.
Conectar el cable positivo del multímetro al terminal de alimentación de la válvula IPR.
Verificar que el valor de voltaje coincida con el establecido por el fabricante DENSO.

*Nota.* En la tabla se muestra el procedimiento de la medición del voltaje de referencia de la válvula IPR.

**Tabla 34**

*Proceso de medición de voltaje de señal de válvula IPR*

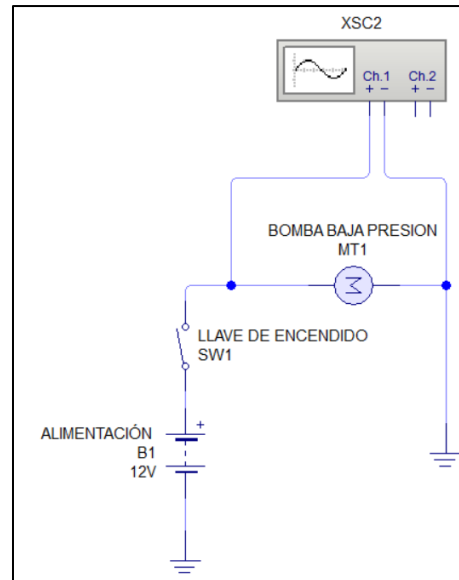
<b>Voltaje de señal de válvula IPR</b>
Encender el motor trifásico.
Colocar el multímetro en la función para medir voltios de corriente directa.
Conectar el cable negativo del multímetro al terminal GND de la caja de control.
Conectar el cable positivo del multímetro al terminal de señal de la válvula IPR.
Observar el valor de voltaje las variaciones que presenta.

*Nota.* En la tabla se muestra el procedimiento de la medición del voltaje de señal de la válvula IPR.

## Pruebas de bomba de baja presión

**Figura 48**

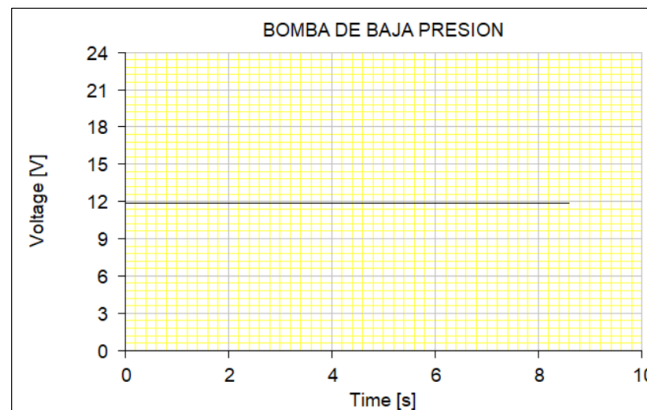
*Diagrama eléctrico de la bomba de baja presión*



*Nota.* La figura muestra el diagrama eléctrico correspondiente a la bomba de baja presión.

**Figura 49**

*Curva característica de la bomba de baja presión*



*Nota.* La figura muestra la curva característica obtenida con osciloscopio en LiveWire de la bomba de combustible de baja presión.

**Tabla 35**

*Proceso de medición de voltaje de referencia bomba de baja presión*

---

**Voltaje de referencia bomba de baja presión**

---

Poner el interruptor de encendido de la bomba en “ON”.

Colocar el multímetro en la función para medir voltios de corriente directa.

Conectar el cable negativo del multímetro al terminal GND de la caja de control.

Conectar el cable positivo del multímetro al terminal de alimentación de la bomba de baja presión.

Verificar que el valor de voltaje coincida con 12 voltios.

---

*Nota.* En la tabla se muestra el procedimiento de la medición del voltaje de referencia de la bomba de combustible de baja presión.

**Tabla 36**

*Proceso de medición de voltaje en masa de bomba de baja presión*

---

**Voltaje en masa de bomba de baja presión**

---

Poner el interruptor de encendido en “ON” con el motor apagado.

Colocar el multímetro en la función para medir voltios.

Conectar el cable negativo del multímetro al negativo de la batería.

Conectar el cable positivo del multímetro al terminal negativo de socket.

Verificar el valor de voltaje se encuentre en cero o el que indique el fabricante.

---

*Nota.* En la tabla se muestra el procedimiento de la medición del voltaje de masa de la bomba de combustible de baja presión.

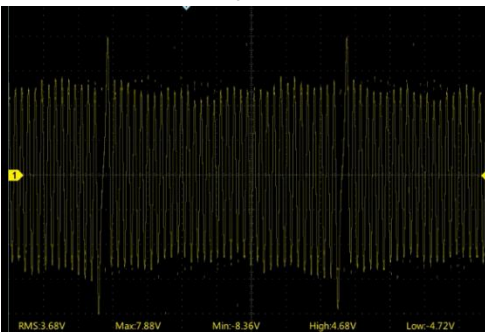
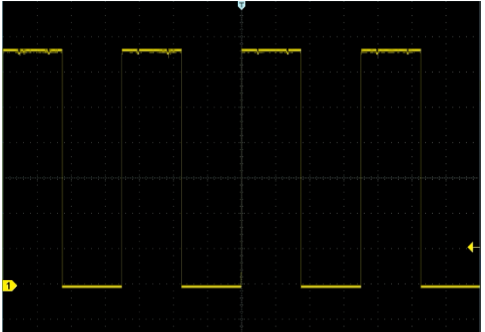
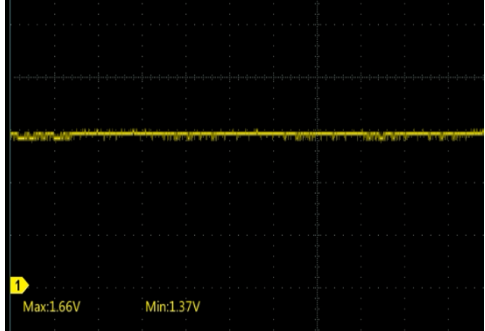


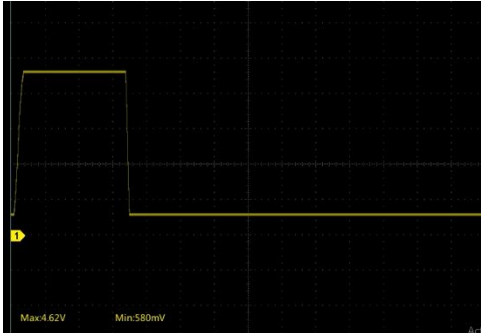
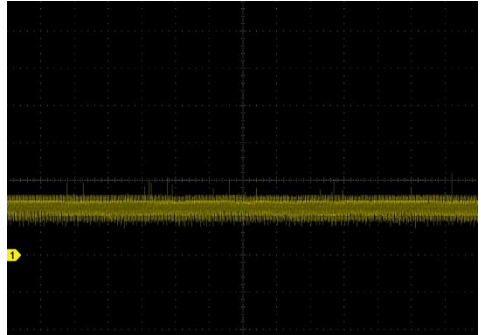
## Generación de señales de sensores con osciloscopio

A continuación, se muestra las señales de las curvas características de los distintos sensores a analizar en el módulo de entrenamiento del sistema CRDI.

**Tabla 37**

*Curvas características de los sensores del módulo de entrenamiento*

Sensor	N° de cables	Pines ECU	Curva característica
CKP	3	40 NE+	
CMP	4	120 G	
FRP	3	121 AD4	

Sensor	N° de cables	Pines ECU	Curva característica
MAF	5	32 AD16	
ECT	2	155 AD7	


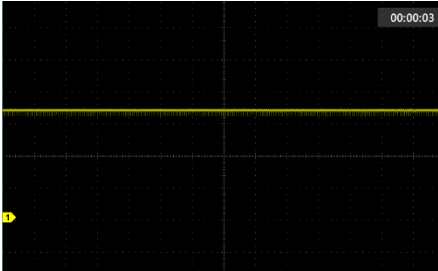
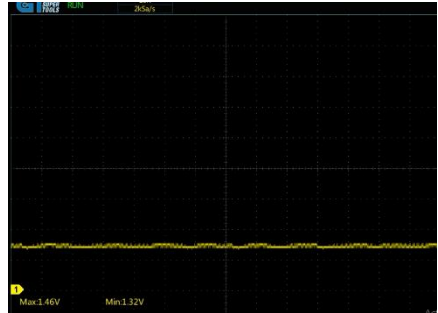
*Nota.* En la tabla se muestra los pines de conexión a la ECU de los distintos sensores, así como sus curvas características.

## Generación de señales de actuadores con osciloscopio

A continuación, se puede observar la obtención de las curvas características que se obtienen con el osciloscopio.

**Tabla 38**

*Curvas características de los actuadores del módulo de entrenamiento*

Actuador	N° de cables	Pines ECU	Curva característica
INYECTORES (IMÁGENES DE INYECTORES DIESEL)	2	TWV5, COMMON1, COMMON 2, TWV2, TWV4, TWV6, COMMON2, COMMON 2	
BOMBA DE BAJA PRESIÓN	2	A-VCC4, GND	
VALVULA IPR	2	A-VCC3, GND	

*Nota.* En la tabla se muestra los pines de conexión a la ECU de los distintos actuadores, así como sus curvas características

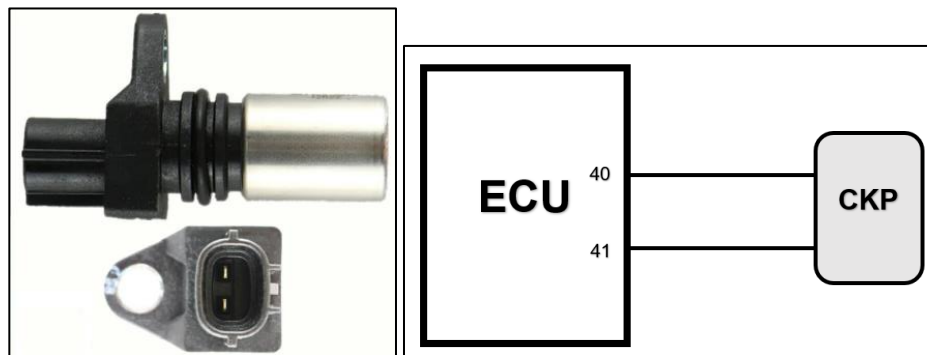
## Pruebas en sensores

### Sensor CKP

A continuación, se presentan los datos obtenidos para las pruebas del sensor CKP, el cual es un sensor inductivo como se muestra en la figura 50, que corresponde a los pines 40 y 41, en el segundo bloque de terminales de la ECU como se muestra en la figura 51. En la tabla 39 se muestran los valores de voltaje obtenidos en la medición mediante osciloscopio durante la prueba de sensores. La figura 52 muestra la onda que describe la prueba realizada en los terminales del sensor CKP.

### Figura 50

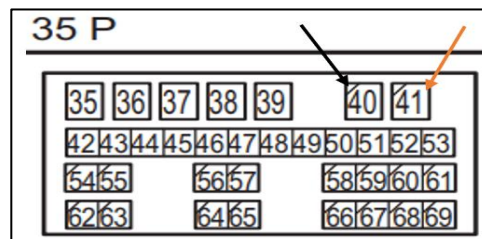
*Sensor CKP*



*Nota.* Sensor de posición del cigüeñal CKP

### Figura 51

*Esquema de pines, segundo bloque*



*Nota.* Esquema de pines (40, 41) de la ECU para la conexión del sensor CKP

**Tabla 39**

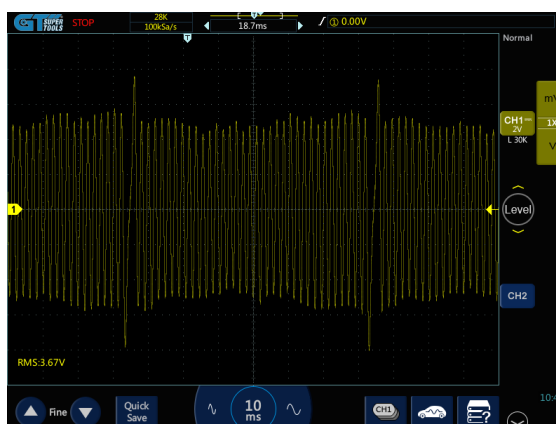
*Valores máximos y mínimos de voltaje del sensor CKP*

Ord.	Descripción	Valor	Pin
1	Freq.	607.4 Hz	1
2	V. Pk – Pk	3.67 V	2

*Nota.* En la tabla se resume los valores máximos y mínimos de voltaje del sensor CKP.

**Figura 52**

*Esquema de pines, cuarto bloque*



*Nota.* La figura muestra el oscilograma descrito por la señal del sensor CKP

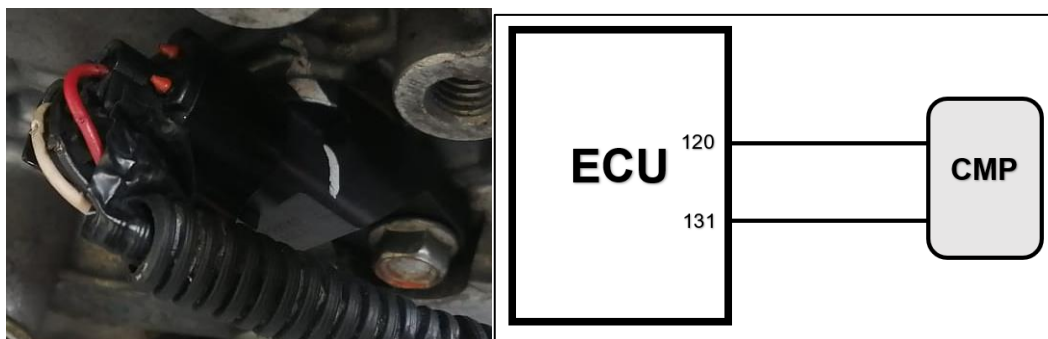
### Sensor CMP

El sensor CMP es un sensor tipo Hall, que emite una señal de tipo digital como se muestra en la figura 53, los pines correspondientes al sensor CMP son el 120 y 131, en el cuarto bloque de 35 pines de los terminales de la ECU como se indica en la figura 54, donde el primer pin es por el cual ingresa la señal del sensor y el segundo pin es la conexión GND,

como se muestra en la tabla 40. La tabla 40 muestra el rango de voltaje de operación del sensor CMP.

### Figura 53

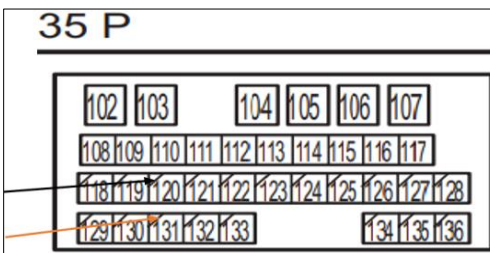
*Sensor CMP*



*Nota.* Sensor de posición del árbol de levas CMP

### Figura 54

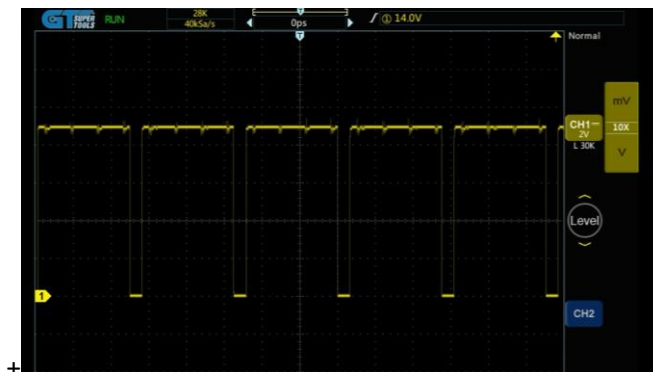
*Esquema de pines, cuarto bloque*



*Nota.* Esquema de pines (120, 131) de la ECU para la conexión del sensor CMP

## Figura 55

Señal sensor CMP



*Nota.* La figura muestra el oscilograma descrito por la señal del sensor CMP

## Tabla 40

*Valores máximos y mínimos de voltaje del sensor CMP*

Ord.	Descripción	Valor	Unidad
1	Voltaje máximo	5	V
2	Voltaje mínimo	0	V

*Nota.* En la tabla se resume los valores máximos y mínimos de voltaje del sensor CMP.

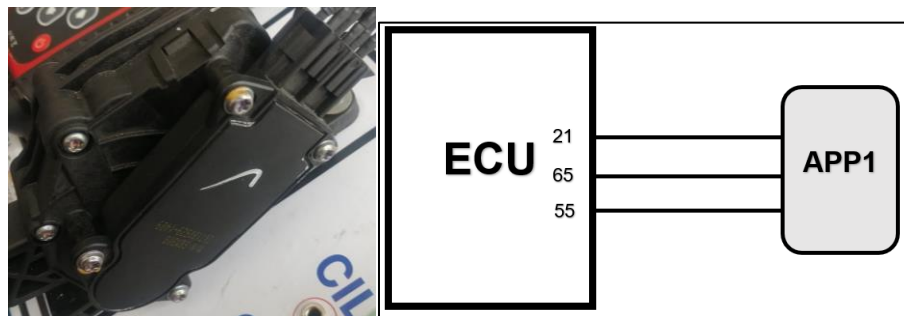
## Sensor APP 1

El sensor APP 1 mostrado en la figura 56, utiliza el fundamento de variación resistiva, el cual, de acuerdo con la posición del pedal del acelerador, envía información sobre el régimen de carga requerido por el usuario a la ECU. Los terminales que corresponden a este sensor son 21 en el primer bloque de 34 pines, los terminales 55 y 65 en el segundo bloque de 35 pines de los terminales de la ECU, como se muestra en la figura 57. El primer pin corresponde

a la señal del sensor APP, el segundo pin es la conexión negativa y el tercer pin pertenece al voltaje de referencia emitido por la ECU, como se muestra en la tabla 41.

**Figura 56**

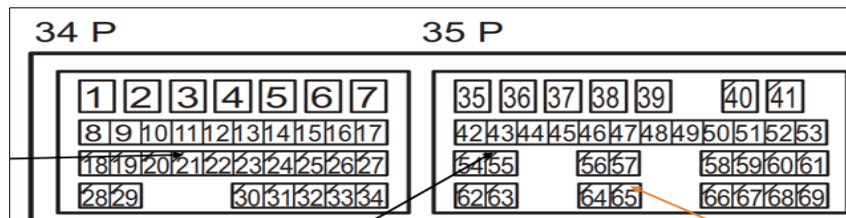
*Sensor APP*



*Nota.* Sensor de posición del acelerador APP1

**Figura 57**

*Esquema de pines, primer y segundo bloque*



*Nota.* Esquema de pines (21, 55, 65) de la ECU para la conexión del sensor APP1



**Tabla 41**

*Terminales para el sensor APP1*

<b>Pin</b>	<b>Denominación</b>
21	Señal
55	GND
65	V. Referencia

*Nota.* La tabla muestra la denominación correspondiente de los terminales para el sensor APP1.

Con el uso del multímetro se obtienen mediciones entre 0.5 y 2.5 V como se muestra en la tabla 42 utilizando la perilla del potenciómetro correspondiente. Con este rango de valores se obtiene un valor aproximado del 23% de apertura de la posición del acelerador, como se muestra en la figura 58, tomado con la lectura del *freeze frame data* en el scanner automotriz.

**Tabla 42**

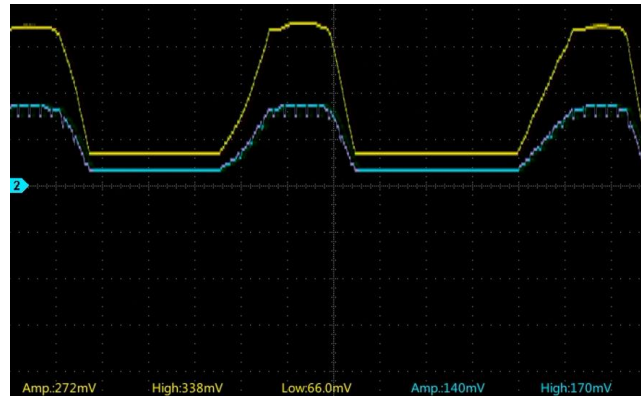
*Rango de voltajes tomados en los pines del sensor APP 1*

<b>Rango</b>	<b>Valor</b>
V. Min	66 mV
V. Max	338 mV

*Nota.* La tabla muestra el rango de voltajes tomados en los pines del sensor APP 1

## Figura 58

*Apertura del acelerador en el sensor APP 1*



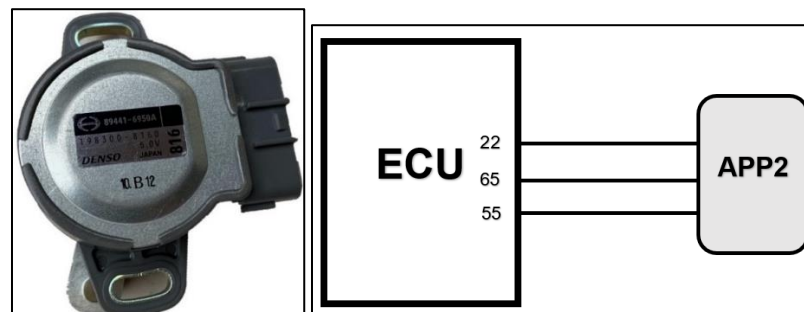
*Nota.* La figura muestra la curva de osciloscopio del acelerador en el sensor APP 1

## Sensor APP2

El sensor APP 2, mostrado en la figura 59, funciona como una alternativa de seguridad del sensor APP1 si este llegara a enviar información errada, los terminales negativos y de referencia están compartidos con el sensor APP1, como se muestra en la tabla 43. mientras que la señal de este sensor se encuentra en el pin 22 del primer bloque de 34 pines de la ECU, como se muestra en la figura 60.

## Figura 59

*Sensor APP 2*

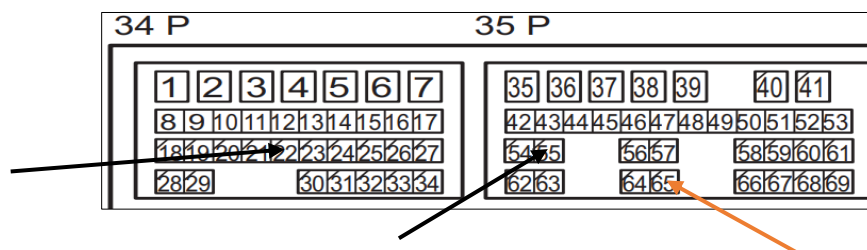


*Nota.* Sensor de posición del acelerador APP 2

**Tabla 43***Pines del sensor APP 2*

Pin	Denominación
22	Señal
55	GND
65	V. Referencia

*Nota.* La tabla muestra la denominación correspondiente de los terminales para el sensor APP2

**Figura 60***Esquema de pines, primer y segundo bloque*

*Nota.* Esquema de pines (22, 55, 65) de la ECU para la conexión del sensor APP2

Con el uso del multímetro se obtienen mediciones entre 0.5 y 2.5 V como se muestra en la tabla 44 utilizando la perilla del potenciómetro correspondiente. Con este rango de valores se obtiene un valor aproximado del 23% de apertura de la posición del acelerador, como se muestra en la figura 61, tomado con la lectura del *freeze frame data* en el scanner automotriz.

**Tabla 44**

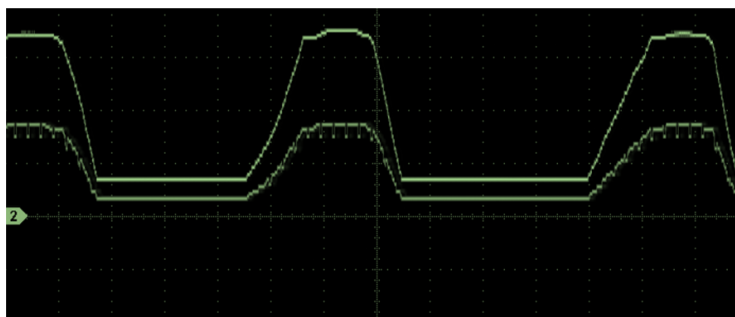
*Rango de voltajes del sensor APP 2*

	Valor
V. Min	0.5 v
V. Max	2.5 v

*Nota.* La tabla muestra la denominación correspondiente de los terminales para el sensor APP2

**Figura 61**

*Oscilograma del sensor APP 2*



*Nota.* La figura muestra la curva generada por el acelerador en el sensor APP 2

### **Sensor FRP**

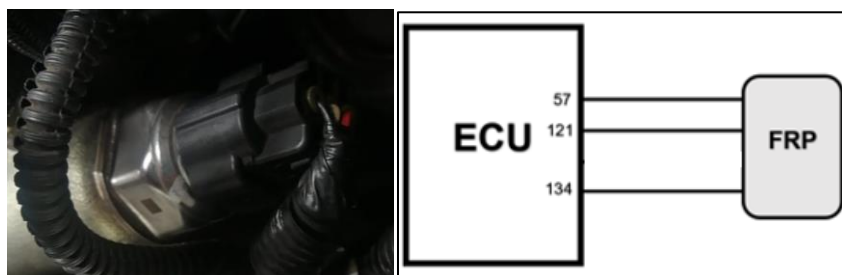
El sensor de presión del riel FRP mostrado en la figura 62 es de tipo piezoeléctrico, el cual genera una señal eléctrica cuando este detecta que existe presión de combustible en el riel.

Los terminales del sensor FRP se encuentran ubicados en el segundo y el cuarto bloque de 35 pines cada uno de la ECU, los cuales son 57, 121, 134 como se muestra en la figura 63. El terminal 57 del segundo bloque corresponde al voltaje de referencia 5v, los terminales del cuarto bloque 121, 132 corresponden a la señal emitida por el sensor y por

último el 134 corresponde a masa, como se muestra en la tabla 45. Con el multímetro se realiza la prueba de presión del sensor del riel y se regula el valor dentro del rango de 1 – 1,5 v como se muestra en la tabla 46 en la perilla del potenciómetro correspondiente.

**Figura 62**

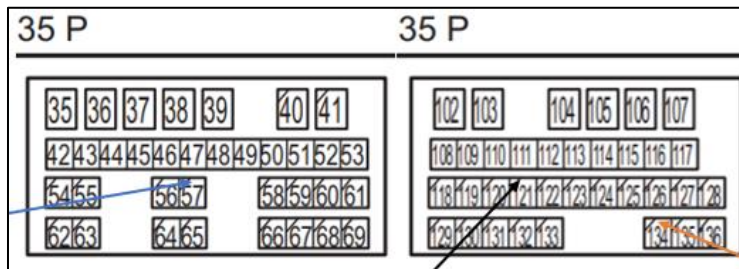
*Sensor FRP*



*Nota.* Sensor de presión del riel común FRP

**Figura 63**

Esquema de pines, segundo y cuarto bloque



*Nota.* Esquema de pines (57, 121, 134) de la ECU para la conexión del sensor APP2.

**Tabla 45***Pines del sensor FRP*

<b>Pin</b>	<b>Denominación</b>
57	Voltaje Referencia
121	Señal sensor
134	GND

*Nota.* La tabla muestra la denominación correspondiente de los terminales para el sensor FRP

**Tabla 46***Rango de voltajes del sensor FRP*

<b>Rango</b>	<b>Valor</b>
V. Min	0.55 v
V. Max	1.49 v

*Nota.* La tabla muestra el rango de voltajes tomados en los pines del sensor FRP.

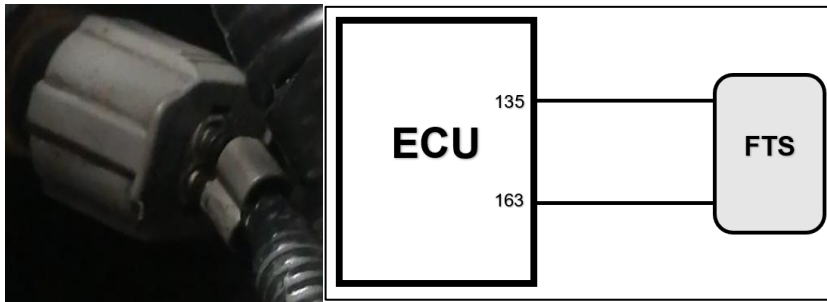
**Sensor FTS**

El sensor de temperatura de combustible, de la figura 64 como su nombre lo indica es el encargado proporcionar información a la ECU acerca de la temperatura del combustible, este consta de dos terminales; el pin 135 se encuentra en el cuarto bloque de 35 pines y el terminal 163 que se encuentra en el quinto bloque de 31 pines, como se muestra en la figura 65. El pin 135 corresponde a la conexión a masa, mientras que el pin 163 corresponde a la señal enviada por el sensor a la ECU, como se muestra en la tabla 47. Usando la perilla correspondiente del potenciómetro de debe regular la tensión entre 0.53 v simulando un combustible a temperatura ambiente con el motor apagado y 1.98 v simulando un combustible a mayor temperatura con el

motor encendido, dicho rango se aprecia en el multímetro en la opción de tensión. Como se muestra en la tabla 48.

**Figura 64**

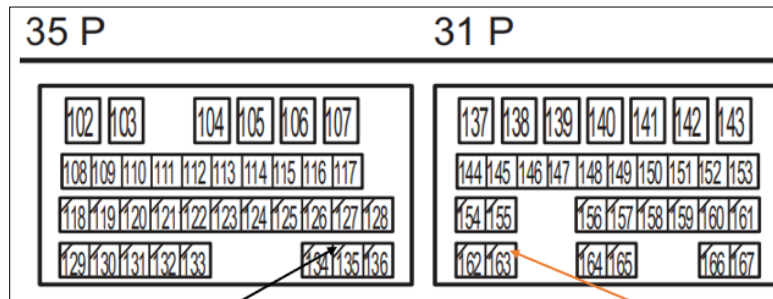
*Sensor FTS*



*Nota.* Sensor de temperatura del combustible FTS

**Figura 65**

*Esquema de pines, cuarto y quinto bloque*



*Nota.* Esquema de pines (135, 163) de la ECU para la conexión del sensor FTS

**Tabla 47***Pines del sensor FTS*

<b>Pin</b>	<b>Denominación</b>
135	GND
163	Señal sensor FTS

*Nota.* La tabla muestra la denominación correspondiente de los terminales para el sensor FTS

**Tabla 48***Rango de voltajes del sensor FTS*

<b>Rango</b>	<b>Valor</b>
V. Min	0.53 v
V. Max	1.98 v

*Nota.* La tabla muestra el rango de voltajes tomados en los pines del sensor FTS

**Sensor ECT**

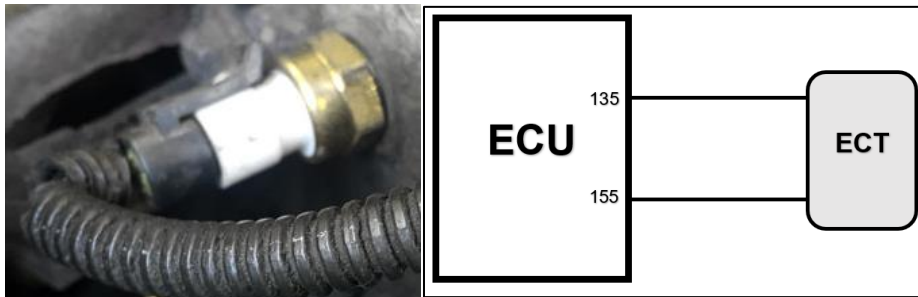
El sensor ECT mostrado en la figura 66 es de tipo resistivo el cual cambia su valor de resistencia conforme varia la temperatura del líquido en que se encuentre, en este caso el refrigerante del motor. En otras palabras, este funciona como un termistor NTC, el cual ofrecerá menos resistencia mientras mayor sea la temperatura y viceversa. Los pines que corresponden al sensor son el 135 y 155, correspondientes al cuarto y quinto bloque de 35 y 31 pines respectivamente, como se muestra en la figura 67. Donde el pin 135 es la conexión a masa la cual es común con el sensor FTS, y el pin 155 es la señal enviada por el sensor a la ECU, como se muestra en la tabla 49. Usando el multímetro se verifica el sensor ECT regulando su



valor entre 1v y 5v, simulando un motor apagado y un motor encendido, como se muestra en la tabla 50.

**Figura 66**

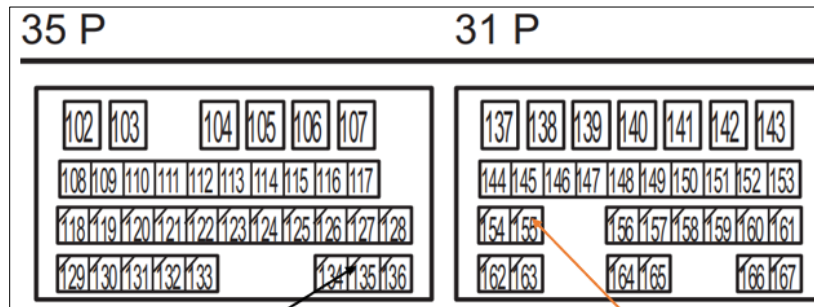
*Sensor ECT*



*Nota.* Sensor de temperatura del refrigerante del motor ECT

**Figura 67**

*Esquema de pines, cuarto y quinto bloque*



*Nota.* Esquema de pines (135, 155) de la ECU para la conexión del sensor ECT

**Tabla 49***Pines del sensor ECT*

Pin	Denominación
135	GND
155	Señal sensor ECT

*Nota.* La tabla muestra la denominación correspondiente de los terminales para el sensor ECT

**Tabla 50***Rango de voltajes del sensor ECT*

Temperatura	Voltaje
18 ° C	4.0 v
27 ° C	3.7 v
63 ° C	1.35 v
88 ° C	1.16 v

*Nota.* La tabla muestra el rango de valores de temperatura del sensor ECT

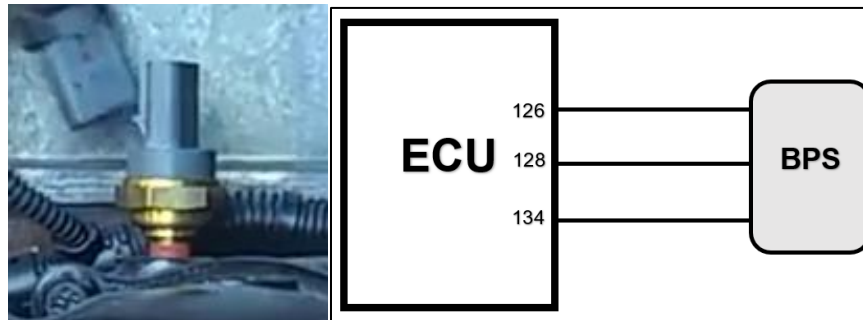
**Sensor BPS**

El sensor de impulso de presión en la figura 68 o *Boost Pressure Sensor* por sus siglas en inglés, es usado para recopilar información sobre presión de aire y la proporción aire/combustible para regular el desempeño del motor. Los terminales están localizados en el cuarto bloque de 35 pines de la ECU, los cuales son 126, 128 y 134, como se muestra en la figura 69. El pin 126 corresponde al voltaje de referencia 5v, el pin 128 corresponde a la señal del sensor enviada a la ECU y el pin 134 corresponde a masa común con el sensor FRP, como se muestra en la tabla 51. Con el uso del multímetro se realiza la verificación del sensor BPS y

se regula su valor entre 2 v – 3.5 v mediante la perilla del potenciómetro que corresponda, como se muestra en la tabla 52.

### Figura 68

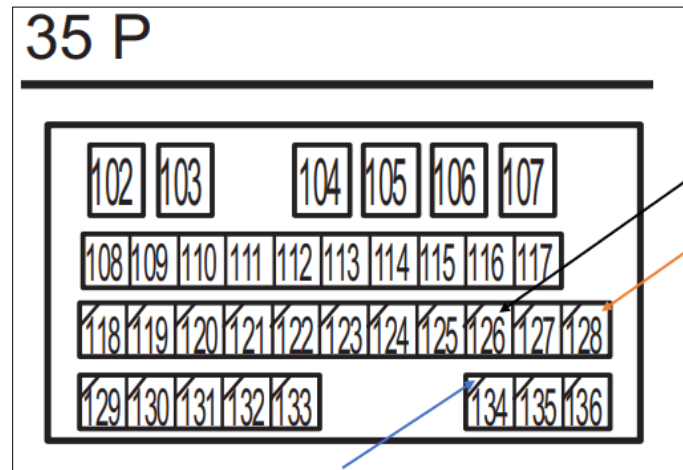
*Sensor BPS*



*Nota.* Sensor de impulso de presión BPS

### Figura 69

*Esquema de pines, cuarto bloque*



*Nota.* Esquema de pines (126, 134, 128) de la ECU para la conexión del sensor BPS

**Tabla 51***Pines del sensor BPS*

<b>Pin</b>	<b>Denominación</b>
126	Referencia 5v
128	Señal sensor BPS
134	GND

*Nota.* La tabla muestra la denominación correspondiente de los terminales para el sensor BPS

**Tabla 52***Rango de voltajes del sensor BPS*

<b>Rango</b>	<b>Valor</b>
V. Min	1 v
V. Max	3,5 v

*Nota.* La tabla muestra el rango de valores que toma el sensor BPS

**DTCs**

A continuación, se muestra los principales DTCs que se relacionan con la parte eléctrica del módulo, como se puede ver en la tabla 53.

**Tabla 53**

*Códigos de error de los diferentes sensores presentes en el módulo*

<b>DTC</b>	<b>Descripción</b>
P0087	Anomalía en el control de presión del riel (Valor debajo del estándar)
P0088	Anomalía en el control de presión del riel (Valor encima del estándar)
P0102	Anomalía detectada en el sensor MAF
P0108	Anomalía de presión de impulso
P0112	Anomalía detectada en el sensor IAT
P0118	Anomalía detectada en el sensor ECT
P0122	Anomalía en el sensor APP 1
P0123	Anomalía en el sensor APP 2
P0182	Anomalía detectada en el sensor FTS
P0200	Carga defectuosa de la ECU del motor
P0237	Malfuncionamiento detectado en el sensor MAP
P0335	Anomalía detectada en el sensor CKP
P340	Anomalía detectada en el sensor CMP

*Nota.* La tabla presenta la los códigos de error posibles que se pueden presentar en el módulo.

Tomado de (DENSO CORPORATION, 2007)

## Capítulo V

### Marco administrativo

#### Presupuesto y financiamiento

Para realizar la presente investigación de manera organizada y detallada, y que el proyecto sea factible, se detalla a continuación el análisis y optimización de los recursos humanos, materiales y tecnológicos.

#### Recursos Humanos

El recurso humano que intervendrá en la ejecución de la investigación es el siguiente:

**Tabla 54**

*Recursos humanos*

Ord.	Descripción	Cantidad	Función
1	Celorio Pacheco Kevin Paul	1	Investigador
2	Delgado León Stalin Sebastián	1	Investigador
3	Ing. Washington German Erazo Laverde	1	Colaborador Científico

*Nota.* La tabla muestra los integrantes y colaboradores de la investigación

#### Recursos tecnológicos

Para la realización correcta de la investigación es necesario contar con equipos tecnológicos que se mencionan a continuación:

**Tabla 55***Recursos Tecnológicos*

<b>Ord.</b>	<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo</b>
1.	Potenciómetros	6	\$0.50	\$3
2.	ECU HINO	1	\$ 700	\$700
3.	Inyectores HINO S500	4	\$ 150	\$600
3.	Cañerías de riel	5	\$ 20	\$ 100
4.	Caja de control electrónico	1	\$ 100	\$100
5.	Alquiler de herramientas	1	\$ 80	\$ 80
6.	Varios insumos (mangueras, botellas plásticas, cableado, etc.)	1	\$ 100	\$100
7	Racores	8	\$ 3	\$ 24
8.	Multímetro	1	\$ 50	\$ 50
9.	Osciloscopio	1	\$ 250	\$ 250
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 2007</b>

*Nota.* La tabla describe el presupuesto utilizado para la implementación del módulo

**Costo neto del proyecto**

El costo neto del proyecto titulado como: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SIMULADOR APLICADO A PRUEBAS DE INYECTORES DENSO CRDI PARA LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE SEDE LATACUNGA”, se presenta a continuación.

**Tabla 56***Costo Neto del Proyecto*

<b>Descripción</b>	<b>Costo total USD</b>
Recursos tecnológicos	\$ 2007
Pintura de estructura	\$ 65
Etiquetas	\$ 10
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 2082</b>

*Nota.* La tabla muestra los costos netos por separado para la implementación del módulo



## Capítulo VI

### Conclusiones y recomendaciones

#### Conclusiones

- Se buscó y recolectó de fuentes bibliográficas que el sistema de inyección electrónico de riel común presenta una eficiencia sobresaliente, bajo consumo de combustible, emisiones reducidas y uniformidad en su funcionamiento, no obstante, este sistema tiene un costo mayor al de otros sistemas convencionales.
- Se seleccionó los componentes eléctricos, electrónicos y mecánicos adecuados para el sistema, tomando en cuenta las propiedades de los elementos obtenidos en manuales y fichas técnicas de los distintos fabricantes.
- Se implementó de inyección de riel común con control electrónico, se acondicionó al módulo las conexiones eléctricas y electrónicas necesarias para que el sistema funcione de acuerdo con detallado en el diseño del módulo.
- Se analizó el funcionamiento y operación de los componentes del sistema CRDI, mediante la observación y examinación de los valores proporcionados por los instrumentos de medida tanto internos como externos del módulo.
- Se elaboró el protocolo de pruebas para los componentes del sistema como son los sensores, evidenciando el correcto funcionamiento del sistema en conjunto lo que dio como resultado los diferentes parámetros evaluados en cada uno de los elementos que componen el módulo.

## Recomendaciones

- Evitar usar el módulo de pruebas con el motor encendido por más de 15 minutos para evitar sobre cargas de presión.
- Asegurarse que el tanque de combustible tenga suficiente combustible antes de encender el módulo para evitar daños en la bomba de alta presión por falta de lubricación.
- Asegurarse que el combustible este relativamente limpio sin partículas de ningún tipo para prevenir a obstrucciones en el circuito y evitar el desgaste prematuro de los elementos.
- Al momento de encender el módulo verificar que los manómetros presenten una presión adecuada.
- Verificar que sobre del módulo no se encuentra ningún objeto antes de encenderlo
- Encender el módulo con el siguiente orden primero la fuente de 12 v, luego la bomba de baja presión y por último el motor que acciona la bomba.
- Desconectar las tomas de corriente del módulo cuando no se lo esté usando.
- Comprobar que el voltaje de alimentación de la ECU sea de 24V

## Bibliografía

- Alarcon, C., & Jaramillo, J. (2007). *Guía para el diagnóstico del sistema de inyección CRDI Bosch*. Cuenca: UPS.
- Almendariz, C., & Naranjo, L. (2022). *Análisis electrónico y mecánico en el proceso de calibración de los inyectores de sistemas CRDI Bosch y Denso*. Latacunga: ESPE.
- Arizaga, F., & Torres, P. (2014). *Diseño de un simulador para diagnóstico de bombas CRDI e implementación en un banco de pruebas Hartridge*. Cuenca: UPSC.
- Armijos, F., & Mejía, A. (2015). *Caracterización de los sensores y actuadores del motor ARMFIELD VOLKSWAGEN CM11-306*. Cuenca: UPS.
- Balseca, C., & Peñafiel, D. (2019). *Análisis avanzado de localización de averías mecánicas y electrónicas en motores de combustión interna mediante el uso del osciloscopio automotriz*. Latacunga: ESPE.
- Casanova, A. (2014). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE INSTRUMENTAL PARA UN PROCEDIMIENTO DE DIAGNÓSTICO Y REPARACIÓN EN TALLER DE SISTEMAS CRDI BOSCH CP1 Y CP3 APLICADOS A LA LINEA KIA*. Latacunga: ESPE.
- Consuegra, S. (2007). *Guía de estudio motores diesel*. Departamento del Atlántico: Itsa Institucion universitaria.
- Coral de la cadena, F. (2013). *Diseño e implementación de un banco de pruebas de inyectores de vehículos a diesel CRDI para la escuela de ingeniería automotriz*. Riobamba: Escuela superior politécnica de Chimborazo.

- Cueva, J., & Zuñiga, R. (2016). *Implementación de un tablero didáctico del sistema de inyección diesel de riel común aplicado a los camiones para el laboratorio de inyección electrónica de la Escuela de Ingeniería Automotriz*. Riobamba: ESPOCH.
- Denso . (31 de Octubre de 2022). *Denso crafting the core*. Obtenido de <https://www.denso.com/global/en/news/newsroom/2022/20221031-g01/>
- DENSO CORPORATION. (Septiembre de 2007). COMMON RAIL SYSTEM CRS SERVICE MANUAL: OPERATION. Estados Unidos.
- Electude Beheer. (20 de Septiembre de 2020). *Electude Simulator Challenge*. Obtenido de simulator electude: <http://simulator.electude.com>
- Erazo, O., & Sasilema, J. (2019). *ANÁLISIS DE DESEMPEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO DEL SISTEMA CRDI DEL MOTOR KIA 2.0L TIPO D4EA*. Latacunga: ESPE.
- Gomez, J., Loachamin, P., & Guerra, I. (2017). *Estudio de caudal y retorno en diferentes inyectores CRDI*. Quito: UIDE.
- Guerra, J., Alexis, M., Jairo, G., & Jefferson, G. (2021). *La gestión de la inyección electrónica de combustible para los motores de encendido por compresión modernos CRDI*. Quito: Pol. Con.
- Jacome, K., & Lopez, D. (2013). *Construcción y programación de un módulo electrónico para comprobación de inyectores diesel CRDI*. Latacunga: ESPE.
- Laica, W. (2012). *IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA LA UNIDAD DE CONTROL ELECTRÓNICO DE VEHÍCULOS CON SISTEMAS DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA PARA LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ*. Riobamba: ESPOCH.

Lema, F., & Lopez, J. (2016). *Simulación del sistema Common Rail en un tablero didáctico*. Ibarra: Universidad técnica del norte .

Medina, A. (2018). *Sensores automotrices*. Ciudad de México: INAOE.

Passo, R., Ulcuango, C., Toapanta, C., & Luna, L. (2019). *Activacion y control de inyectores diesel CRDI de las marcas denso y delphi*. 2.

Petroecuador. (12 de Julio de 2022). *Petroecuador confirma que el 93.9% de los vehículos en Ecuador usan combustible subsidiado*.

Reyes, J. (2018). *Diagnóstico de motores diesel electrónicos, a base de presiones en el riel común (CRDI)*. Ibarra: Universidad técnica del norte.

Truper. (Junio de 2010). *MANUAL MULTÍMETRO DIGITAL PROFESIONAL*.

**ANEXOS**