



**Proceso de diagnóstico mecánico electrónico y mantenimiento para la puesta a punto de  
inyectores diésel CRDI Siemens**

Almache Lloacana, Cristian Daniel y Ojeda Núñez, Marcos Daniel

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Trabajo de Integración Curricular, previo a la obtención del Título de Ingeniero Automotriz

Ing. Erazo Laverde, Washington German Msc.

18 de agosto del 2023

Latacunga



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Reporte de verificación de contenidos



Plagiarism report

tesis crdi SIEMNES-OJEDA-ALMACHE E...

**Scan details**

Scan time:  
August 17th, 2023 at 3:51 UTC

Total Pages:  
99

Total Words:  
24531

**Plagiarism Detection**

Types of plagiarism		Words	
● Identical	0.1%	36	
● Minor Changes	0%	3	
● Paraphrased	0.3%	84	
● Omitted Words	3.7%	914	
<b>0.5%</b>			

**AI Content Detection**

Text coverage	
● AI text	N/A
● Human text	

**Plagiarism Results: (2)**

**● Copyleaks Internal Database** 0.4%  
No introduction available.

**● Copyleaks Internal Database** 0.1%  
No introduction available.

Firma:

Ing. Erazo Laverde, Washington German Msc.

C. C: 0501432637



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

### Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular: "Proceso de diagnóstico mecánico electrónico y mantenimiento para la puesta a punto de inyectores diésel CRDI Siemens" fue realizado por los señores Almache Lloacana, Cristian Daniel y Ojeda Núñez, Marcos Daniel, 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 analizada en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 18 de agosto de 2023

Firma:

Ing. Erazo Laverde, Washington German Msc.

C. C: 0501432637



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Responsabilidad de autoría

Nosotros, **Almache Lloacana, Cristian Daniel** y **Ojeda Núñez, Marcos Daniel**, con cédula de ciudadanía n° 0504085721 y 1805172176, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: “Proceso de diagnóstico mecánico electrónico y mantenimiento para la puesta a punto de inyectores diésel CRDI Siemens” 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, 18 de agosto de 2023

**Almache Lloacana, Cristian Daniel**

C.C.: 0504085721

**Ojeda Núñez, Marcos Daniel**

C.C.: 1805172176



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

**Autorización de publicación**

Nosotros, **Almache Lloacana, Cristian Daniel y Ojeda Núñez, Marcos Daniel**, con cédula de ciudadanía n° 0504085721 y 1805172176 autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **“Proceso de diagnóstico mecánico electrónico y mantenimiento para la puesta a punto de inyectores diésel CRDI Siemens”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 18 de agosto de 2023

**Almache Lloacana, Cristian Daniel**

**C.C.: 0504085721**

**Ojeda Núñez, Marcos Daniel**

**C.C.: 1805172176**

### **Dedicatoria**

Dedico el resultado de este trabajo a mis padres Segundo Ernesto Almache Defaz y Elvia Patricia Lloacana Basantes, cuyo amor incondicional y apoyo constante han contribuido para fortalecer mi carácter y nunca darme por vencido.

A mis hermanas Nayeli Mishel y Alisson Aracely, que, en los momentos de duda, han sido mis confidentes y mis guías.

**CRISTIAN DANIEL ALMACHE LLOACANA**

## **Agradecimiento**

En la culminación de este emocionante viaje académico, quiero expresar mi sincero agradecimiento a todas las personas y entidades que han contribuido a la realización de esta tesis. Sus apoyos y contribuciones han sido esenciales para llevar a cabo este proyecto.

A mis padres Ernesto y Patricia por inculcar valores y ser el pilar fundamental de mi formación profesional.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L, por brindarme una educación excepcional y por proporcionarme el ambiente propicio para el crecimiento académico y personal.

Al Ing. Washington Erazo, mi profundo agradecimiento por su orientación, su dedicación y su paciencia, su conocimiento y sabiduría han sido una guía invaluable en este proceso.

**CRISTIAN DANIEL ALMACHE LLOACANA**

### **Dedicatoria**

En este trabajo la dedico a toda mi familia, a mis padres que son mi vida entera Clemencia Núñez y Luis Dávila porque con su esfuerzo y consejos que me han inculcado me hicieron de mí una persona que tuvo la oportunidad de estudiar y llegar a este momento tan importante de mi formación profesional.

Además, a mi hermana, Joselyn, abuelitos, tíos por su comprensión y apoyo que me han dado durante esta etapa estudiantil.

**MARCOS DANIEL OJEDA NUÑEZ**

## **Agradecimiento**

En primer lugar, a Dios por darme la sabiduría y entendimiento, también expresar mi más sincero agradecimiento a mi familia, por su constante apoyo, amor y paciencia a lo largo de este camino. Agradezco a mis padres por ser mi fuente inagotable de aliento y por creer en mí incluso cuando las dificultades parecían insuperables.

No puedo pasar por alto el apoyo invaluable de mis amigos y compañeros, quienes me han acompañado en este viaje y han compartido risas, momentos de estudio y reflexiones profundas.

Sus ánimos han sido un motor constante.

Extendiendo mi gratitud, reconozco a la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe, por brindarme la oportunidad de perseguir mis estudios y proporcionarme los recursos necesarios para llevar a cabo esta investigación.

Al Ing. Washington Erazo, mi profundo agradecimiento por su orientación, su dedicación y su paciencia, su conocimiento y sabiduría han sido una guía invaluable en este proceso.

Por último, dedico un agradecimiento especial a todas las fuentes, autores y estudios que han contribuido a la construcción de mi trabajo. Su labor ha sido una fuente inestimable de conocimiento que ha enriquecido cada página de esta tesis.

En conjunto, estas expresiones de apoyo han iluminado mi camino y me han permitido alcanzar esta meta. A todos ustedes, les dedico este logro con profunda gratitud.

**MARCOS DANIEL OJEDA NUÑEZ**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

Carátula.....	1
Reporte de verificación de contenidos .....	2
Certificación .....	3
Responsabilidad de autoría .....	4
Autorización de publicación .....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento .....	7
Dedicatoria.....	8
Agradecimiento .....	9
Índice de contenido .....	10
Índice de tablas.....	17
Índice de figuras.....	20
Resumen .....	24
Abstract.....	25
Capítulo I: Marco metodológico .....	26
Antecedentes Investigativos .....	26
Planteamiento del problema .....	27
Descripción resumida de investigación.....	28
Justificación e importancia y alcance.....	28
Objetivos .....	29
<i>Objetivo General</i> .....	29
<i>Objetivos Específicos</i> .....	30
Variables de investigación .....	30
<i>Variable independiente</i> .....	30
<i>Variable dependiente</i> .....	30

Metodología y técnicas de recopilación de información.....	31
Capítulo II: Marco teórico.....	35
Evolución de los sistemas de riel Común .....	35
Sistema de Control electrónico .....	37
<i>Sensores</i> .....	38
<i>Unidad de control electrónico (ECU)</i> .....	39
<i>Actuadores</i> .....	40
Sistema de control hidráulico. ....	41
<i>Funcionamiento</i> .....	42
<i>Clasificación según presiones de trabajo</i> .....	43
<i>Efecto piezoeléctrico</i> .....	47
<i>Inyector piezoeléctrico</i> .....	48
<i>Partes de un inyector piezoeléctrico</i> .....	49
<i>Funcionamiento</i> .....	50
<i>Nomenclatura del código inyector piezoeléctrico</i> .....	53
Sistema de baja presión de combustible .....	54
Sistema de alta presión de combustible .....	55
Geometría de los ángulos de operación. ....	56
<i>Nomenclatura de la geometría de pulverización</i> . ....	57
Ventajas del uso del sistema CRDI SIEMENS .....	58
Inyectores con tecnología SIEMENS .....	59
Características de los inyectores SIEMENS.....	59
<i>Precisión y atomización</i> .....	61
<i>Flujo y caudal controlado</i> .....	61
<i>Resistencia y durabilidad</i> .....	61
Parámetros de inyección. ....	62

Inicio de la inyección. ....	62
Inicio de la inyección avanzada .....	64
Inicio de la inyección retardada .....	66
Curva de la inyección.....	66
Patrones de inyección. ....	67
Especificaciones y hojas características. ....	69
Verificación y control de inyectores. ....	70
Verificación de la pulverización y dirección del chorro. ....	70
Verificación de la estanqueidad .....	71
Verificación de fuga de retorno.....	72
Verificación de entrega de combustible .....	73
Recomendaciones de manipulación de los inyectores piezoeléctricos .....	74
Control de voltaje, Corriente y Figura de Lissajous.....	75
<i>Inyector cerrado-Inicio de inyección. ....</i>	76
<i>Inyector abierto-inyección.....</i>	77
<i>Inyector cerrado-final de la inyección .....</i>	78
<i>Figuras de Lissajous .....</i>	79
<b>Capítulo III: Protocolo de verificación, mantenimiento, pruebas y puesta a punto de inyectores</b>	
<b>Siemens.....</b>	<b>80</b>
Levantamiento de requerimientos .....	80
Detalles de equipos y herramientas de medición.....	81
<i>Banco de Pruebas KOMTEST CRI-2400 .....</i>	81
<i>Banco de pruebas tester CRDI V 3500 VPN.....</i>	83
<i>Banco calibrador de actuadores piezoeléctricos.....</i>	84
<i>Multímetro automotriz .....</i>	85
<i>Osciloscopio automotriz Hantek 1008c .....</i>	86

<i>Trazador de gráficos FADOS9F1 .....</i>	<b>87</b>
<i>Pinza amperimétrica.....</i>	<b>88</b>
<i>Reloj palpador.....</i>	<b>89</b>
<i>Microscopio.....</i>	<b>90</b>
<i>Compresor de aire. ....</i>	<b>90</b>
<i>Kit de herramientas de desmontaje para inyectores multimarca. ....</i>	<b>91</b>
<b>Requisitos de pruebas. ....</b>	<b>92</b>
<b>Especificaciones del sistema de inyección Siemens.....</b>	<b>92</b>
<b>Despiece y nomenclatura del inyector piezoeléctrico SIEMENS VDO Continental .....</b>	<b>93</b>
<i>Despiece de inyector Siemens VDO Continental BK2Q-9K546-AG.....</i>	<b>94</b>
<b>Proceso de desarmado, verificación y armado del inyector.....</b>	<b>97</b>
<i>Proceso de desarmado del inyector Siemens Continental BK2Q-9K546-AG.....</i>	<b>97</b>
<i>Proceso de armado del inyector Siemens Continental BK2Q-9K546-AG.....</i>	<b>99</b>
<i>Despiece de inyector Bosch 0445115 045. ....</i>	<b>102</b>
<i>Proceso de desarmado del inyector piezoeléctrico Bosch 0445115 045 .....</i>	<b>104</b>
<i>Proceso de armado del inyector piezoeléctrico Bosch 0445115 045.....</i>	<b>106</b>
<b>Análisis y comparación de los caudales de inyección y de retorno de inyectores Bosch y Siemens .....</b>	<b>107</b>
<b>Cálculos de ángulos de pulverización .....</b>	<b>112</b>
<i>Datos obtenidos del inyector piezoeléctrico Bosch .....</i>	<b>113</b>
<i>Datos obtenidos del inyector Siemens VDO Continental .....</i>	<b>115</b>
<b>Análisis de pruebas en función de la presión .....</b>	<b>117</b>
<b>Ajuste de recorridos, inductancias, caudal y retorno .....</b>	<b>118</b>
<i>Calibración de inyector CRDI Siemens VDO Continental.....</i>	<b>118</b>
<i>Medición del aislamiento entre pines .....</i>	<b>121</b>
<i>Medición de recorrido del inyector .....</i>	<b>122</b>

<i>Ajuste de actuador .....</i>	<b>124</b>
<i>Reporte de prueba del actuador .....</i>	<b>127</b>
<i>Proceso de ajuste y calibración de inyector piezoeléctrico Bosch .....</i>	<b>127</b>
Prueba de pulverización de inyector Siemens VDO Continental .....	<b>127</b>
Prueba de fugas: prueba de sellado .....	<b>129</b>
Cantidad de combustible a plena carga .....	<b>130</b>
Punto de drenaje.....	<b>131</b>
Límite de suministro de combustible .....	<b>132</b>
Suministro de combustible inactivo .....	<b>132</b>
Pre – Inyección.....	<b>132</b>
Análisis de resultado .....	<b>134</b>
<i>TEST 0: Estanqueidad.....</i>	<b>134</b>
<i>TEST 1: Plena carga.....</i>	<b>134</b>
<i>TEST 2: Emisiones .....</i>	<b>134</b>
<i>TEST 3: Ralentí.....</i>	<b>134</b>
<i>TEST 4: Preinyección .....</i>	<b>135</b>
<i>TEST 5: Emisiones .....</i>	<b>135</b>
<i>Proceso en el banco de pruebas para inyector Siemens Continental BK2Q-9K546-AG.....</i>	<b>135</b>
<i>Proceso al banco de pruebas del inyector Bosch Piezoeléctrico 0445115045 .....</i>	<b>138</b>
Análisis de las pruebas eléctricas del inyector .....	<b>139</b>
Oscilogramas de voltaje y corriente .....	<b>141</b>
<i>Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 1 ms, inyector piezoeléctrico</i>	
<i>Siemens VDO Continental BK2Q-9K546-AG.....</i>	<b>142</b>
<i>Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 1.5 ms, inyector piezoeléctrico</i>	
<i>Siemens VDO Continental BK2Q-9K546-AG.....</i>	<b>143</b>

<i>Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 2 ms, inyector piezoeléctrico</i>	
<i>Siemens VDO Continental BK2Q-9K546-AG</i> .....	144
<i>Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 1 ms, inyector piezoeléctrico</i>	
<i>Siemens VDO Continental BK2Q-9K546-AG</i> .....	145
<i>Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 1.5 ms, inyector piezoeléctrico</i>	
<i>Siemens VDO Continental BK2Q-9K546-AG</i> .....	146
<i>Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 2 ms, inyector piezoeléctrico</i>	
<i>Siemens VDO Continental BK2Q-9K546-AG</i> .....	147
<i>Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 1 ms, inyector piezoeléctrico</i>	
<i>Bosch 0445115 045</i> .....	149
<i>Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 1.5 ms, inyector piezoeléctrico</i>	
<i>Bosch 0445115 045</i> .....	150
<i>Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 2 ms, inyector piezoeléctrico</i>	
<i>Bosch 0445115 045</i> .....	151
<i>Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 1 ms, inyector piezoeléctrico</i>	
<i>Bosch 0445115 045</i> .....	152
<i>Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 1.5 ms, inyector piezoeléctrico</i>	
<i>Bosch 0445115 045</i> .....	153
<i>Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 2 ms, inyector piezoeléctrico</i>	
<i>Bosch 0445115 045</i> .....	154
<b>Capítulo IV: Marco administrativo</b> .....	157
<b>Recursos</b> .....	157
<i>Recursos humanos</i> .....	157
<i>Recursos tecnológicos</i> .....	157
<i>Recursos materiales</i> .....	158
<i>Recursos de apoyo</i> .....	159

<b>Análisis de costos del proyecto de investigación.....</b>	<b>159</b>
<b>Análisis costo- beneficio .....</b>	<b>159</b>
<b>Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>161</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>161</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>162</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>164</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>169</b>



<b>Tabla 23</b> Procedimiento del ajuste de recorrido del inyector Siemens VDO Continental	
BK2Q-9K546-AG.....	122
<b>Tabla 24</b> Procedimiento del ajuste de actuador del inyector Siemens Continental	
BK2Q-9K546-AG.....	124
<b>Tabla 25</b> Resultados de la calibración del inyector.....	127
<b>Tabla 26</b> En la tabla se detalla los resultados del test de inyector Siemens VDO Continental	
BK2Q-9K46-AG.....	130
<b>Tabla 27</b> Valores ideales de presión y caudal para condición en plena carga de inyector Siemens VDO Continental BK2Q-9K46-AG .....	131
<b>Tabla 28</b> Valores ideales de presión y caudal para condición en plena carga de inyector Bosch	
0445115 045 .....	131
<b>Tabla 29</b> Valores ideales de caudal en pre-inyección del inyector Siemens Continental	
BK2Q-9K546-AG.....	133
<b>Tabla 30</b> Valores ideales de caudal en pre-inyección del inyector Bosch Piezoeléctrico	
0445115045.....	133
<b>Tabla 31</b> Parámetros de temperatura del banco de pruebas KOMTEST 2400. ....	137
<b>Tabla 32</b> Reporte de pruebas del banco de prueba KOMTEST Inyector Siemens	
BK2Q-9K546-AG.....	137
<b>Tabla 33</b> Parámetros de temperatura para funcionamiento del banco de pruebas KOMTEST 2400. ....	138
<b>Tabla 34</b> Reporte de pruebas del banco de prueba KOMTEST 2400 del inyector Bosch Piezoeléctrico	
0445115045.....	139
<b>Tabla 35</b> Datos de los oscilogramas obtenidos en las pruebas de voltaje y corriente del inyector piezoeléctrico Siemens VDO Continental BK2Q-9K546-AG.....	148
<b>Tabla 36</b> Datos de los oscilogramas obtenidos en las pruebas de voltaje y corriente del inyector piezoeléctrico Bosch 0445115 045 .....	155
<b>Tabla 37</b> Recursos humanos .....	157

<b>Tabla 38</b> <i>Recursos tecnológicos</i> .....	158
<b>Tabla 39</b> <i>Recursos materiales</i> .....	158
<b>Tabla 40</b> <i>Recursos de apoyo</i> .....	159
<b>Tabla 41</b> <i>Costos totales del proyecto de investigación</i> .....	159

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Sistema de inyección diésel con bomba lineal.</i> .....	35
<b>Figura 2</b> <i>Sistema de inyección diésel con bomba rotativa.</i> .....	36
<b>Figura 3</b> <i>Sistema de inyección Common Rail.</i> .....	37
<b>Figura 4</b> <i>Constitución del sistema de control electrónico.</i> .....	40
<b>Figura 5</b> <i>Válvulas VCV y PCV.</i> .....	40
<b>Figura 6</b> <i>Inyector piezoeléctrico Siemens</i> .....	41
<b>Figura 7</b> <i>Partes de la bomba de combustible DCP de Siemens</i> .....	42
<b>Figura 8</b> <i>Despiece de bomba de alta presión de siemens</i> .....	45
<b>Figura 9</b> <i>Riel de alta presión.</i> .....	46
<b>Figura 10</b> <i>Vista en corte de un inyector CRDI piezoeléctrico.</i> .....	47
<b>Figura 11</b> <i>Accionamiento de expansión.</i> .....	47
<b>Figura 12</b> <i>Accionamiento de compresión.</i> .....	48
<b>Figura 13</b> <i>Accionamiento de un inyector piezoeléctrico</i> .....	49
<b>Figura 14</b> <i>Constitución de un inyector piezoeléctrico</i> .....	49
<b>Figura 15</b> <i>Estado cerrado del inyector piezoeléctrico.</i> .....	51
<b>Figura 16</b> <i>Estado activado de un inyector piezoeléctrico.</i> .....	52
<b>Figura 17</b> <i>Codificación de inyector</i> .....	54
<b>Figura 18</b> <i>Sistema de baja presión del sistema de inyección diésel Common rail.</i> .....	55
<b>Figura 19</b> <i>Sistema de alta presión del sistema Common rail</i> .....	56
<b>Figura 20</b> <i>Geometría de los ángulos de operación en los inyectores.</i> .....	57
<b>Figura 21</b> <i>Despiece de inyector Siemens</i> .....	59
<b>Figura 22</b> <i>Fases de la inyección</i> .....	64
<b>Figura 23</b> <i>Inicio de la inyección en función del tipo de motor.</i> .....	65
<b>Figura 24</b> <i>Curva de inyección con la carga y velocidad</i> .....	67
<b>Figura 25</b> <i>Patrón de inyección del sistema Common Rail</i> .....	68

<b>Figura 26</b> <i>Inspección visual CRDI Siemens desmontado del motor.</i> .....	70
<b>Figura 27</b> <i>Pulverización de un inyector</i> .....	71
<b>Figura 28</b> <i>Inyector diésel en fase de descarga.</i> .....	73
<b>Figura 29</b> <i>Volumen de inyección y retorno inyectado.</i> .....	74
<b>Figura 30</b> <i>Relación de corriente, voltaje y desplazamiento de la aguja del inyector.</i> .....	76
<b>Figura 31</b> <i>Curvas de voltaje y corriente de un inyector cuando inicia la inyección.</i> .....	77
<b>Figura 32</b> <i>Curvas de voltaje y corriente de un inyector está abierto, tiempo de inyección.</i> .....	78
<b>Figura 33</b> <i>Curvas de voltaje y corriente de un inyector cuando finaliza la inyección.</i> .....	78
<b>Figura 34</b> <i>Gráfica característica de una bobina.</i> .....	79
<b>Figura 35</b> <i>Banco de pruebas KOMTEST CRI 2400.</i> .....	82
<b>Figura 36</b> <i>Interfaz de medición del banco de pruebas KOMTEST CRI 2400.</i> .....	82
<b>Figura 37</b> <i>Partes del banco de pruebas tester CRDI V 3500 VPN</i> .....	83
<b>Figura 38</b> <i>Equipo Dimedpiezotool</i> .....	84
<b>Figura 39</b> <i>Interfaz del banco Dimedpiezotool.</i> .....	85
<b>Figura 40</b> <i>Multímetro automotriz ProssKit MT-5211</i> .....	86
<b>Figura 41</b> <i>Osciloscopio Hantek 1008C</i> .....	87
<b>Figura 42</b> <i>Interfaz de salida de osciloscopio Hantek</i> .....	87
<b>Figura 43</b> <i>Interfaz de salida y equipo FADOS9F1</i> .....	88
<b>Figura 44</b> <i>Pinza amperimétrica marca Brain Bee</i> .....	89
<b>Figura 45</b> <i>Reloj palpador</i> .....	89
<b>Figura 46</b> <i>Microscopio digital</i> .....	90
<b>Figura 47</b> <i>Compresor de aire MZB</i> .....	91
<b>Figura 48</b> <i>Herramientas usadas para el desmontaje de los inyectores.</i> .....	91
<b>Figura 49</b> <i>Inyector CRDI siemens BK2Q-9K546-AG</i> .....	94
<b>Figura 50</b> <i>Componentes internos del cuerpo del inyector.</i> .....	94
<b>Figura 51</b> <i>Piezas del inyector</i> .....	99

<b>Figura 52</b> Componentes internos del cuerpo del inyector.....	102
<b>Figura 53</b> Comparación de caudal de inyección y retorno del inyector Siemens VDO Continental BK2Q-9K546-AG.....	111
<b>Figura 54</b> Comparación de caudal de inyección y retorno del inyector piezoeléctrico Bosch 0445115045.....	112
<b>Figura 55</b> Número de agujeros del inyector.....	114
<b>Figura 56</b> Número de agujeros del inyector.....	115
<b>Figura 57</b> Entrada de aire comprimido. ....	118
<b>Figura 58</b> Ubicación de la válvula de control. ....	119
<b>Figura 59</b> Fijación del inyector en bloque de retención .....	120
<b>Figura 60</b> Resultado de los valores de capacitancia. ....	120
<b>Figura 61</b> Resultado de los valores de capacitancia. ....	121
<b>Figura 62</b> Gráfica resistencia vs voltaje del aislamiento entre pines. ....	122
<b>Figura 63</b> Tabla de medidas para arandelas de calibración. ....	126
<b>Figura 64</b> Verificación del ajuste del actuador.....	126
<b>Figura 65</b> Banco de pruebas de pulverización.....	128
<b>Figura 66</b> Prueba de pulverización. ....	128
<b>Figura 67</b> Configuración del banco de pruebas KOMTEST 2400 en la opción de Siemens Piezo.....	136
<b>Figura 68</b> Inyector instalado en banco de pruebas .....	136
<b>Figura 69</b> Gráfica de Lissajous del actuador piezoeléctrico. ....	140
<b>Figura 70</b> Gráfica de comparación del actuador piezoeléctrico Siemens y Bosch .....	140
<b>Figura 71</b> Oscilograma de voltaje y corriente de inyector piezoeléctrico Siemens VDO Continental .....	141
<b>Figura 72</b> Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 1 ms .....	143
<b>Figura 73</b> Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 1.5 ms .....	144

<b>Figura 74</b> <i>Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 2 ms</i> .....	145
<b>Figura 75</b> <i>Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 1 ms</i> .....	146
<b>Figura 76</b> <i>Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 1.5 ms</i> .....	147
<b>Figura 77</b> <i>Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 2 ms</i> .....	148
<b>Figura 78</b> <i>Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 1 ms</i> .....	150
<b>Figura 79</b> <i>Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 1.5 ms</i> .....	151
<b>Figura 80</b> <i>Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 2 ms</i> .....	152
<b>Figura 81</b> <i>Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 1 ms</i> .....	153
<b>Figura 82</b> <i>Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 1.5 ms</i> .....	154
<b>Figura 83</b> <i>Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 2 ms</i> .....	155

## Resumen

El trabajo de integración curricular se trata sobre el diagnóstico mecánico, electrónico y mantenimiento para la puesta a punto de inyectores diésel CRDI Siemens VDO Continental, el cual se basa en el funcionamiento de inyectores piezoeléctricos del sistema de alimentación diésel. En el capítulo I, se detalla el marco metodológico de la investigación, se define y se fijan cada parámetro que se va a considerar en la investigación. En el capítulo II, se recopiló información precisa sobre el inyector CRDI con la finalidad de comprender el funcionamiento eléctrico, electrónico y mecánico incluyendo la composición interna del mismo. En el capítulo III, se llevó a cabo el levantamiento de requerimientos para ejecutar las pruebas en el banco de acuerdo con los parámetros necesarios. Además, se realizó cálculos en base al ángulo de pulverización que permitió conocer la calidad de pulverización. Aquí se detallan todas las herramientas y equipos que se utilizó para el diagnóstico mecánico, electrónico y la puesta a punto de los inyectores Siemens. Se incluyen también el proceso de armado, desarmado y calibración que permitió evaluar el inyector. Finalmente, en el capítulo IV se menciona el marco administrativo de toda la investigación, los recursos de apoyo y los investigadores en el cual se detalla cada parámetro que se utilizó en toda la investigación, acompañado de las conclusiones y recomendaciones de la investigación que es el sustento de trabajo de integración curricular.

*Palabras clave:* Piezoeléctrico, Siemens VDO Continental, inyector diésel CRDI, calibración de inyector, sistema CRDI.

### **Abstract**

The curricular integration work deals with the mechanical, electronic diagnosis and maintenance for the tuning of CRDI Siemens VDO Continental diesel injectors, which is based on the operation of piezoelectric injectors of the diesel feeding system. In chapter I, the methodological framework of the investigation is detailed, each parameter that is going to be considered in the investigation is defined and fixed. In chapter II, precise information about the CRDI injector was collected in order to understand its electrical, electronic and mechanical operation, including its internal composition. In chapter III, the survey of requirements was carried out to execute the tests in the bank according to the necessary parameters. In addition, calculations were made based on the spray angle that allowed to know the spray quality. Here are detailed all the tools and equipment used for the mechanical and electronic diagnosis and tuning of the Siemens injectors. The assembly, disassembly and calibration process that allowed evaluating the injector is also included. Finally, in chapter IV the administrative framework of all the investigation, the support resources and the researchers are mentioned, in which each parameter that was used in all the investigation is detailed, accompanied by the conclusions and recommendations of the investigation that is the support of curricular integration work.

*Keywords:* Piezoelectric, Siemens VDO Continental, CRDI diesel injector, injector calibration, CRDI system.

## Capítulo I

### Marco metodológico del proceso de diagnóstico mecánico electrónico y mantenimiento para la puesta a punto de inyectores diésel CRDI Siemens

#### Antecedentes Investigativos

El sistema CRDI (Common Rail Direct Injection) Siemens es un tipo de sistema de inyección de combustible para motores diésel que fue desarrollado por la empresa alemana Siemens AG. Este sistema de inyección es utilizado en una amplia variedad de motores diésel, incluyendo motores marinos, motores de camiones y autobuses, y motores de maquinaria pesada.

La investigación sobre el sistema CRDI Siemens ha sido amplia y variada, ya que este sistema ha sido interesado por los fabricantes de motores, los proveedores de sistemas de inyección de combustible y los investigadores de ingeniería mecánica y tecnología de motores.

(Parera, 1996), menciona que “la inyección del combustible en el interior de la cámara de combustión en los motores diésel debe realizarse a elevadas presiones” (p. 33) es decir que, los inyectores Siemens deben ser capaces de soportar dicha presión.

Algunos de los antecedentes de investigación sobre el sistema CRDI Siemens incluyen:

Desarrollo y optimización del sistema CRDI Siemens: La investigación en esta área se centra en mejorar la eficiencia y el rendimiento del sistema de inyección de combustible. Se han llevado a cabo estudios sobre la presión de inyección que afectan la eficacia del sistema.

El sistema CRDI Siemens es controlado electrónicamente, por lo que se debe enfocar la investigación en la utilidad de los componentes electrónicos que garanticen la gestión de inyección de combustible de forma precisa y en tiempo real.

El sistema CRDI Siemens se ha centrado en mejorar la eficiencia y el rendimiento del sistema de inyección de combustible, reducir las emisiones, aumentar la durabilidad y mejorar la seguridad, así como también el control electrónico del sistema.

Según (Passo & Luna, 2019) en su texto menciona que:

Los inyectores CRDI como Siemens, poseen diferencias considerables al momento de regulación de presión y la cantidad de flujo que pasa a ser comprimido en la parte de alta presión, estructura de regulación, retorno y el sistema de control y activación de inyectores Common rail direct Injection CRDI (pp. 186-184)

### **Planteamiento del problema**

El sistema de inyección Common Rail Direct Injection (CRDI) de Siemens es ampliamente utilizado en motores diésel de vehículos y maquinarias pesadas. Los inyectores son componentes clave de este sistema, su correcto funcionamiento es fundamental para el rendimiento y la eficiencia del motor. Sin embargo, estos inyectores están sujetos a fallas y averías que pueden afectar negativamente el rendimiento del motor, lo que a su vez puede resultar en un mayor consumo de combustible y emisiones de gases contaminantes.

La investigación en esta área es importante para los proveedores de sistemas de inyección de combustible, ya que les permitiría identificar las causas de fallas y problemas en los inyectores CRDI Siemens y desarrollar soluciones efectivas para mejorar la eficiencia y el rendimiento del sistema de inyección. Además, la investigación también podría ser útil para los propietarios de vehículos con motores diésel equipados con el sistema CRDI Siemens, ya que les permitiría entender mejor los problemas potenciales y cómo prevenirlos o solucionarlos.

### **Descripción resumida de investigación**

A través de la UIC, se desarrollará el proyecto de graduación denominado Proceso de diagnóstico mecánico electrónico y mantenimiento para la puesta a punto de inyectores diésel CRDI SIEMENS, en este contexto se realizará la investigación del estado del arte en fuentes de consulta confiables para posteriormente desarrollar las siguientes tareas que conformarán el trabajo de graduación.

- Determinar los procesos de diagnóstico mecánico electrónico y mantenimiento para la puesta a punto de inyectores diésel CRDI SIEMENS
- Levantamiento de requerimientos del sistema
- Selección de equipos de verificación de diagnóstico
- Estimación de procesos de operación y obtención de especificaciones
- Verificar oscilogramas de voltaje corriente y figuras de Lissajous.
- Verificar desempeño mecánico, hidráulico y electrónico.
- Desarrollo del protocolo de reparación, calibración, ajuste y puesta a punto.
- Informe del proceso de verificación mecánica y eléctrica de inyectores CRDI.

### **Justificación e importancia y alcance**

La justificación para analizar los inyectores SIEMENS CRDI es que estos son un componente crítico del sistema de inyección Common Rail Direct Injection (CRDI), que ha demostrado ser una tecnología efectiva para mejorar la eficiencia y reducir las emisiones de los motores diésel. Sin embargo, el desgaste prematuro de los inyectores puede comprometer el rendimiento y la sostenibilidad del sistema.

Por lo tanto, es importante llevar a cabo una investigación detallada sobre los inyectores SIEMENS CRDI para entender cómo funcionan, Con esta información, se pueden desarrollar

soluciones técnicas que permitan extender la vida útil de los inyectores, mejorar la eficiencia del sistema y reducir los costos de mantenimiento a largo plazo.

La esta investigación puede ser relevante para la industria automotriz y de transporte, ya que el sistema CRDI se usa en varias aplicaciones. Al mejorar el rendimiento y la sostenibilidad del sistema, se pueden ofrecer vehículos y maquinarias más eficientes y amigables con el medio ambiente, lo que es una prioridad tanto para los consumidores como para los reguladores.

La justificación para analizar los inyectores CRDI Siemens radica en su importancia en el sistema de inyección de combustible de los motores diésel. Los inyectores son los responsables de suministrar la cantidad precisa de combustible al motor en cada ciclo de combustión, lo que garantiza la eficiencia y el rendimiento del motor. Los inyectores CRDI Siemens son reconocidos por su alta precisión y eficiencia, pero también pueden presentar fallas y problemas que afectan su desempeño.

La importancia de analizar los inyectores CRDI Siemens se relaciona con la necesidad de identificar las causas de las fallas y problemas en estos componentes y desarrollar soluciones efectivas para mejorar la eficiencia y el rendimiento del sistema de inyección de combustible. La investigación en esta área puede contribuir a la optimización del sistema de inyección de combustible, lo que se traduce en una mayor eficiencia y rendimiento del motor, así como en una reducción de las emisiones de gases contaminantes.

## **Objetivos**

### ***Objetivo General***

Desarrollar el proceso de diagnóstico mecánico electrónico y mantenimiento para la puesta a punto de inyectores diésel CRDI SIEMENS.

### ***Objetivos Específicos***

- Levantar requerimientos y seleccionar equipos de verificación y diagnóstico de inyectores CRDI SIEMENS.
- Determinar el proceso de operación, verificación y especificaciones de los inyectores CRDI SIEMENS
- Verificar el desempeño mecánico, hidráulico y electrónico.
- Desarrollar el protocolo e informe de reparación, calibración, ajuste y puesta a punto mecánica y eléctrica de inyectores CRDI SIEMENS.

### **Metas del Proyecto**

Realizar el proceso de diagnóstico mecánico electrónico y calibración en función a los parámetros y hojas características.

### **Hipótesis**

¿El desarrollo del proceso de diagnóstico mecánico electrónico y mantenimiento para la puesta a punto de inyectores diésel CRDI SIEMENS permitirá obtener las variables necesarias para el desempeño óptimo del motor de combustión interna diésel?

### **Variables de investigación**

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

- Diagnóstico mecánico electrónico y mantenimiento de inyectores.

#### ***Variable dependiente***

- Puesta a punto de los sistemas CRDI.

## **Metodología y técnicas de recopilación de información**

Para dar el soporte correspondiente al aspecto metodológico, se obtendrá información de fuentes confiables como libros, lugares web, artículos científicos, publicaciones, boletines de revistas, bibliotecas virtuales y espacios de investigación.

### **Método deductivo**

El método deductivo comienza con una hipótesis general y luego se realiza una investigación empírica para recolectar datos y probar la hipótesis. En el contexto de la investigación de inyectores CRDI Siemens, un enfoque deductivo podría ser comenzar con una hipótesis general sobre las causas de las fallas en los inyectores, como la contaminación de los combustibles o la mala calidad del lubricante, y luego recolectar y analizar datos para probar o refutar esta hipótesis.

### **Método inductivo**

El método inductivo comienza con la recolección de datos empíricos y luego se busca identificar patrones y relaciones en los datos para formular una teoría o una hipótesis. En el contexto de la investigación de inyectores CRDI Siemens, un enfoque inductivo podría ser recolectar y analizar datos de inyectores fallidos para identificar patrones y relaciones en los tipos de fallas, síntomas y condiciones de operación, y luego desarrollar una teoría o hipótesis sobre las causas subyacentes de las fallas.

Ambos enfoques pueden ser complementarios en la investigación de inyectores CRDI Siemens, ya que el método deductivo puede ser útil para probar hipótesis específicas, mientras que el método inductivo puede ser útil para descubrir patrones y relaciones que pueden no haber sido evidentes de otra manera.

Además, el uso de ambos métodos puede ayudar a garantizar la investigación.

### **Método analítico**

En la investigación de inyectores Siemens CRDI, se pueden utilizar tanto el método analítico como el experimental, y ambos enfoques pueden ser útiles en diferentes etapas de la investigación.

El método analítico implica el uso de modelos teóricos y análisis matemáticos para comprender y explicar los fenómenos relacionados con los inyectores CRDI Siemens. En este enfoque, los investigadores pueden utilizar técnicas como la mecánica de fluidos, la termodinámica y la dinámica de materiales para analizar cómo los diferentes componentes del inyector, como las válvulas y los inyectores de combustible, interactúan entre sí y cómo las diferentes variables pueden afectar su funcionamiento. El método analítico también puede ser útil para predecir el comportamiento del inyector en diferentes condiciones de operación y para desarrollar estrategias de solución de problemas.

### **Método experimental**

Implica la realización de pruebas y ensayos en inyectores CRDI Siemens reales para evaluar su desempeño y comportamiento. En este enfoque, los investigadores pueden utilizar equipos de pruebas especializados para medir el caudal de combustible, la presión de inyección y otros parámetros relevantes.

Ambos enfoques pueden ser complementarios en la investigación de inyectores Siemens CRDI, ya que el método analítico puede ser útil para comprender los principios físicos subyacentes del inyector y para desarrollar modelos teóricos que puedan guiar la investigación experimental.

Método experimental puede proporcionar datos empíricos que puedan usarse para validar los modelos teóricos y para identificar patrones y tendencias que pueden no

ser evidentes de otra manera. En general, el uso de ambos métodos puede ayudar a garantizar que la investigación sea rigurosa y basada en evidencia.

### **Método comparativo y medición**

En la investigación de inyectores Siemens CRDI, se pueden utilizar tanto el método comparativo como el de medición para comparar y evaluar diferentes aspectos del funcionamiento del inyector.

El método comparativo implica comparar diferentes inyectores CRDI Siemens para identificar diferencias en su diseño, construcción, componentes, rendimiento y confiabilidad. En este enfoque, los investigadores pueden comparar inyectores de diferentes marcas o modelos, o comparar inyectores de la misma marca o modelo pero que han sido fabricados en diferentes momentos o lugares. El método comparativo también puede ser útil para identificar patrones y tendencias en las fallas del inyector y para evaluar el impacto de diferentes factores, como la calidad del combustible, la temperatura de operación y la presión de inyección.

Por otro lado, el método de medición implica el uso de instrumentos y equipos de medición para evaluar el rendimiento y la eficiencia de los inyectores CRDI Siemens. En este enfoque, los investigadores pueden medir parámetros como la tasa de flujo de combustible, la presión de inyección, la uniformidad de la pulverización y la eficiencia de la combustión. También pueden realizar pruebas de durabilidad para evaluar la resistencia del inyector a diferentes condiciones de operación.

Ambos enfoques pueden ser útiles en diferentes etapas de la investigación de inyectores Siemens CRDI.

El método comparativo puede ser útil para identificar patrones y tendencias en el rendimiento y la confiabilidad del inyector, mientras que el método de medición puede

ser útil para evaluar el desempeño del inyector en diferentes condiciones de operación y para identificar oportunidades de mejora. En general, el uso de ambos métodos puede ayudar a garantizar que la investigación sea rigurosa y basada en evidencia, lo que puede conducir a soluciones más efectivas y confiables para los problemas relacionados con los inyectores CRDI Siemens.

El método de observación puede ser útil en la investigación de inyectores CRDI Siemens para recopilar información sobre el comportamiento y el rendimiento del inyector en condiciones de operación reales.

En el método de observación, los investigadores pueden observar y registrar el comportamiento del inyector en diferentes situaciones, como en el banco de pruebas o en el motor real del vehículo. Pueden usar técnicas de observación cualitativa, como la descripción detallada de los procesos y eventos, así como técnicas de observación cuantitativa, como la medición de parámetros como la presión de inyección y la tasa de flujo de combustible.

La observación también puede ser útil para identificar patrones y tendencias en las fallas del inyector, así como para evaluar la calidad del combustible y otras variables que pueden afectar su desempeño.

Además, la observación puede proporcionar información valiosa para mejorar el diseño y la construcción de los inyectores CRDI Siemens.

Por lo tanto, el método de observación debe utilizarse en conjunto con otros métodos y técnicas para garantizar que los resultados sean precisos y confiables. En general, el uso del método de observación puede ser valioso para la investigación de inyectores CRDI Siemens al proporcionar información valiosa sobre su comportamiento y rendimiento en situaciones de la vida real.

## Capítulo II

### Marco Teórico

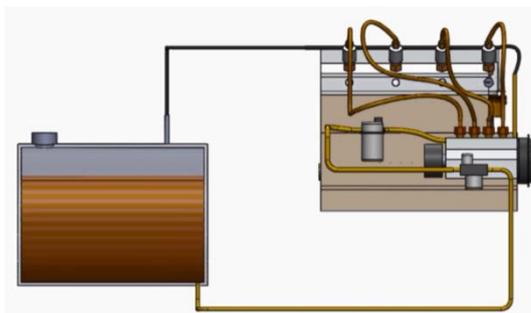
#### Evolución de los sistemas de riel común

Los sistemas de riel común se desarrollaron para mejorar la eficiencia de inyección de combustible. Los primeros sistemas de inyección diésel fueron completamente mecánicos donde la inyección se realizaba directamente. Estos sistemas empleaban una bomba mecánica que suministraba el combustible a alta presión a través de los inyectores hacia la cámara de combustión. La cantidad de combustible inyectado se controlaba mediante la posición de la bomba de inyección y el tiempo de inyección.

Existen bombas mecánicas de tipo lineal y rotativa. (Borja et al, 2019) mencionan que “Se denominan bombas lineales, pues los elementos de impulsión estaban ubicados de manera lineal, uno al lado de otro” (p. 5). Este tipo de bombas aun forman parte de diversos motores, tanto estacionario como de vehículos de diferentes capacidades.

#### Figura 1

*Sistema de inyección diésel con bomba lineal*

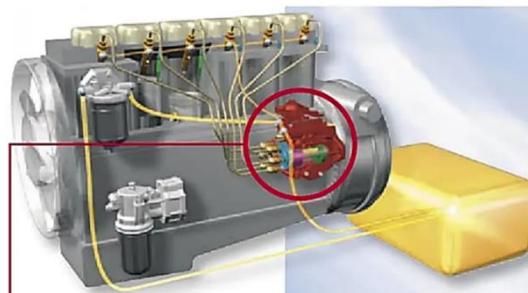


*Nota.* En la figura se observa un sistema de inyección diésel con bomba lineal. Tomado de (Satander, 2013)

En el parque automotor también se encuentra los motores con bombas rotativas. (González et al, 2016) afirman que: “Las bombas distribuidoras o rotativas están constituidas por un único elemento de bombeo independiente del número de cilindros”. En ese sentido, las bombas rotatorias pueden incorporar otros elementos auxiliares que compensen las exigencias del MCI.

## Figura 2

*Sistema de inyección diésel con bomba rotativa*



*Nota.* En la figura se observa un sistema de inyección equipada con bomba rotativa. Tomado de (BOSCH, 2017)

Frente a las exigencias medioambientales y mejoras en los sistemas de inyección, la industria automotriz ha complementado la inyección con el control electrónico del vehículo dando origen al sistema de inyección (Common rail).

Según (BOSCH, 2005) en su texto menciona que:

“En este sistema, la generación de presión y la de inyección de combustible están separadas, lo que significa que la bomba genera la alta presión que está disponible para todos los inyectores a través de un tubo distribuidor común” (p. 26).

En este caso, se dice que los inyectores CRDI están conectados y controlados independientemente por el módulo de control electrónico el mismo que es capaz de regular la presión a los parámetros necesarios.



datos son usados para calcular la cantidad adecuada de combustible que se debe inyectar en cada cilindro. La ECU utiliza algoritmos y mapas preprogramados para determinar el tiempo y la cantidad de inyección de combustible en función de los datos proporcionados por los sensores.

En los motores equipados con inyectores electrónicos, la ECU envía las señales precisas que determinan el momento y la duración de la inyección de combustible, es decir que, controla la apertura y cierre de los inyectores con alta precisión, lo que permite una inyección de combustible más rápido y exacto.

### **Sensores**

En los diferentes motores diésel existentes en el mercado, el número de componentes difiere de cada fabricante. (Perez C. , 2021) en su webinar asegura que: Los sensores de un motor gasolina no guardan mucha diferencia con respecto a un sensor de un motor diésel, sin embargo, dichos sensores tienen una función diferente. Los sensores y actuadores necesarios para un sistema de inyección diésel de riel común son:

Sensor CKP (Sensor de posición del cigüeñal) y CMP (Sensor de posición de árbol de levas): Son los encargados de proporcionar la posición del cigüeñal y árbol de levas respectivamente y enviarlas a la ECU.

Sensor MAP (Sensor de presión absoluta del múltiple) y BPS (Sensor de presión de impulso): Dado que el motor diésel posee un turbocompresor, estos tienen la función de determinar la presión de sobrealimentación.

Sensor ECT (Sensor de temperatura del refrigerante): Es el encargado de proporcionar información sobre la temperatura del líquido refrigerante.

Sensor FTS (Sensor de temperatura del combustible): Mide la temperatura del combustible para ajustar la cantidad correcta a inyectar.

Sensor IAT (Sensor de temperatura de aire de admisión): Debido a que los motores diésel poseen un intercooler, su función es determinar la temperatura del aire que ingresa al motor y de ese modo calcular la densidad del aire que permita un dosificado perfecto de aire/combustible.

Sensor APP (Sensor de posición del acelerador): Detecta la posición del pedal para ajustar la cantidad de combustible inyectado.

Sensor de posición de la válvula EGR (recirculación de los gases del escape): Detecta el movimiento y la posición del eje de la válvula EGR.

Sensor de presión del riel (ICP): El sistema de Common Rail necesita mantener una presión constante en el riel, este sensor es el encargado de medir la presión existente en el riel común.

### ***Unidad de control electrónico (ECU)***

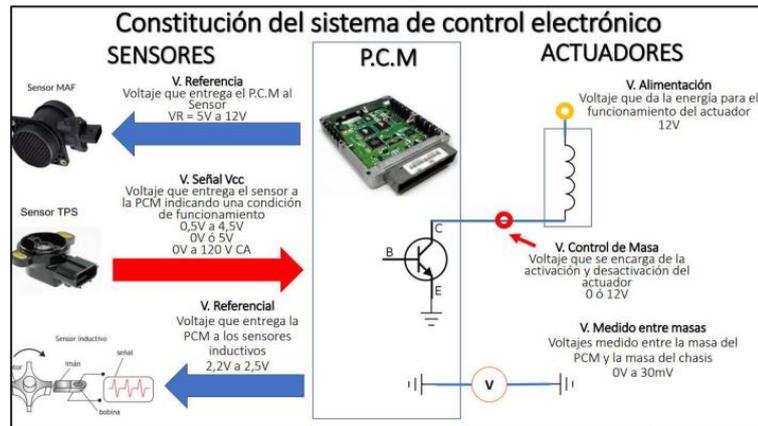
La ECU es el componente principal en la gestión electrónica. (Laica, 2012) afirma que:

La unidad de control electrónica "Es un conjunto de diversos componentes electrónicos distribuidos en placas de circuito impreso, que se encuentran alojadas dentro de una cubierta de aluminio, compuesta de aletas para su refrigeración" (p.5).

La disposición y trabajo de cada ECU dependerá del diseño y configuración de cada fabricante, sin embargo, las ECUs funcionan con el mismo principio.

Figura 4

Constitución del sistema de control electrónico



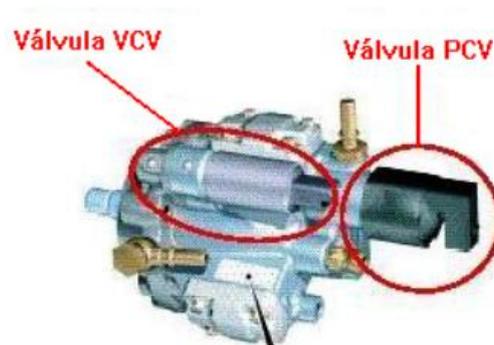
*Nota.* En la imagen se puede observar los elementos que constituyen una ECU. Tomado de (Muquinche & Nicolalde, 2023)

### Actuadores

Los actuadores son elementos capaces de responder a las señales enviadas por la ECU controlando así los parámetros físicos que permiten el buen desarrollo del motor. En el sistema de inyección diésel Common Rail los actuadores principales son:

Figura 5

Válvulas VCV y PCV



*Nota.* En la figura se puede observar la ubicación de las válvulas VCV y PCV. Tomado de (FORD, 2005)

En el manual de fabricante de (FORD, 2005) menciona que:

La válvula reguladora de caudal trabaja bajo el principio electromagnético donde un solenoide permite el flujo de combustible hacia el retorno, este solenoide está comandado por la ECU y forma parte de la bomba de combustible DCP.

La válvula reguladora de presión (PCV) funciona en condiciones similares a la válvula VCV con la diferencia que ésta regula la presión a la salida de la bomba de alta presión.

El actuador con mayor valor significativo es el inyector piezoeléctrico, dado el principio de funcionamiento de un elemento piezoeléctrico, estos son capaces de deformarse al aplicar un voltaje, es decir, en el interior del inyector, se genera una deformación del cristal que se contrae y expande permitiendo la apertura y cierra del conducto por donde se pulveriza el combustible (p.32)

#### **Figura 6**

*Inyector piezoeléctrico Siemens*



*Nota.* En la imagen observa un inyector diésel de tipo piezoeléctrico Siemens Tomado de (FORD, 2005)

#### **Sistema de control hidráulico**

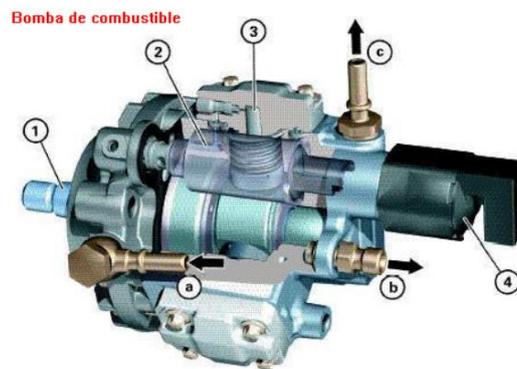
En el manual de fabricante (FORD, 2005)menciona en su texto que:

Por la estructura del sistema de inyección CRDI se debe tener un sistema de control hidráulico para regular la presión del combustible en el riel común y controlar la inyección de combustible. Los elementos del sistema hidráulico son:

Bomba de alta presión de combustible (DCP): Esta bomba se encarga de generar la presión necesaria para inyectar el combustible en los cilindros.

### Figura 7

*Partes de la bomba de combustible DCP de Siemens*



*Nota.* En la siguiente imagen se identifican los componentes de una bomba de combustible diésel. 1 bomba de transferencia interna (ITP), 2 válvula reguladora de caudal (VCV), 3 bomba de alta presión (HPP), 4 válvula reguladora de presión (PCV), a alimentación de combustible, b conexión de alta presión, c retorno de combustible. Tomado del manual (FORD, 2005)

### **Funcionamiento**

La bomba de alta presión es impulsada por el motor y puede funcionar mediante varios mecanismos, como levas, engranajes o émbolos. La presión generada por la bomba se mantiene constante en el riel común.

(Guevara & Becerra , 2022) en su texto manifiestan que:

La función primordial de la bomba es mantener una compresión constante del combustible y dirigirlo al conducto común a una presión que oscila entre 1100 y 2200 bar,

independientemente de las diversas condiciones de operación. Esta presión del combustible se ajusta de manera adaptable mediante la operación de la válvula dosificadora, que es gestionada electrónicamente por la ECU a través de la señal transmitida desde el sensor de presión del conducto común

### ***Clasificación según presiones de trabajo***

(Guevara & Becerra , 2022) mencionan que: El componente de alta presión en los sistemas CRDI se segmenta en tres áreas distintas: la producción de presión, la acumulación de esta presión y la administración precisa de combustible hacia los cilindros del motor. Las diferencias fundamentales entre las generaciones de sistemas Common Rail se centran principalmente en las variantes de las bombas de alta presión y los inyectores utilizados, así como en las funciones esenciales que desempeña el sistema en su conjunto.

**Tabla 1**

*Clasificación de bombas según su presión de trabajo*

<b>Bomba de alta presión</b>	<b>Descripción</b>	<b>Presión de trabajo(bar)</b>
<b>CP1</b>	Regulación de presión con válvula reguladora de presión. Zona de alta presión.	1350- 1450
<b>CP2</b>	Regulación de caudal con dos válvulas electromagnéticas. Zona de aspiración.	1400
<b>CP3, CP1H</b>	Regulación de caudal con unidad de dosificación. Zona de aspiración.	1600
<b>CP3.CP1 H</b>	Regulación de caudal con unidad de dosificación. Zona de aspiración.	1800
<b>CP3, CP1H</b>	Unidad de dosificación.	2000

Bomba de alta presión	Descripción	Presión de trabajo(bar)
CP4	Unidad de dosificación.	2500

*Nota.* En la tabla se muestra los tipos de bombas en diferentes generaciones.

(Guevara & Becerra , 2022) afirma que: La distinción clave entre varios tipos de bombas de alta presión reside en sus métodos de generación de presión, su aplicación y el nivel máximo de presión requerido para la operación del motor. Se pueden distinguir los siguientes métodos de generación de presión:

Regulación de control de flujo: este enfoque implica regular la presión del riel ajustando el paso de combustible desde la bomba de alta presión al sistema de retorno. Esto permite la gestión del flujo de combustible de acuerdo con las necesidades específicas, y se ejemplifica en bombas como la CP1.

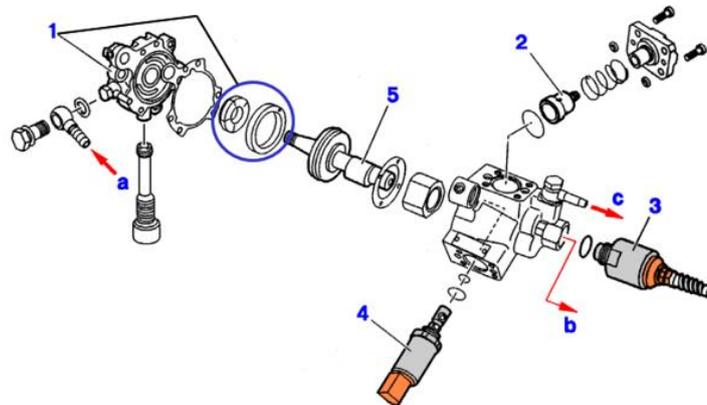
Regulación del Caudal de Entrada con Retorno Fijo: En este método se reduce el consumo de energía de la bomba comprimiendo sólo la cantidad necesaria de combustible. Implica regular el flujo de combustible que ingresa al sistema mientras se mantiene un flujo de retorno fijo. Este concepto se materializa en bombas como la CP3.

Regulación de doble punto: esta técnica implica controlar la presión del combustible a través de una válvula reguladora de presión ubicada en el riel común o dentro de la bomba misma. Esto permite un control más preciso y exacto del nivel de presión.

Cada enfoque presenta distintas ventajas según los requisitos particulares del motor y las condiciones operativas. (pp. 31-36).

**Figura 8**

*Despiece de bomba de alta presión de Siemens*



*Nota.* Se observa los componentes internos de la bomba de alta presión. Tomado de (SIEMENS, 2015).

**Tabla 2**

*Composición de bomba de alta presión de Siemens*

<b>Componentes</b>	
1.- Bomba de transferencia (realimentación)	a) Entrada del carburante (baja presión)
2.- Pistón de alta presión.	b) Salida de alta presión
3.- Regulador de alta presión del carburante	c) Retorno al depósito de carburante
4.- Regulador de caudal de carburante	
5.- Árbol de la bomba con excéntrica	

*Nota.* Se observan los componentes internos de la bomba incluyendo los actuadores electrónicos.

Riel común. - En el sistema CRDI, todos los inyectores están conectados a un riel común que almacena el combustible a alta presión.

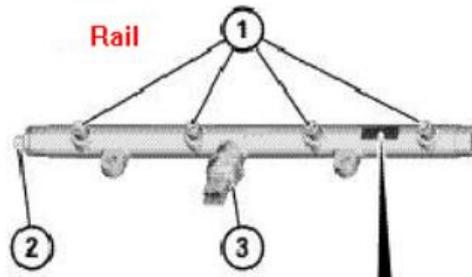
1.- Conexión de los tubos de alta presión para los inyectores.

2.- Conexión de tubo de alta presión que proviene de la bomba de combustible

### 3.- Sensor de alta presión.

**Figura 9**

*Riel de alta presión*



*Nota.* En la imagen se puede mostrar el riel común del sistema de inyección diésel CRDI. Tomado de (FORD, 2005)

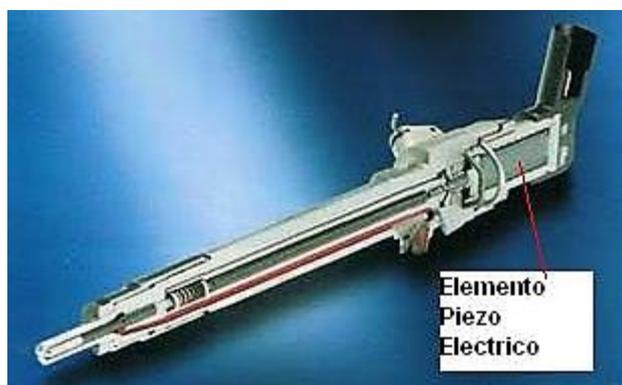
Válvula de control de presión. - La válvula de control de presión se utiliza para regular la presión de combustible. Esta válvula controla el flujo de combustible hacia los electrónico (ECU).

Válvula reguladora de caudal. - Regula la transferencia de combustible de la bomba de transferencia interna, hacia los elementos de la bomba de alta presión. Así, es posible ajustar la cantidad de combustible presurizado según las necesidades del motor.

Inyector piezoeléctrico. - Son los elementos encargados de realizar la descarga de combustible dentro de la cámara de combustión (pp. 32-34).

**Figura 10**

*Vista en corte de un inyector CRDI piezoeléctrico*



*Nota.* En la imagen se puede observar los componentes internos de un inyector piezoeléctrico.

Tomado de (CISE ELECTRÓNICA, 2010)

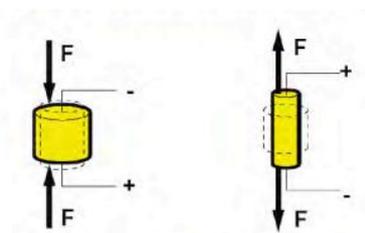
### ***Efecto piezoeléctrico***

Según el catálogo de aprendizaje de (SIEMENS, 2015) en su texto afirma que el principio piezoeléctrico funciona de la siguiente manera:

Si se comprime un cristal de cuarzo, se observa una tensión en sus límites. Si ese mismo material se estira se tendrá una tensión de sentido inverso.

**Figura 11**

*Accionamiento de expansión*

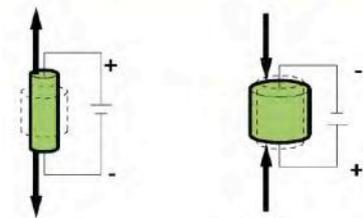


*Nota.* Se observa el cristal expandido

Si se aplica una tensión polarizada al cristal de cuarzo, se produce un estiramiento de este. Si la tensión aplicada sobre el material es de sentido inverso, se produce una compresión del cristal (p. 17).

**Figura 12**

*Accionamiento de compresión*

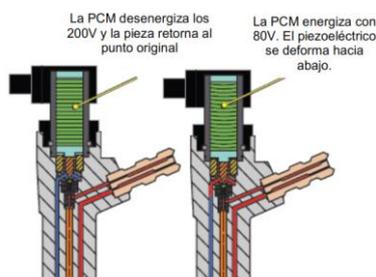


*Nota.* Se observa el cristal comprimido

### ***Inyector piezoeléctrico***

(Bernal, 2008) manifiesta que:

Los inyectores piezoeléctricos difieren de los solenoides en su funcionamiento. Un inyector piezoeléctrico ofrece mayor precisión en términos de sincronización y cantidad de inyección del combustible en el cilindro del motor. El fenómeno piezoeléctrico es de naturaleza eléctrica y se manifiesta cuando los cristales de cuarzo son sometidos a deformación debido a un voltaje aplicado. En respuesta, las placas del elemento piezoeléctrico se cargan con un voltaje más alto. Al desenergizarse, el componente vuelve a su forma original, restaurando la deformación al punto inicial. La estructura del elemento piezoeléctrico comprende placas metálicas que están separadas por cristales de cuarzo, formando una disposición similar a un condensador con placas planas (p. 107).

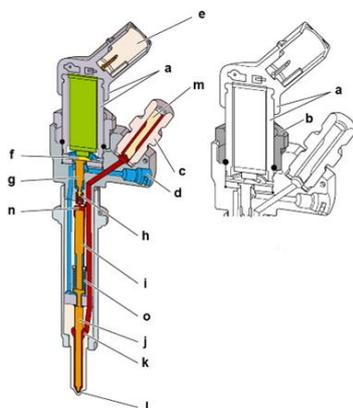
**Figura 13***Accionamiento de un inyector piezoeléctrico*

*Nota.* Se observa la deformación del cristal piezoeléctrico. Tomado de (Bernal, 2008)

*Partes de un inyector piezoeléctrico*

En el manual de aprendizaje de (SIEMENS, 2015) manifiesta que:

Al igual que los inyectores electromagnéticos, los inyectores piezoeléctricos contienen componentes similares para el control presiones, la diferencia radica en que, los inyectores piezoeléctricos poseen un actuador piezoeléctrico que desplaza un vástago debido a la deformación del cristal.

**Figura 14***Constitución de un inyector piezoeléctrico*

*Nota.* En la imagen se puede observar los componentes internos de un inyector piezoeléctrico.

Tomado del manual de aprendizaje de (SIEMENS, 2015)

- a. Actuador piezoeléctrico
- b. Tuerca de Apriete
- c. Racor de alta presión
- d. Retorno de carburante
- e. Conector
- f. Placa amplificadora
- g. Pistón de mando
- h. Tapón “hongo” de cierre
- i. Pistón de mando de la aguja
- j. Aguja de inyector
- k. Cámara de alta presión aguja
- l. Orificio de inyector
- m. Filtro laminar
- n. Volumen de mando
- o. Resorte de recuperación.

### **Funcionamiento**

(SIEMENS, 2015) en su manual de aprendizaje afirma que:

El funcionamiento de los inyectores diésel siguen el principio de pascal, que sigue la siguiente ecuación:

$$F_1 = F_2$$

Donde:

$F_1$  = fuerza de entrada de combustible a alta presión.

$F_2$  = Fuerza del combustible en la aguja.

$F_R$  = Fuerza de la aguja del inyector a través del émbolo.

Dentro del cuerpo del inyector se mantiene una presión constante entre las dos presiones creando un equilibrio de presiones en su estado cerrado, es decir que, para que exista inyección se debe desequilibrar dicho balance.

### Inyector cerrado

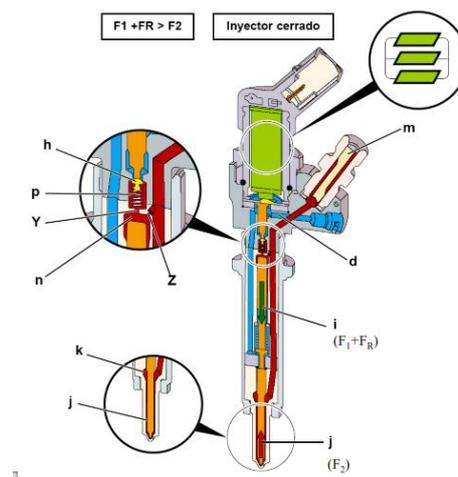
En estado desactivado cumple la siguiente ecuación.

$$F_1 + F_R > F_2$$

Es decir que, mientras el actuador piezoeléctrico no recibe alimentación, el orificio de retorno se encuentra cerrado por el h) tampón hongo. La fuerza del combustible a alta presión en la cámara de control ejercida sobre la aguja del inyector a través del émbolo de control es superior a la fuerza hidráulica presente en la punta del inyector mantiene el inyector cerrado.

### Figura 15

*Estado cerrado del inyector piezoeléctrico.*



*Nota.* En la imagen se puede observar las fuerzas presentes en el inyector con flechas de color verde y rojo. Tomado de (SIEMENS, 2015)

### Inyector abierto

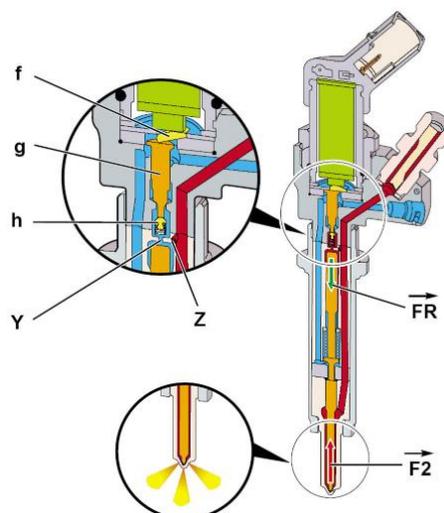
En la activación del inyector ya posee una señal de activación que permite al actuador piezoeléctrico desplazar un vástago que presiona sobre el embolo de la válvula de la cámara de control, la válvula se abre conectando esta con el retorno de combustible creando del desequilibrio de presiones que sigue la siguiente ecuación.

$$F_1 + F_R < F_2$$

Para la activación del inyector se tiene que la fuerza del combustible a alta presión más la fuerza de la aguja del inyector a través del émbolo es menor que la fuerza del combustible en la aguja produce una caída de presión en la cámara de control lo que desplaza hacia arriba la aguja permitiendo que el combustible a alta presión se pulvericé los por orificios.

**Figura 16**

*Estado activado de un inyector piezoeléctrico*



*Nota.* En la imagen se puede observar la pulverización realizada por el desequilibrio de presiones.

Tomado del manual de aprendizaje de (SIEMENS, 2015)

El recorrido máximo del pin del actuador denominada extensión piezoeléctrica es de 0.004mm creando una apertura de la válvula de 0.006 mm de desplazamiento. (pp. 25-29).

### ***Nomenclatura del código inyector piezoeléctrico***

(SIEMENS, 2015) afirma que: Los inyectores Common Rail de Siemens, utilizados en sistemas de inyección diésel de alta presión (CRDI), están dotados de una codificación distintiva que les permite ser identificados de manera única. Esta codificación, que es parte integral de su diseño, permite una fácil identificación y seguimiento de los inyectores en el sistema.

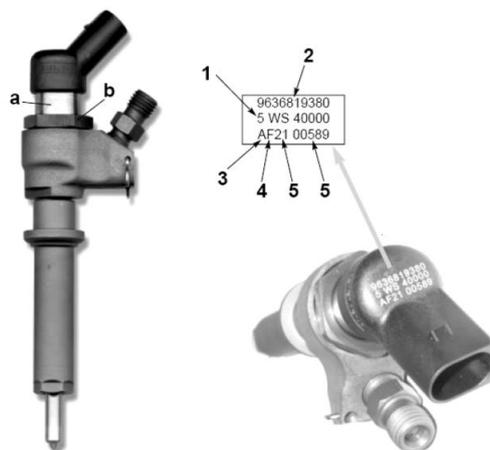
En el caso de los inyectores Siemens, esta codificación se representa de manera específica y estandarizada. La información relativa a la identificación del inyector se encuentra estructurada de manera sistemática, lo que facilita la interpretación de los detalles clave. Esta codificación no solo incluye información sobre el modelo y las especificaciones del inyector, sino que también puede contener datos sobre la fecha de fabricación, el lote de producción y otros detalles relevantes (p.25).

**Tabla 3**

#### *Nomenclatura del código de inyector*

<b>Denominación</b>	<b>Característica</b>
<b>1</b>	N° de fabricante
<b>2</b>	N° de pieza PSA
<b>3</b>	Año de producción: X=2000; A=2001; B=2002; C=2003...
<b>4</b>	Mes: A=Enero; B=Febrero; C=Marzo
<b>5</b>	Días: 1-31
<b>6</b>	N° Pieza: 00001-9999

*Nota:* Se observa que el código es alfanumérico. Tomado de (SIEMENS, 2015).

**Figura 17***Codificación de inyector*

*Nota.* Se observa un inyector codificado en la parte superior. Tomado de (SIEMENS, 2015)

### **Sistema de baja presión de combustible**

El sistema de baja presión de combustible es un conjunto de componentes hidráulicos que son los encargados de conducir el combustible hasta la bomba de alta presión.

(Garibaldi, 2015) describe que:

El sistema Common Rail, posee una bomba de transferencia que trabaja a bajas presiones similar a una bomba de combustible de un motor a gasolina. Los componentes del sistema de baja presión son los siguientes:

**Bomba de transferencia:** Se encarga de conducir el combustible desde el depósito hasta los diferentes elementos de filtrado hasta llegar a la bomba de alta presión.

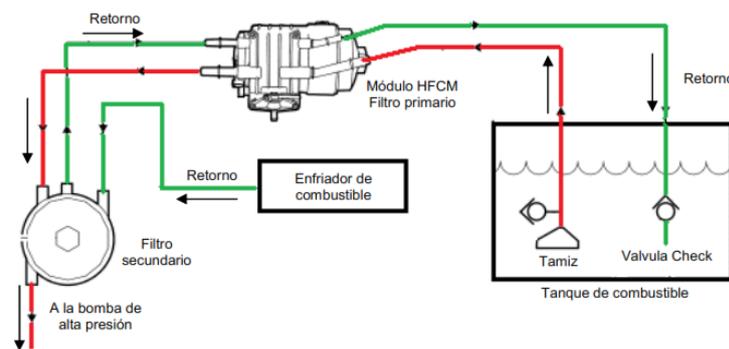
**Cañerías de baja presión:** Son conductor de un material flexible interconectados con los elementos de baja presión.

**Filtro decantador de agua:** Es un componente de tipo cilíndrico cuya función es separar el agua del combustible y a su vez retener impurezas del mismo.

Filtro de combustible: Son elementos capaces de purificar el combustible reteniendo la máxima cantidad de contaminantes existentes en el combustible.

**Figura 18**

*Sistema de baja presión del sistema de inyección diésel Common rail*



*Nota.* Se observa el sistema de baja presión en líneas de color verde. Tomado de (Bernal, 2008)

### **Sistema de alta presión de combustible**

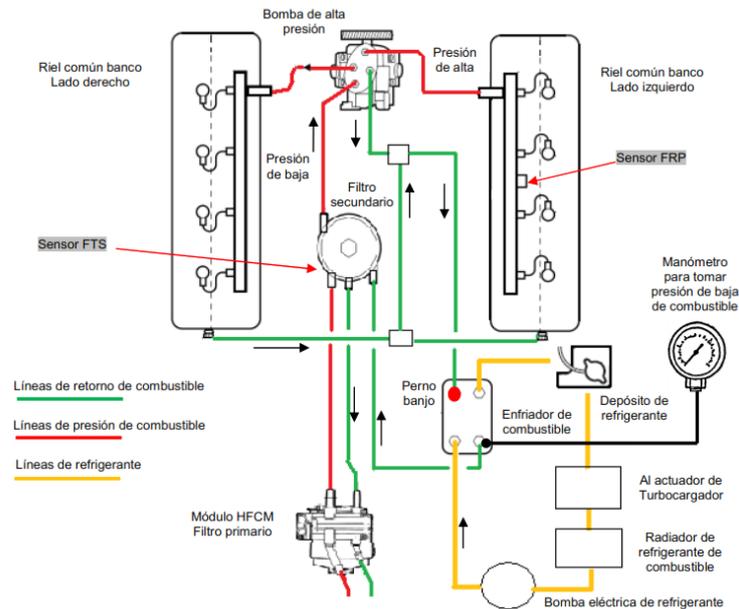
La inyección de combustible en los motores diésel necesariamente posee un sistema de alta presión debido a que el combustible debe ser atomizado, este proceso únicamente se logra generando una alta presión e inyectando por orificios muy pequeños.

El sistema de alta presión posee una bomba de alta presión que eleva dicha presión y la conduce hasta el riel común donde se distribuye a cada uno de los inyectores. (Garibaldi, 2015) menciona que:

La bomba de alta presión eleva la presión de 1500 a 2500 bar, y la presión se mantiene constante en el riel gracias a un regulador de presión que es controlado electrónicamente, de la misma forma los inyectores son capaces de dar múltiples inyecciones por ciclo.

Figura 19

*Sistema de alta presión del sistema Common rail*



*Nota.* Se observa el sistema de alta y baja presión con líneas de color rojo y verde respectivamente. Tomado de (Bernal, 2008).

### Geometría de los ángulos de operación

La geometría de los ángulos de operación de los inyectores CRDI se refiere a la posición y orientación de los orificios de inyección en relación con la cámara de combustión del motor.

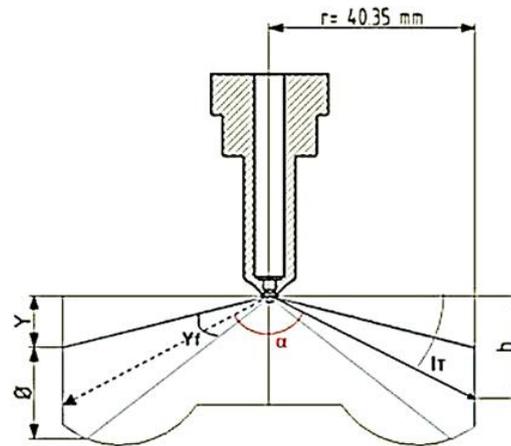
**Patrón de pulverización:** Es la distribución del combustible pulverizado por el inyector dentro de la cámara de combustión. Este se encuentra influenciado por la geometría del orificio de salida del combustible cuya función es lograr una pulverización fina y uniforme.

**Ángulo de cono:** Se caracteriza por describir la forma del patrón de pulverización, es el ángulo de dispersión de los múltiples chorros de combustible. La amplitud del ángulo de cono se refleja en la mayor dispersión de combustible con respecto al área.

Los ángulos de operación se analizan con respecto a un análisis de la estructura geométrica del inyector. Simbaña & Bustillos (2019) denotan la siguiente gráfica con su respectivo análisis matemático donde:

**Figura 20**

*Geometría de los ángulos de operación en los inyectores*



*Nota.* En la imagen se puede observar los ángulos de operación de un inyector. Tomado de (Simbaña & Bustillos, 2018)

***Nomenclatura de la geometría de pulverización.***

$r =$  radio del cilindro

$h =$  altura

$\emptyset =$  diámetro

$l_T =$  ángulo de disparo

$Y =$  diferencias de alturas

$Y_T =$  ángulo de dispersión

$\alpha =$  ángulo de cono

**Ecuación del ángulo de dispersión:**

$$Y_T = \tan^{-1} \left( \frac{\phi_{chorro} + Y}{r} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{Y}{r} \right)$$

**Ecuación del ángulo de disparo:**

$$l_T = \tan^{-1} \left( \frac{h}{r} \right)$$

**Ecuación del ángulo de cono:**

$$\alpha = 2 \tan^{-1} \left( \frac{r}{h} \right)$$

**Ecuación del ángulo de distribución:**

$$A_d = \tan^{-1} \left( \frac{360^\circ}{\#orificios} \right)$$

### **Ventajas del uso del sistema CRDI SIEMENS**

Los inyectores CRDI de siemens se catalogan como componentes de alta precisión

(Garibaldi, 2015) afirma que:

Todos los inyectores de esta marca funcionan mediante un actuador piezoeléctrico". Este sistema permite transformar la energía eléctrica en movimiento mecánico. La ventaja más destacable de este tipo de inyectores es que son capaces de generar mayor número de inyecciones por ciclo mejorando la calidad de inyección y del mismo modo permite un control más preciso y eficiente de la gestión de motor.

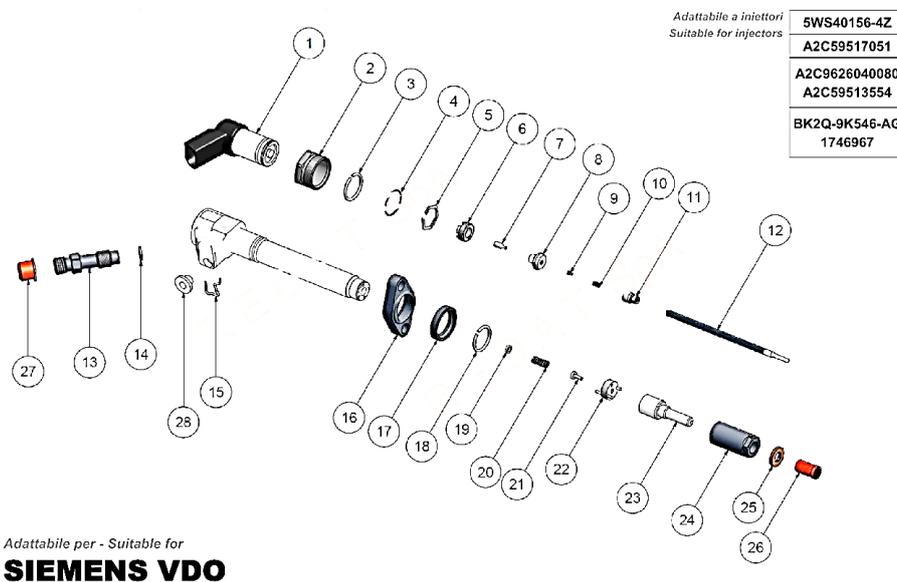
Los inyectores piezoeléctricos de siemens permiten tiempos de conmutación muy pequeños y gran exactitud de dosificaciones. Estos factores permiten una mejor atomización de combustible, lo que resulta en una combustión más completa.

## Inyectores con tecnología SIEMENS

Según (CONTINENTAL, 2021) la tecnología de inyectores utilizada por siemens en sus sistemas CRDI (Common Rail Direct Injection) es conocida como sistema de inyección piezoeléctrico reemplazando los tradicionales inyectores controlados por solenoides. Este sistema se caracteriza por poseer mayor velocidad de respuesta en diferentes condiciones de funcionamiento del motor.

**Figura 21**

*Despiece de inyector Siemens*



*Nota.* Se observa el despiece completo de un inyector Siemens VDO de fábrica. Tomado de (REDAT, 2023)

## Características de los inyectores SIEMENS

Los inyectores Siemens son elementos de inyección de combustible que se encargan de introducir una determinada cantidad de combustible en la cámara de combustión en forma pulverizada, esto se hace posible gracias a que tiene aire dentro de dicha cámara, están compuestos de dos partes que son esenciales y es considerado de alta precisión: cuerpo y aguja, los cuales poseen rebajes que permiten una mayor transferencia de calor con el combustible, en

cuanto a los inyectores Siemens, estos son un tipo de inyectores de alta calidad, su característica principal es su precisión y su durabilidad.

(Ullauri, 2012) Menciona lo siguiente:

Un inyector en general es utilizado en los sistemas Common Rail se activa de forma eléctrica a diferencia de los demás sistemas que utilizan los sistemas de inyección antiguos, es decir los que utilizaban bombas rotativas y lineales. Tiene una mayor precisión al momento de inyectar el combustible.

- Permiten inyecciones múltiples.
- Permiten inyectar cantidades de combustible más dosificadas.
- Inyectan presiones altas.
- Distribuyen de una mejor manera la cantidad de combustible Inyectado.

Para conseguir una combustión lo más eficaz posible se ha dividido la inyección en un ciclo de preinyección y un ciclo de inyección principal. (p.21)

En el manual de (Ford, 2017) manifiesta que:

El control de los inyectores para la dosificación de combustible (comienzo de la inyección y cantidad inyectada) es realizado directamente por el PCM, aunque la presión nominal en la rampa debe ser de 150 bar por lo menos durante el arranque. Para abrir y cerrar los inyectores, es necesario cada vez un impulso de tensión.

Los inyectores deben cumplir ciertos parámetros de funcionamiento:

***Precisión y atomización***

Los inyectores Siemens están diseñados para proporcionar una atomización fina y precisa del combustible. Esto significa que pueden pulverizar el combustible en partículas muy pequeñas, lo que ayuda a una mejor combustión y un rendimiento óptimo del motor.

***Flujo y caudal controlado***

Están diseñados para proporcionar un flujo de combustible controlado y constante. Esto es esencial para garantizar una mezcla adecuada de aire y combustible en el motor y un funcionamiento suave del mismo.

***Resistencia y durabilidad***

Están contruidos con materiales de alta calidad que les confieren resistencia y durabilidad. Están diseñados para soportar las condiciones exigentes del motor, como la presión y la temperatura, y tienen una larga vida útil.

Están diseñados para ser compatibles con varios tipos de motores y sistemas de inyección de combustible. Además, su diseño permite un ajuste adecuado y una fácil instalación en el vehículo.

(Augeri, 2011) en su texto menciona que:

Este tipo de inyectores fue que un solenoide es reemplazado por un elemento piezoeléctrico, con el cual el PCM dispone de un mecanismo al interior del inyector que realiza las diferencias de presiones y que permite el desplazamiento del vástago y la salida de combustible al cilindro para este fin el PCM dispone sobre el piezoeléctrico una tensión inicial de unos 70 Voltios por un tiempo de 0.2 ms a la salida del interior sobre los cristales que logran elevar este voltaje a unos 140 Voltios y esto toma otros 0.2 ms, la cual esto se llama un proceso de tensión de carga y de corriente de carga.

## Parámetros de inyección

(Simbaña B. F., 2023) mencionan los siguiente:

Para llevar a cabo la inyección la pulverización de combustible dentro del cilindro se necesitan ciertos parámetros de funcionamiento. En base al tiempo de inyección, la ECU es la encargada de proporcionar el pulso de activación en el actuador (piezoeléctrico o electromagnético). Tomando en cuenta el principio de funcionamiento de lo inyectores, estos elementos requieren de una presión de pulverización de (200 a 2500) bar constantes por lo que también requiere un regulador de presión en el riel (válvula IPR).

## Inicio de la inyección

(CISE ELECTRÓNICA, 2010) Menciona que:

La principal consideración al iniciar la inyección en este caso de los inyectores piezoeléctricos es cuando el sistema de gestión del motor envía una señal eléctrica a los cristales que tienen este tipo de inyectores, y así se genera una señal eléctrica que deforma el cristal, lo que a su vez mueve la aguja del inyector, la velocidad y la cantidad de combustible de deformación son controladas con precisión para determinar el momento exacto en que se debe iniciar la inyección del combustible.

(Castillejo, 2014) menciona lo siguiente:

El inicio de la inyección depende de la carga del motor, la velocidad y la temperatura, un valor óptimo se determina para cada motor son los parámetros fundamentales que debe tener cada motor, teniendo en cuenta el consumo de combustible, las emisiones contaminantes y el impacto acústico. Estos valores se almacenan en el mapa de inicio de inyección. Este mapa también se utiliza para controlar la variación del inicio de la inyección en función de la carga. En comparación con los sistemas de control de leva, los rieles comunes ofrecen más

libertad para elegir la cantidad de inyección, la sincronización y la presión. La presión del combustible es generada por una bomba de alta presión separada y la inyección es controlada por imanes o actuadores piezoeléctricos, lo que permite que el control del motor optimice la inyección para cada punto de operación. Un buen punto de partida para los motores diésel es entre 0 y 8 grados del punto muerto superior (PMS) antes del cigüeñal. Estos puntos óptimos de inicio de la combustión se determinan para reducir el consumo de combustible. Además, el punto de inicio de la inyección está en un rango considerando los valores límite legales para las emisiones de gases de escape. (p. 13)

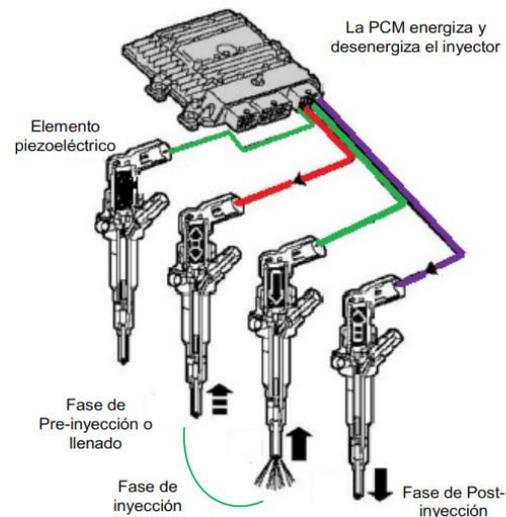
Los motores del automóvil de inyección directa varían según en los parámetros que se va a detallar a continuación:

- El motor está en vacío y en valores de  $-2$  a  $4$  grados.
- El motor se encuentra en funcionamiento a una carga parcial los valores varían entre  $-6$  y  $4$  grados.
- El motor se encuentra en funcionamiento a plena carga los valores varían entre  $-15$  y  $-6$  grados.
- El punto de inicio de la inyección en motores de vehículos comerciales sin recirculación de gases de escape (EGR) varía según la carga del motor.
- En condiciones de vacío, el punto de inicio se encuentra entre  $-12$  y  $-4$  grados antes del punto muerto superior (PMS), mientras que a plena carga se sitúa entre  $-6$  y  $2$  grados antes del PMS.
- Cuando el motor está frío, tanto en motores de automóviles como en vehículos comerciales, el inicio de la inyección se adelanta entre  $3$  y  $10$  grados.

- El tiempo de combustión a plena carga corresponde a un ángulo de giro del cigüeñal de entre 40 y 60 grados. (p. 14)

## Figura 22

### Fases de la inyección



*Nota.* Se observa que existe una preinyección, inyección principal y post inyección. Tomado de (Bernal, 2008)

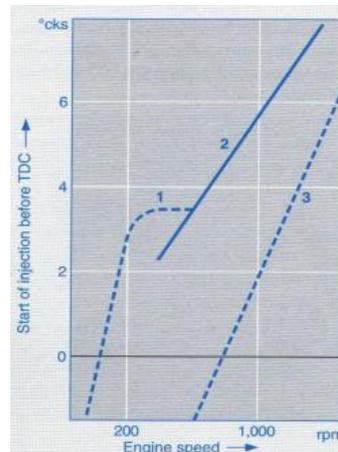
### Inicio de la inyección avanzada

(Castillejo, 2014) afirma que:

Durante la compresión del motor, la temperatura máxima alcanza antes del punto muerto (PMS) del pistón. Cuando la combustión comienza mucho antes del PMS, la presión aumenta rápidamente y actúa como una fuerza contra el movimiento ascendente del pistón. Esto conduce a la pérdida de calor en el sistema, lo que reduce el rendimiento del motor y aumenta el consumo de combustible. Además, un gran aumento en la presión hará que el calentador haga ruido. (p. 14).

**Figura 23**

*Inicio de la inyección en función del tipo de motor*



*Nota.* Se observa la curva de inicio de la inyección con relación a la velocidad. Tomado de (BOSCH, 2005)

(Bustillos, 2018) en su texto manifiesta que:

En la inyección de combustible avanzada para motores diésel es la integración de sistemas de inyección de combustible Common rail. Estos sistemas usan las bombas de alta presión para poder almacenar en un riel común para todos los cilindros del motor, el combustible es inyectado en cada cilindro, esto se realiza a través de las válvulas electrónicas que son controladas por el ECU (Unidad de control del motor), la cual permite una inyección de combustible más precisa con múltiples inyecciones por ciclo, dando un ajuste en la sincronización y la presión de inyección en los parámetros de funcionamiento del motor.

Un incremento de la temperatura del motor trae muchas consecuencias al momento que se aplica la inyección avanzada se incrementa los niveles de dióxido de carbono en los gases del escape del motor, pero también hay una reducción de los hidrocarburos. (p. 28)

### **Inicio de la inyección retardada**

(Simbaña & Bustillos, 2018) también afirman que:

Cuando el motor se encuentra sometido a cargas livianas, el inicio de una inyección retardada puede ser incompleta en el ciclo de trabajo, lo que lleva a aumentar las emisiones de los hidrocarburos que no están bien quemados, y el monóxido de carbono aumenta porque la temperatura de la cámara de combustión desciende notoriamente.

En el consumo de combustible, las emisiones de los hidrocarburos y los demás gases que salen por la salida del escape deben compensarse, ya que las tolerancias son mínimas y se modifica al iniciar la inyección se ajustan a un determinado motor.

En el retraso de la inyección puede resultar el tiempo en que se demora la onda de presión en recorrer el trayecto que está ubicado en la bomba de alta presión y la tobera del inyector, esto depende de la longitud del riel de inyección, en las diferentes velocidades que realiza el motor (p. 29).

### **Curva de la inyección**

(Castillejo, 2014) Menciona que:

La curva de inyección representa gráficamente el flujo masico del combustible frente a tiempo en el que es inyectado en la cámara de combustión, se representa gráficamente una relación entre el tiempo y la cantidad de combustible que inyecta en el motor, describe la cantidad de combustible inyectado a medida que avanza en el tiempo de ciclo de inyección. (p. 20)

(Simbaña & Bustillos, 2018) Mencionan lo siguiente:

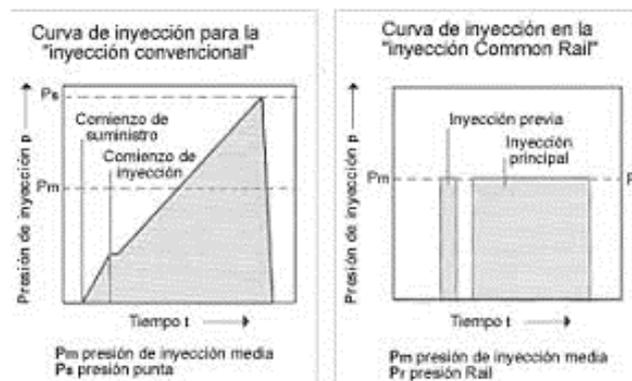
En un sistema con una determinada presión, la cantidad de combustible inyectado es proporcional al tiempo que el inyector permanece abierto, y esto es independiente de la

velocidad del motor o de la bomba. Esto tiene como resultado una curva de inyección casi cuadrada con inyecciones de corta duración y casi constantes, con altas velocidades de pulverización a plena carga que permiten incrementar la potencia específica del motor.

(p. 29)

## Figura 24

*Curva de inyección con la carga y velocidad*



*Nota.* La inyección se controla la cantidad y momento de la inyección del combustible.

## Patrones de inyección

(Castillejo, 2014) Menciona que:

Esto varía según el diseño y la aplicación del motor, así como las características del inyector diésel que se utiliza en cada sistema, Esto se aplica dependiendo la aplicación para la que este destinado el motor, la cual se requiere de ciertas funciones que debe cumplir la curva de inyección consta de varias fases en las que se va a detallar a continuación:

Fase de pre-inyección: se refiere a una pequeña cantidad de combustible con lo cual ayuda a preparar la combustión y reduce el ruido del motor.

Fase de inyección principal: Es la fase principal de inyección de combustible, donde se suministra la mayor parte del combustible necesario para la

combustión. La cantidad de combustible inyectado aumenta rápidamente y alcanza su punto máximo durante esta fase.

Fase de post-inyección: Después de la fase principal, algunos inyectores diésel pueden tener una fase de post-inyección. En esta etapa, se inyecta una pequeña cantidad de combustible después del evento principal de inyección para mejorar la limpieza de los gases de escape y reducir las emisiones.

Gradiente positivo de inyección durante la inyección principal (3): reduce emisiones de NOx en motores sin válvula EGR.

Gradiente de presión en dos etapas (4): durante la inyección principal reduce las emisiones de NOx y partículas en motores sin EGR.

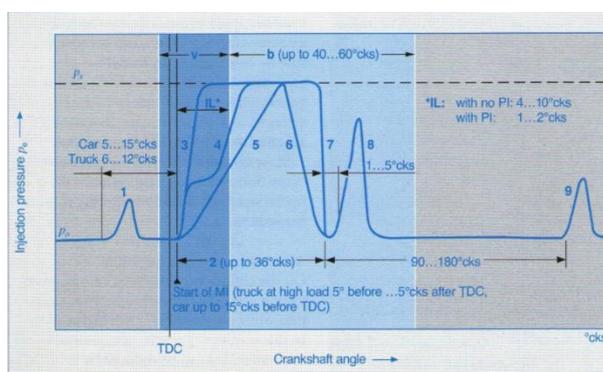
Alta presión constante durante la inyección principal (3,7): reduce las emisiones de partículas durante la operación en motores con EGR.

Inyección secundaria avanzada (8): reduce las emisiones de partículas.

Inyección secundaria avanzada (9). (p. 32)

**Figura 25**

*Patrón de inyección del sistema Common Rail*



*Nota.* En la figura se observa las curvas de patrón de inyección de un sistema Common rail.

Tomado de (BOSCH, 2005)

## Especificaciones y hojas características

Generalmente los inyectores piezoeléctricos de Siemens cumplen las siguientes

especificaciones:

**Tabla 4**

*Especificaciones*

<b>Tipo</b>	<b>Inyector Common Rail</b>
<b>Fabricante</b>	Siemens VDO Continental
<b>Producto</b>	Inyector Diesel
<b>N° De Parte VDO</b>	A2C59517051
<b>N° OEM</b>	BK2Q-9K546-AG (BK2Q9K546AG)
<b>Aplicación</b>	Ford Transit 2.2 2011
<b>Voltaje de activación</b>	70 a 140 VAC
<b>Presión de trabajo</b>	250-2500 Bar

*Nota.* Se observa las características de un inyector Siemens. Tomado de (CONTINENTAL, 2021)

**Tabla 5**

*Hojas características*

<b>Parámetros</b>	<b>Presión</b>	<b>RPM</b>	<b>Pulsos</b>	<b>Condición Normal</b>	<b>Tolerancia</b>
	<b>(bar)</b>		<b>(<math>\mu</math>s)</b>	<b><math>mm^2/H</math></b>	<b><math>mm^2/H</math></b>
<b>Estanqueidad</b>	1600	1500	0	0	0
<b>Plena Carga</b>	1500	1000	750	49.8	5
<b>Emisiones</b>	1000	1250	650	38	4
<b>Ralentí</b>	250	1300	470	5.6	2
<b>Preinyección</b>	700	1600	150	2.8	1

Parámetros	Presión (bar)	RPM	Pulsos ( $\mu$ s)	Condición Normal $mm^2/H$	Tolerancia $mm^2/H$
Emisiones	900	1250	500	28.4	3

*Nota.* Se identifica los parámetros de funcionamiento en buen estado.

### Verificación y control de inyectores.

(Ordoñez & Quichimbo, 2022) manifiestan que:

El proceso de verificación de un inyector diésel CRDI permite evaluar si un inyector se encuentra en perfecto estado o defectuoso. Inicialmente se realiza una inspección visual que permitirá conocer el estado físico de inyector. Se puede realizar una prueba de accionamiento para verificar si el actuador piezoeléctrico o electromagnético se encuentra funcional. Los inyectores CRDI están propensos a des calibraciones, obstrucciones, desgaste, fugas internas, cortocircuitos, recalentamientos, vibraciones y golpes que podrían afectar directamente al funcionamiento.

### Figura 26

*Inspección visual CRDI Siemens desmontado del motor*



*Nota.* En la imagen se observar un inyector Siemens sucio.

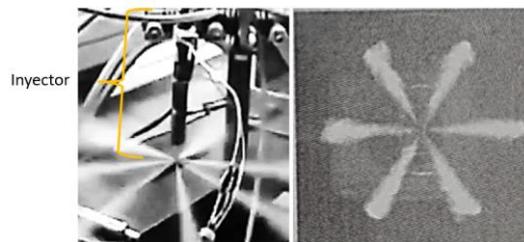
### Verificación de la pulverización y dirección del chorro

(Bombón & Chalco, 2017)afirman que:

En la verificación de pulverización se debe observar que el inyector no se encuentre obstruido y este sea capaz de crear una pulverización uniforme en todas sus direcciones dependiendo de la cantidad de orificios que este disponga. Particularmente los inyectores obstruidos cambian la dirección de pulverización debido a un aumento de la presión.

### Figura 27

#### *Pulverización de un inyector*



*Nota.* Se puede observar en la imagen la dirección de pulverización.

### Verificación de la estanqueidad

(Bombón & Chalco, 2017) menciona que:

Este proceso se realiza para verificar que el inyector no tenga fugas por la tobera, en caso de tener fugas estas se debe evaluar en base al goteo que presenta, es decir que, a una determinada presión con ausencia de pulsos de activación el inyector envía combustible por tobera creando una fuga. Generalmente este fallo se debe a falta de ajuste, desgaste en las superficies de contacto de alta presión y microfracturas en tobera.

**Figura 27**

*Superficie en contacto con conductos de alta presión*



*Nota.* En la figura se puede observar la superficie de contacto del cuerpo.

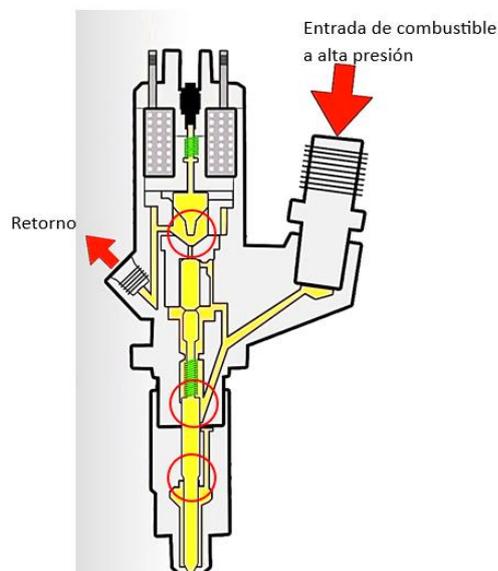
**Verificación de fuga de retorno**

(Ordoñez & Quichimbo, 2022) mencionan que:

Debido a la diferencia de presiones con la que trabaja un inyector, la fuga de retorno se refiere a la cantidad de combustible que no entra al cilindro direccionándose al conducto de retorno creando una disminución en la presión de inyección. Generalmente una fuga de retorno se produce por el desgaste en los componentes móviles internos, acumulación de impurezas en la cámara de control impidiendo que la válvula abra o cierre el flujo y falencias en la operación del actuador.

**Figura 28**

*Inyector diésel en fase de descarga*



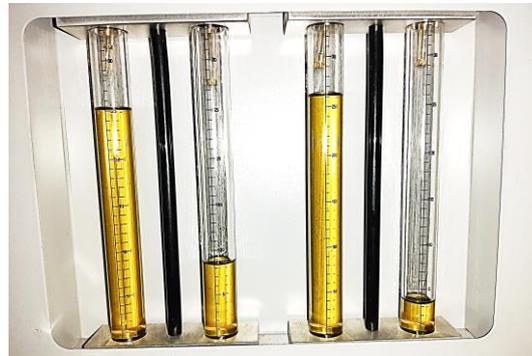
*Nota.* En la imagen se puede notar los puntos propensos a fugas de retorno.

### **Verificación de entrega de combustible**

La verificación de la entrega de combustible se basa en el volumen de combustible inyectado en un determinado tiempo y cantidad de pulsos. Esta verificación depende de la calibración del actuador regulando el recorrido de la válvula. Del recorrido de la válvula dependerá el caudal entregado desde el conducto de alta presión hasta la tobera. Los inyectores mal calibrados o con fugas de retorno entregan excesivas o insuficientes cantidades de combustible al motor.

**Figura 29**

*Volumen de inyección y retorno inyectado*



*Nota.* En la imagen se puede observar la relación entre combustible inyectado y combustible de retorno.

### **Recomendaciones de manipulación de los inyectores piezoeléctricos**

La recomendación más importante antes de la manipulación de un inyector es basarse en manuales del fabricante he indicaciones proporcionadas por el mismo. Los inyectores piezoeléctricos manejan tolerancias muy pequeñas, por lo que una variación geométrica en su estructura cambiará el funcionamiento del inyector.

Para el desarmado de un inyector piezoeléctrico se recomienda el uso de herramientas especiales que garanticen la máxima eficiencia en el cuidado del inyector. Para el desmontaje de los elementos internos del inyector, se debe llevar una limpieza adecuada libre de todo tipo de impurezas que puedan incorporarse a los elementos móviles del inyector. Del mismo modo, se debe evitar a toda costa los golpes por cualquier motivo, al ser elementos sensibles y frágiles podrían cambiar su geometría, especialmente en la tobera.

(Perez C. , 2021) en su webinar de sistema de inyección electrónica diésel Common Rail manifiesta que:

El desmontaje inadecuado de un inyector piezoeléctrico afecta el funcionamiento de mismo debido a que el actuador piezoeléctrico podría quedarse abierto, es decir, al momento de desconectar un inyector piezoeléctrico con el motor encendido, el actuador piezoeléctrico no se contrae quedando en fase abierta lo que podría generar un problema de estanqueidad.

### **Control de voltaje, Corriente y Figura de Lissajous**

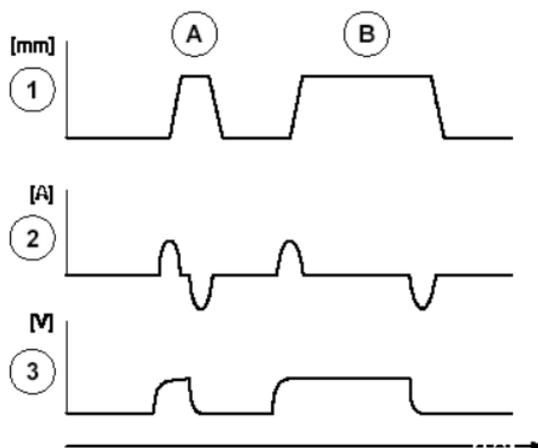
Debido a que los inyectores CRDI son electrónicamente controlados por la ECU (Unidad de control electrónico), se establece que necesitan un voltaje y corriente de activación.

(CISE ELECTRÓNICA, 2010) dice que:

Para iniciar el proceso de activación, la ECU envía sobre el piezoeléctrico una tensión inicial de 70V por un tiempo de 0.2 ms. Interiormente los cristales logran elevar este voltaje a 140 V aproximadamente y le toma otros 0.2 ms, esto se logra con una corriente de 7 A aproximadamente. Para que el inyector piezoeléctrico pueda terminar el proceso, es necesario enviar otro impulso de tensión denominado tiempo de descarga, tardándose alrededor de otros 0.2ms.

**Figura 30**

*Relación de corriente, voltaje y desplazamiento de la aguja del inyector*



*Nota.* A cantidad de preinyección, B cantidad de inyección principal, 1 carrera de la aguja del inyector (mm), 2 corriente de activación (amperios), 3 tensión (voltios), 4 ángulo de cigüeñal (grados del cigüeñal) Tomado de (CISE ELECTRÓNICA, 2010)

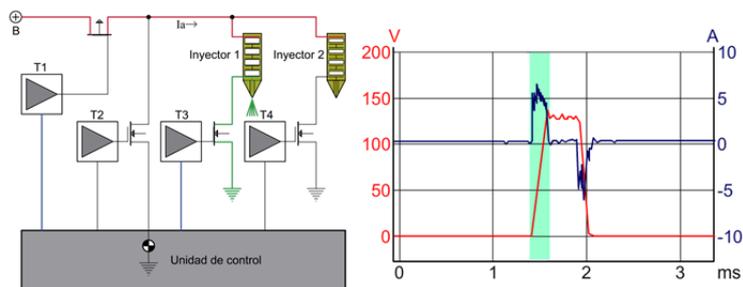
### ***Inyector cerrado-Inicio de inyección***

(Archilla, 2015)menciona que:

Estos inyectores funcionan con un voltaje de doscientos voltios, cabe recalcar que, al no recibir excitación, el actuador piezoeléctrico se encuentra en estado de reposo y el inyector se mantiene cerrado. El accionamiento del inyector comienza con un impulso de cien voltios y al accionamiento de una palanca amplifica su movimiento.

**Figura 31**

*Curvas de voltaje y corriente de un inyector cuando inicia la inyección*



*Nota.* En la figura se observa las curvas corrientes de voltaje de un inyector piezoeléctrico.

Tomado de (Archilla, 2015)

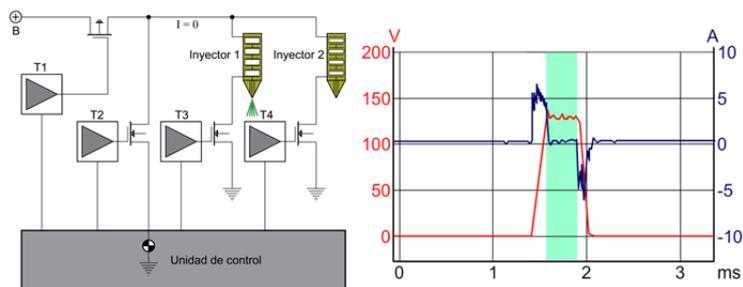
### ***Inyector abierto-inyección***

(Simbaña & Bustillos, 2018) Menciona lo siguiente: “Una vez abierto, deja de ser excitado. El actuador funciona como un condensador, reteniendo la carga eléctrica, permaneciendo dilatado y el inyector abierto”. (p. 30)

Hay que tomar en cuenta que no se debe desconectar el conector del inyector cuando el motor este prendido, si esto ocurre inmediatamente el inyector se bloquea todo el motor hidráulicamente con el diésel.

**Figura 32**

*Curvas de voltaje y corriente de un inyector está abierto, tiempo de inyección*



*Nota.* En la figura se observa las curvas corrientes de voltaje de un inyector piezoeléctrico al momento cuando está abierto justo en tiempo de inyección. Tomado de (Archilla, 2015)

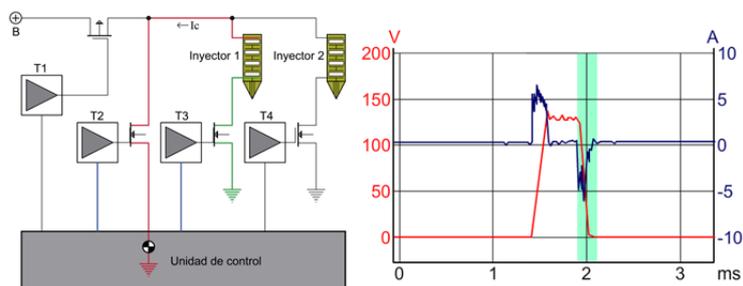
### ***Inyector cerrado-final de la inyección***

(Archilla, 2015) afirma que:

Una vez realizado la inyección, la unidad de control se encarga de cerrar al inyector y actúa como un consumidor descargando toda la tensión que se ha acumulado en el actuador.

**Figura 33**

*Curvas de voltaje y corriente de un inyector cuando finaliza la inyección*



*Nota.* En la figura se observa las curvas corrientes de voltaje de un inyector piezoeléctrico al momento cuando finaliza el tiempo de inyección. Tomado de (Archilla, 2015)

Es posible tener un control de una forma muy precisa ya que este tipo de inyectores se adaptan al desarrollo del ciclo de inyección a las exigencias que poseen cada motor.

### **Figuras de Lissajous**

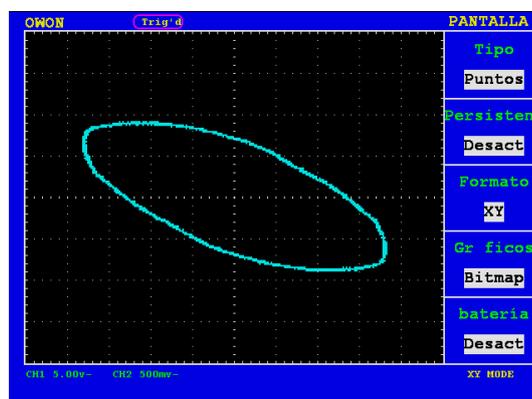
(Erazo et al, 2016) denotan que:

Las figuras de Lissajous son patrones gráficos que se forman cuando 2 osciladores armónicos están sincronizados en frecuencia y se mueven de dos dimensiones X e Y difiriendo de amplitudes y fases iniciales. En el campo Automotriz estas formas características son procesadas a través de un trazador de bajo voltaje que, en conjunto con un osciloscopio, permite el diagnóstico por imágenes de sensores y actuadores sin la necesidad de alimentación.

Las firmas o figuras mostradas a la salida son respuestas en base a un circuito equivalente formados en base a al voltaje y corriente de accionamiento el mismo que dependerá del tipo de elementos electrónicos constituidos por cada sensor o actuador.

### **Figura 34**

*Gráfica característica de una bobina*



*Nota.* En la gráfica se observa la curva característica de una bobina. Tomado de (Erazo et al, 2016)

### Capítulo III

#### Protocolo de verificación, mantenimiento, pruebas y puesta a punto de inyectores Siemens

##### Levantamiento de requerimientos

A continuación, se detallan los equipos, máquinas y herramientas que se usaron para el diagnóstico electrónico, mecánico y la puesta a punto de los inyectores piezoeléctricos.

**Tabla 4**

*Equipos y herramientas usadas para el desarrollo de la investigación*

<b>Equipo/Herramienta</b>	<b>Descripción</b>
<b>Osciloscopio Hantek 1008C</b>	Equipo de diagnóstico electrónico.
<b>Multímetro automotriz TRISCO DA-830</b>	Multímetro que se utiliza para vehículos de inyección electrónica
<b>Compresor de aire de 4HP</b>	Equipo de suministro de aire a presión.
<b>Banco de pruebas VNP 3500</b>	Equipo de verificación de caudales.
<b>Herramientas de desmontaje</b>	Kit de herramientas para desarmar inyectores
<b>Cables de conexión</b>	Sockets de conexión para banco.
<b>KOMTES CRI 2400</b>	Banco de pruebas para inyectores CRDI
<b>Reloj palpador</b>	Equipo de verificación de recorrido
<b>Viscor</b>	Fluido que se utiliza en el banco de pruebas para la comprobación de caudales de retorno e inyección.
<b>Pinza amperimétrica</b>	Equipo con capacidad d de amperaje de 0 a 60 con una pantalla digital. 3820-13 OTC
<b>Trazador FADOS9F1</b>	Equipo de diagnóstico por imagen

Equipo/Herramienta	Descripción
<b>Dimedpiezotool</b>	Visualización de valores de los componentes
	Equipo de calibración de inyectores piezoeléctricos.

*Nota.* Listado de equipos y herramientas utilizados para realizar el diagnóstico mecánico, electrónico y mantenimiento para la puesta a punto de inyectores diésel CRDI Siemens.

Los equipos que se detalló en la tabla corresponden al listado para realizar las pruebas en el inyector, desde el diagnóstico mecánico, electrónico y mantenimiento para la puesta a punto de los inyectores CRDI Siemens.

#### **Detalles de equipos y herramientas de medición**

##### ***Banco de Pruebas KOMTEST CRI-2400***

Según (SDIESEL INJECTION SERVICES, 2022) establece:

Es un banco de pruebas de origen turco está diseñado para un inyector diésel de nueva generación con la capacidad de probar 4 inyectores al mismo tiempo, sus características principales es que muestra una interfaz totalmente intuitiva cuyo plan de prueba está disponible para diferentes marcas y tipos de inyectores CRDI tales como ( Bosch, Delphi, Denso, Siemens), este banco está equipado con una bomba de alta presión de la marca siemens que compromete una facilidad de generar hasta 2500 bar sin problema.

El banco de pruebas KOMTES CRI 2400 garantiza una medición precisa puesto a que usa caudalímetros de medición sensible con informe gráfico, además tiene la capacidad de pruebas entre los 200- 2000 bar con un tiempo de respuesta del inyector en el instante de la prueba y contiene accesorios para todas las marcas.

Figura 35

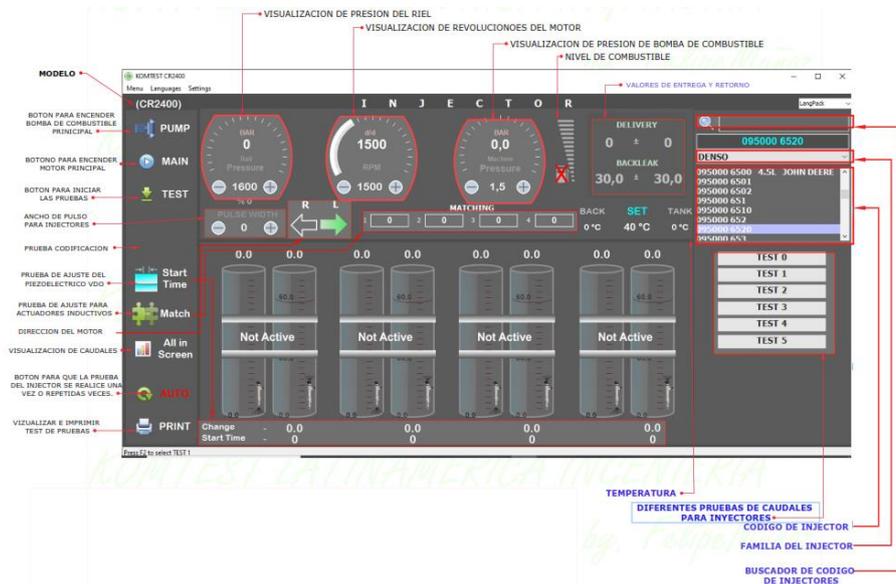
Banco de pruebas KOMTEST CRI 2400



Nota. En el gráfico se muestra el banco de pruebas usado.

Figura 36

Interfaz de medición del banco de pruebas KOMTEST CRI 2400



Nota. En la imagen se muestra la pantalla de control y respuesta de la máquina.

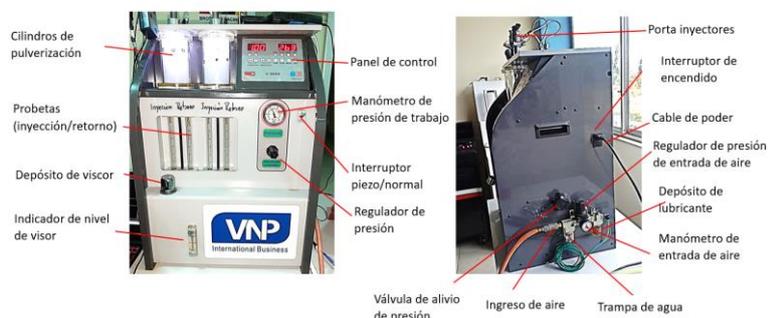
### **Banco de pruebas tester CRDI V 3500 VPN**

El banco de pruebas tester CRDI V 3500 VPN se considera un equipo de comprobación de inyectores CRDI multimarca que realizar pruebas a diferentes parámetros de funcionamiento. Estos parámetros están en función de la presión, numero de inyecciones y el tiempo que los inyectores se encuentran activados (ms), todos estos parámetros son completamente modificables, creando así una característica similar al funcionamiento de un sistema de inyección Common rail dentro del automotor.

El banco carece de 4 cilindros de pulverización por lo que solo se puede simular 2 inyectores a la vez, considerando el tipo de funcionamiento de cada inyector. En la parte inferior posee probetas que recolectan el combustible inyectado y el de retorno.

### **Figura 37**

*Partes del banco de pruebas tester CRDI V 3500 VPN*



*Nota.* La máquina presente se usó para realizar pruebas en base al volumen de inyección y retorno.

### **Tabla 5**

*Especificaciones técnicas del tester VNP V3500*

Ítem	Descripción
Tipo de accionamiento	Neumático
Lubricante	Viscor

Ítem	Descripción
Alimentación	110 v
Presión de entrada	4 bar
Presión máxima de trabajo	800 bar
Tipo de inyectores	2
Numero de probetas	4
SRTK	0 a 990
Tiempo de inyección	0.25 a 2(ms)
Peso	65 kg
Diámetro interno del cilindro de pulverización	80 – 70 mm

*Nota.* La tabla muestra los datos técnicos del banco de pruebas.

### ***Banco calibrador de actuadores piezoeléctricos***

Debido a la forma peculiar de funcionamiento de los inyectores piezoeléctricos de Siemens, este banco tiene la capacidad de comprobar el desplazamiento del vástago descartando o aprobando un actuador funcional. Esta máquina posee una interfaz donde se visualizan los parámetros de ajuste y calibración a distintos voltajes de activación.

### **Figura 38**

*Equipo Dimedpiezotool*

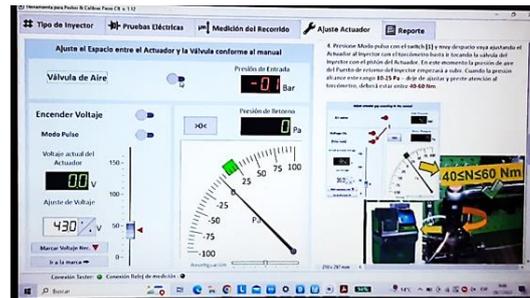


*Nota.* En la imagen se puede observar el equipo calibrador de actuadores piezoeléctricos

En la siguiente figura se muestra el menú de interfaz del banco de pruebas Dimedpiezotool donde se calibran los inyectores piezoeléctricos de acuerdo con los parámetros que tenga el equipo.

**Figura 39**

*Interfaz del banco Dimedpiezotool*



*Nota.* En la imagen se puede observar la pantalla que muestra el proceso de calibración de un actuador piezoeléctrico Siemens.

### **Multímetro automotriz**

(Robayo, 2023) menciona que:

El multímetro automotriz es un equipo sofisticado cuyas funciones son medir la tensión, corriente, resistencia entre otras funciones. Este equipo consta de una perrilla selectora que permite el aumento o disminución en la escala de medición. En este campo se usará el multímetro como instrumento de comprobación únicamente en los actuadores.

Sus funciones principales son:

- Medición de resistencia.
- Prueba de continuidad.
- Mediciones de tensiones de Corriente Alterna y Corriente Continua.
- Mediciones de intensidad de corrientes alterna y continua.
- Medición de la capacitancia.

- Medición de la frecuencia.
- Detección de la presencia de corriente alterna.

**Figura 40**

*Multímetro automotriz Proskit MT-5211*



*Nota.* Se muestra el multímetro que se utiliza para las pruebas de resistencia en los inyectores.

(DIGIKEY, 2023)

### ***Osciloscopio automotriz Hantek 1008c***

(Simbaña & Bustillos, 2018) menciona:

El osciloscopio automotriz, es un equipo diseñado para analizar voltaje y corriente en tiempo real. Hantek 1008c ofrece una interfaz con un ejecutable para cualquier ordenador. Consta de 8 canales, un puerto USB diseñado para comunicarse con el ordenador a través de un cable. La graficas mostradas son visualizadas en dos dimensiones (x, y) con escalas ajustables.

**Figura 41**

*Osciloscopio Hantek 1008C*



*Nota.* La imagen muestra el osciloscopio Hantek 1008C conectado para operación.

En la siguiente figura se observa la interfaz de salida del osciloscopio, esto se da mediante la pantalla de un ordenador donde se pueden modificar las escalas para visualizar las curvas

**Figura 42**

*Interfaz de salida de osciloscopio Hantek*



*Nota.* En la imagen se visualiza los 8 canales del osciloscopio.

### **Trazador de gráficos FADOS9F1**

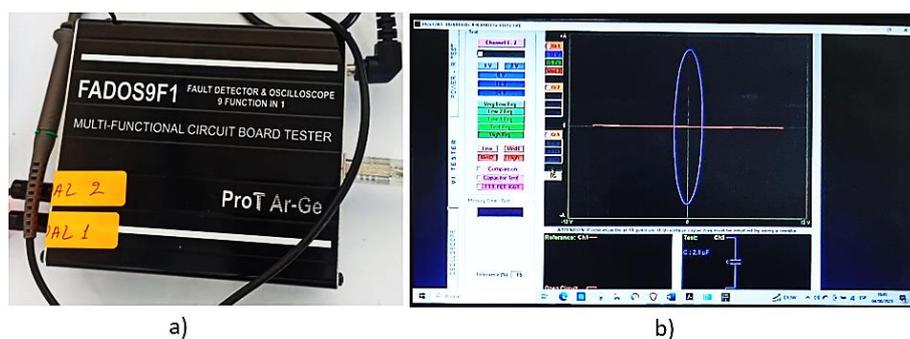
Es un equipo sofisticado capaz de generar gráficas equivalentes de circuitos eléctricos. Este equipo permite el diagnóstico de elementos y circuitos automotrices sin la necesidad de

energizar el sistema. El equipo FADOS9F1 posee una interfaz gráfica dentro de un ejecutable con la disponibilidad de instalación en cualquier ordenador.

Cuando se realiza la traza de las imágenes en los inyectores Siemens se utilizó el equipo, mediante el equipo se verifica los elementos electrónicos, en la pantalla se visualiza los planos x-y conjuntamente con el trazador donde las imágenes se les conoce como las curvas de Lissajous, estas son obtenidas con la alimentación de la entrada horizontal y vertical y grafica da su respectiva onda.

**Figura 43**

*Interfaz de salida y equipo FADOS9F1*



*Nota.* a) Equipo FADOS9F1 conectado; b) Interfaz de salida en computador.

### ***Pinza amperimétrica***

Este instrumento de medición nos permite medir la corriente en el conductor donde se encuentra instalado. Este instrumento posee una pinza cuya finalidad es medir la corriente que pasa por un cable sin romperlo. Posee también, un cable de tipo entrada de osciloscopio que permite conectarlo a cualquier osciloscopio mejorando así la visualización de la onda de corriente en función del tiempo.



### ***Microscopio***

Debido al tamaño de los componentes, los microscopios cumplen un papel fundamental en la puesta a punto de los inyectores. Este equipo nos permite visualizar una imagen ampliada de los componentes propensos a daños que no son visibles a simple vista. Este microscopio consta de un soporte que permite un recorrido del lente vertical y horizontal para adaptarse a las necesidades de visualización o tamaño.

### **Figura 46**

#### ***Microscopio digital***



*Nota.* Este equipo permite visualización en pantalla digital

### ***Compresor de aire***

El compresor es una máquina capaz de comprimir el aire de entorno y aumentar su presión debido a su almacenamiento en un espacio pequeño. Este equipo proporciona la presión necesaria para el funcionamiento de la maquina tester CRDI V 3500 VPN de tipo neumática.

**Figura 47**

*Compresor de aire MZB*



*Nota.* Se observa el compresor de aire MZB conectado.

***Kit de herramientas de desmontaje para inyectores multimarca***

Se dispone de un kit de herramientas para el desmontaje de inyectores de la marca ERIKC que ofrece diferentes piezas funcionales para el proceso de armado y desarmado. Este kit cuenta con llaves especiales en función de cada marca de inyector. La diversidad de elementos garantiza un proceso de despiece de calidad cuidando y protegiendo los componentes fijos y móviles del inyector piezoeléctrico.

**Figura 48**

*Herramientas usadas para el desmontaje de los inyectores*



*Nota.* Las herramientas mostradas son de uso especial para inyectores diésel.

### Requisitos de pruebas

Las pruebas de funcionamiento de los inyectores CRDI Siemens se realizarán en base a los diferentes requerimientos del motor diésel, este funcionamiento será simulado en un banco de pruebas con diferentes parámetros de inyección como presión, rpm y pulsos. Se debe garantizar que el banco de pruebas tenga la capacidad de simular los siguientes parámetros:

**Tabla 6**

*Requisitos de las pruebas*

<b>Parámetros</b>	<b>Presión (bar)</b>	<b>RPM</b>	<b>Pulsos (<math>\mu</math>s)</b>
<b>Estanqueidad</b>	1600	1500	0
<b>Plena Carga</b>	1500	1000	750
<b>Emisiones</b>	1000	1250	650
<b>Ralentí</b>	250	1300	470
<b>Preinyección</b>	700	1600	150
<b>Emisiones</b>	900	1250	500

*Nota.* La tabla muestra los parámetros y valores estimados a comprobar.

### Especificaciones del sistema de inyección Siemens

Siemens VDO, una empresa europea dedicada a la fabricación de elementos electrónicos y mecatrónicos automotrices actualmente adquiridas por Continental, maneja una alta gama de tecnología automotriz que elevan el rendimiento de los motores constituidos por dichos componentes.

Según la empresa (CONTINENTAL, 2021) en su texto menciona que “Los sistemas de inyección diésel Common Rail constan de los siguientes componentes principales: una bomba de alta presión, inyectores piezoeléctricos, riel, líneas y unidad de control del motor”.

Considerando los componentes del sistema de inyección diésel, Siemens VDO Continental ha optado por proveer bombas de alta presión capaces de generar

hasta 2500 bar. La calidad de inyección de este sistema proviene de los inyectores piezoeléctricos que esta marca promueve debido a la alta capacidad de respuesta creando tiempos de ciclo más cortos.

**Tabla 7**

*Marcas de vehículos comercializados en Ecuador con inyectores Siemens VDO Continental*

<b>Descripción</b>	<b>Modelo</b>	<b>Año</b>	<b>Motor</b>	<b>Foto</b>
<b>Citroën</b>	Berlingo Multispace	2010 →	9HR (DV6C)	
<b>Citroën</b>	C3 II (SC) 1.6 HDi 110	2009 →	9HR(DV6C)	
<b>Peugeot</b>	208 I (CA, CC) 1,6 HDi	2012- 2019	9HR(DV6C)	
<b>Peugeot</b>	2008 I (CU) 1.6 HDi	2013 →	9HD (DV6CTED)	
<b>Ford</b>	RANGER (TIKE) 3.2 TDCi 4x4	2011 →	SAFA	

*Nota.* Se tomó los vehículos con mayor mercado en el Ecuador.

### **Despiece y nomenclatura del inyector piezoeléctrico SIEMENS VDO Continental**

El inyector piezoeléctrico Siemens BK2Q-9K546-AG se utiliza en el Ford Ranger y forma parte de sistemas de inyección diésel de alta presión. Este componente es esencial para mejorar la eficiencia del motor y reducir las emisiones en vehículos diésel modernos.

**Figura 49**

*Inyector CRDI siemens BK2Q-9K546-AG*



*Nota.* En la imagen se puede observar un inyector piezoeléctrico Siemens VDO Continental.

***Despiece de inyector Siemens VDO Continental BK2Q-9K546-AG***

El inyector Siemens Continental VDO BK2Q-9K546-AG, son utilizados en varios vehículos, a continuación, se va a visualizar el despiece del inyector.

**Figura 50**

*Componentes internos del cuerpo del inyector*



*Nota.* En la imagen se puede observar el despiece de los elementos de internos del inyector.

Tabla 8

Partes del despiece del inyector Siemens VDO Continental BK2Q-9K546-AG

Ref.	Descripción	Imagen
1	Actuador piezoeléctrico	
2	Tuerca anular	
3	Válvula	
4	Pin	
5	Vástago	
6	Arandela de calibración	
7	Arandela de compensación	

Ref.	Descripción	Imagen
8	Muelle de ralentí	
9	Espaciador	
10	Aguja	
11	Casquillo	
13	Guía de pin	
14	Tobera	
15	Cuerpo	

*Nota.* La tabla muestra todos los componentes del inyector Siemens Continental BK2Q-9K546-AG

## Proceso de desarmado, verificación y armado del inyector

### *Proceso de desarmado del inyector Siemens Continental BK2Q-9K546-AG*

Para iniciar el desarmado de este tipo de inyector, se usa una mordaza de fijación y base universal porta inyectores con la finalidad de fijar el inyector y evitar movimientos inapropiados que podrían causar daños físicos al mismo.

**Tabla 9**

### *Proceso de desarmado de inyector Siemens Continental BK2Q-9K546-AG*

N°	Procedimiento	Descripción	Imagen
1	Fijación del inyector.	Se procede a la fijación de inyector en una mordaza universal.	
2	Desmontaje del actuador piezoeléctrico.	Con una llave especial tipo hexágono se procede a aflojar la tuerca que asegura el actuador piezoeléctrico.	
3	Desmontaje del portatobera.	Por la parte inferior del inyector, se procede a aflojar la portatobera.	

N°	Procedimiento	Descripción	Imagen
4	Extracción de elementos internos en el cuerpo del inyector	El desmontaje del inyector inicia desde la porta tobera, este componente asegura las partes interiores debido a su geometría cilíndrica. Una vez extraída la porta tobera, se separan los componentes internos.	
5	Desmontaje de componentes de accionamiento.	Debajo del actuador piezoeléctrico se encuentra la arandela de calibración de forma hexagonal.	
6	Desmontaje de la válvula.	En el cuerpo del inyector se tiene una tuerca especial, cuya herramienta es específica para la marca. El desmontaje de este componente nos permite acceder a la válvula.	
7	Desmontaje de los componentes internos en la cámara de control.	Dentro de la cámara de control se encuentra la válvula, el casquillo, un pin, un muelle y una guía de pin.	
8	Desmontaje del vástago	Se ejerce una fuerza de empuje desde	

N° Procedimiento	Descripción	Imagen
	el lado superior hacia el lado inferior del cuerpo del inyector.	

*Nota.* La tabla muestra el proceso paso a paso del proceso de desarmado del inyector piezoeléctrico Siemens VDO Continental BK2Q-9K546-AG.

#### ***Proceso de armado del inyector Siemens Continental BK2Q-9K546-AG***

Para llevar a cabo este procedimiento de manera exitosa, es necesario realizar una limpieza exhaustiva de los componentes internos del inyector y disponer de ellos de manera ordenada en un recipiente. Esta preparación meticulosa es crucial para garantizar el éxito de todo el proceso.

#### **Figura 51**

##### *Piezas del inyector*



*Nota.* En la imagen se observa las partes del inyector ordenadas en el recipiente antes de su armado.

En la siguiente tabla se detalla el proceso de armado del inyector Siemens Continental.

Tabla 10

Proceso de armado de inyector Siemens VDO Continental BK2Q-9K546-AG

N°	Procedimiento	Gráfica
1)	Con una pinza se ubica la arandela de ralenti.	
2)	De la misma manera se ubica el honguito de control, junto con el cuerpo de la válvula de control.	
3)	Luego de ubicar los componentes que van junto al cuerpo de la válvula, se ubica la tuerca de fijación.	
4)	El retorno se origina a través de la válvula de control, ya que es por este punto donde se generan trabajo, presión y, consecuentemente, el flujo de retorno. Esta válvula desencadena un proceso en el cual se producen fuerzas y presiones que generan el retorno del flujo.	
5)	Se procede llevar el cuerpo del inyector a la mordaza de fijación, para proceder al armado de los demás componentes utilizando la herramienta.	

N°	Procedimiento	Gráfica
	<p>Utilizando herramientas especiales y con el torquímetro a 60 Nm se procede a ajustar la tuerca</p> <p>6) de fijación, se ubica el pin de control.</p> <p>Se gira la base del inyector y se procede a ubicar el vástago de control, éste debe estar en equilibrio.</p>	

*Nota.* La tabla muestra el paso a paso del proceso de armado del inyector Siemens Continental BK2Q-9K546-AG.

El anillo VH del inyector desempeña un papel fundamental al asegurar la posición precisa que guiará el recorrido de la tobera durante el proceso de calibración. Su ubicación estratégica garantiza que la tobera siga una trayectoria precisa y controlada durante todo el proceso de calibración.

**Tabla 11**

*Continuación del proceso de armado de inyector Siemens VDO Continental BK2Q-9K546-AG*

N°	Procedimiento	Gráfica
<p>En el caso específico de la tobera M0019P140</p> <p>1) utilizada en un Ford Ranger, esta se coloca directamente sobre el separador del inyector.</p>		
<p>Hay que tomar en cuenta que el kit de reparación de este tipo de inyector se consigue desde la tobera, la válvula de control, el componente piezoeléctrico. El</p> <p>2) deterioro de esta parte es resultado del desgaste natural debido al uso continuo y a la falta de mantenimiento adecuado.</p>		
<p>3) Con la herramienta, en este caso el torquímetro a 40</p>		

N°	Procedimiento	Gráfica
	Nm se le realiza el ajuste de la tobera.	

*Nota.* La tabla muestra el paso a paso del proceso de armado del inyector Siemens VDO Continental BK2Q-9K546-AG.

Luego, se gira el inyector para continuar con el montaje de las piezas restantes, incluyendo el pin de control. Una vez completado este proceso, el inyector estará preparado para ser sometido a la calibración correspondiente, seguida de la comprobación en el banco de pruebas.

#### ***Despiece de inyector Bosch 0445115 045***

**Figura 52**

*Componentes internos del cuerpo del inyector*



*Nota.* En la imagen se puede observar el despiece de los elementos de internos del inyector.

Tabla 12

Partes del despiece del inyector Bosch 0445115 045

Ref.	Descripción	Imagen
1	Actuador Piezoeléctrico	
2	Tobera y aguja	
3	Válvula de control	
4	Guía de tobera	
5	Pistón amplificador	
6	Disco Intermedio, se encuentra los pines de retorno	
7	Resorte de ralentí o apertura. Rodela de apertura del inyector	

Ref.	Descripción	Imagen
8	Porta tobera	

*Nota.* La tabla muestra los componentes internos de un inyector piezoeléctrico Bosch 0445115 045

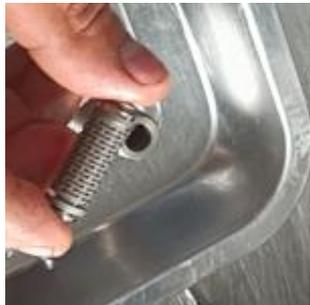
### ***Proceso de desarmado del inyector piezoeléctrico Bosch 0445115 045***

Para comenzar el proceso de desmontaje de este tipo de inyector, se emplea una mordaza de sujeción en conjunto con una base universal porta inyectores. Esto se realiza con el propósito de asegurar el inyector y prevenir movimientos incorrectos que podrían resultar en posibles daños físicos al componente.

#### **Tabla 13**

*Proceso de desarmado de inyector piezoeléctrico Bosch 0445115 045.*

Procedimiento	Descripción	Imagen
1) Levantamientos de pruebas antes del desarmado.	Previo al desmontaje del inyector, es esencial considerar las pruebas que se efectuarán. En este contexto, se lleva a cabo una prueba de resistencia infinita en la bobina del inyector.	
2) Reconocimiento del inyector.	Se identifica la serie del inyector, en este caso corresponde a un piezoeléctrico Bosch 0445115 045.	

Procedimiento	Descripción	Imagen
3) Inicio del desmontaje	El proceso comienza extrayendo la porta tobera utilizando la herramienta adecuada, seguido por la extracción de la tobera y sus componentes.	
4) Extracción de la válvula.	Luego de la extracción de la válvula, se extrae un pistón intensificador de presión, se podría decir que es un acople hidráulico entre el piezoeléctrico y la válvula.	
5) Extracción de válvula pequeña.	Se procede a retirar la pequeña válvula en forma de cono y su asiento. Estos elementos cumplen un papel esencial al interactuar con el pistón intensificador. Su función radica en crear un desequilibrio en el inyector cuando el pistón se acciona, dando lugar a la generación de la presión requerida.	
6) Desmontaje del pistón intensificador.	Este procedimiento se ejecuta para limpiar el colchón hidráulico, asegurando que el inyector se desbloquee y no presente dificultades durante las pruebas en el banco de ensayos.	

Procedimiento	Descripción	Imagen
7) Proceso de carga de pistón intensificador.	Este paso se efectúa para posicionar adecuadamente el pistón intensificador antes de avanzar con el proceso de ensamblaje.	

*Nota.* La tabla muestra el proceso de desarmado de un inyector piezoeléctrico Bosch 0445115 045.

La presión de retorno en este tipo de inyector piezoeléctrico de Bosch se sitúa en el rango de 10 bar. Esta presión es crucial para mantener el equilibrio funcional. Si la presión requerida no se alcanza, el inyector puede quedar bloqueado y no funcionar correctamente en el banco de pruebas.

#### ***Proceso de armado del inyector piezoeléctrico Bosch 0445115 045***

Durante el ensamblaje del pistón intensificador, se verifica que exista una ligera holgura. Esta precaución se toma para evitar complicaciones en el momento de la liberación en este tipo de inyector. Paralelamente, es esencial mantener las piezas ordenadas en un recipiente antes de iniciar el proceso de ensamblaje.

#### **Tabla 14**

##### *Proceso de armado del inyector piezoeléctrico Bosch 0445115 045*

Procedimiento	Descripción	Imagen
1) Fijación del inyector	Se ubica el pistón intensificador con la posición adecuada.	

Procedimiento	Descripción	Imagen
2) Armado de válvula.	Se arma la válvula luego de ubicar el pistón intensificador.	
3) Se incorporan los demás elementos internos.	Previo al desmontaje de estos inyectores, es crucial efectuar una marca distintiva. En este contexto, observa una marca de ajuste en la válvula. Luego, se procede a situar el resorte, la arandela del resorte y la guía de la tobera.	
4) Utilización de la herramienta de ajuste.	Con el uso del torquímetro se ajusta la porta tobera con un torque de 60 Nm.	

*Nota.* La tabla muestra el proceso paso a paso del armado del inyector piezoeléctrico de Bosch 0445115 045.

### **Análisis y comparación de los caudales de inyección y de retorno de inyectores Bosch y Siemens**

Para analizar el estado y funcionamiento de los inyectores se realizó pruebas en base al caudal y al retorno de combustible con diferentes parámetros.

Para el desarrollo de esta prueba es necesario contar con los siguientes componentes:

- Inyectores piezoeléctrico Siemens Continental y piezoeléctrico Bosch

- Tester V-3500
- Osciloscopio Hantek, Pinza Amperimétrica
- Portátil con el software del programa Hantek
- Equipo de protección.

**Tabla 15**

*Comparación de caudales de inyección y retorno de inyectores Siemens y Bosch respectivamente*

<i>N°</i>	<i>Strock</i>	<i>Tiempo</i>	<i>Presión.</i>	<i>Figura</i>
1)	300	1	200	
2)	300	1.5	200	
3)	300	2	200	

N°	Strock	Tiempo	Presión.	Figura
				
4)	500	1	200	
5)	500	1.5	200	
6)	500	2	200	

*Nota.* Pruebas de los inyectores Siemens y Bosch con variaciones de números de pulsos de 500 y 300 STRK y con tiempos de inyección de (1, 1.5, 2) ms.

En la tabla se toma en cuenta que los datos variables corresponden al tiempo de inyección para cada una de las pruebas realizadas, visualizando que el tiempo de inyección van incrementando, en la cual los valores de caudal de inyección, caudal de retorno van variando.

En la siguiente tabla exhibe los valores condicionales que son requeridos para llevar a cabo la prueba del inyector Siemens Continental BK2Q-9K546-AG.

**Tabla 16**

*Caudal de inyección y retorno de inyector Siemens VDO Continental BK2Q-9K546-AG*

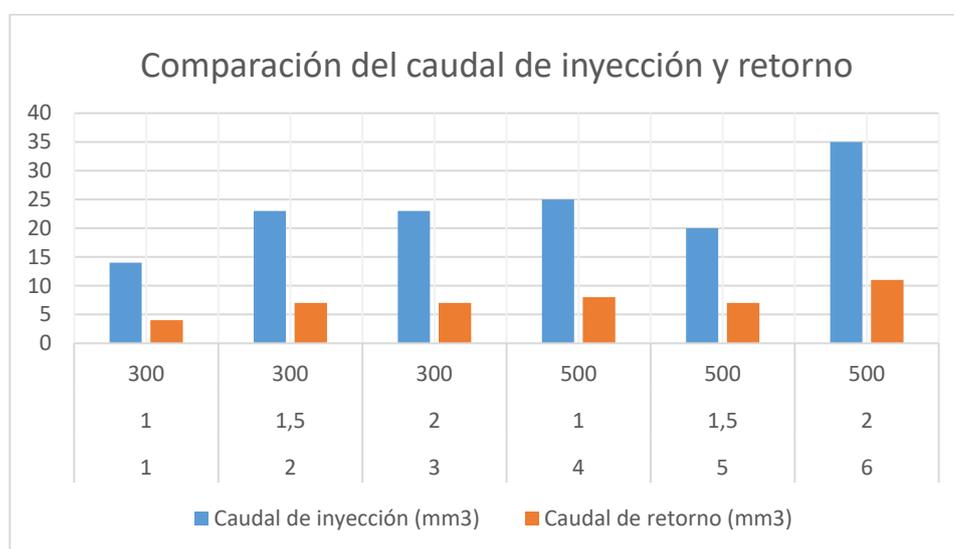
<b>N° Prueba</b>	<b>Tiempo de inyección (ms)</b>	<b>Numero de inyecciones (Strock)</b>	<b>Presión de inyección (bar)</b>	<b>Caudal de inyección (mm<sup>3</sup>)</b>	<b>Caudal de retorno (mm<sup>3</sup>)</b>
<b>1</b>	1	300	400	14	4
<b>2</b>	1.5	300	300	23	7
<b>3</b>	2	300	250	23	7
<b>4</b>	1	500	200	25	8
<b>5</b>	1.5	500	150	20	7
<b>6</b>	2	500	200	35	11

*Nota.* La tabla muestra el mayor caudal de retorno a 2ms, 500 Strock y 200 bar.

**Figura 53**

*Comparación de caudal de inyección y retorno del inyector Siemens VDO Continental BK2Q-9K546-*

*AG*



*Nota.* Interpretación gráfica del inyector Siemens Continental BK2Q-9K546-AG varias presiones de inyección de 400 a 200 bar con variación de números de pulsos en 300 y 500 STRK y con tiempos de inyección de (1, 1.5, 2) ms, calculando el tiempo de caudal de inyección y caudal de retorno.

En la siguiente tabla se presentará los valores que se llevaran a cabo para utilizar el desarrollo de la práctica del inyector piezoeléctrico Bosch 0445115 045.

**Tabla 17**

*Caudal de inyección y retorno del inyector piezoeléctrico Bosch 0445115045*

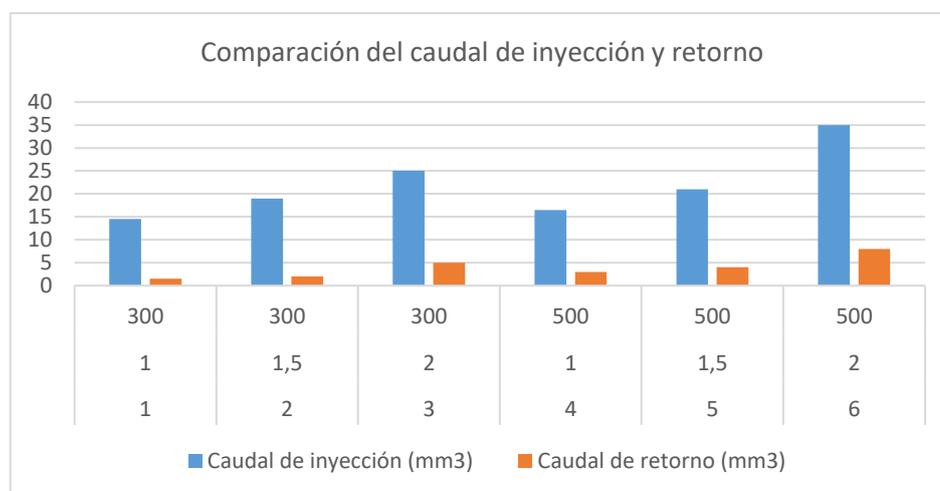
Nº Prueba	Tiempo de inyección (ms)	Numero de inyecciones (Strock)	Presión de inyección (bar)	Caudal de inyección (mm <sup>3</sup> )	Caudal de retorno (mm <sup>3</sup> )
1	1	300	400	14.5	1.5
2	1.5	300	300	19	2
3	2	300	250	25	5
4	1	500	200	26.5	3
5	1.5	500	150	21	4

N° Prueba	Tiempo de inyección (ms)	Numero de inyecciones (Strock)	Presión de inyección (bar)	Caudal de inyección (mm <sup>3</sup> )	Caudal de retorno (mm <sup>3</sup> )
6	2	500	200	35	8

*Nota.* La tabla muestra que el mayor caudal de retorno se da a 2ms, 500 Strock y 200 bar.

**Figura 54**

*Comparación de caudal de inyección y retorno del inyector piezoeléctrico Bosch 0445115045*



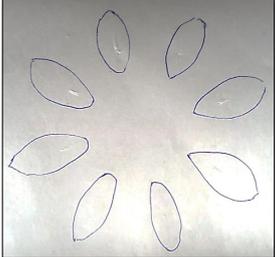
*Nota.* Interpretación gráfica del inyector piezoeléctrico Bosch 0445115 045 sometido varias presiones de inyección de 400 a 200 bar con variación de números de pulsos en 300 y 500 STRK y con tiempos de inyección de (1, 1.5, 2) ms, calculando el tiempo de caudal de inyección y caudal de retorno.

### Cálculos de ángulos de pulverización

**Tabla 18**

*Proceso para toma de datos para los cálculos de ángulos de pulverización*

N°	Descripción	Gráfica
1)	Se procede a observar en que parte del cilindro está botando el chorro.	

N°	Descripción	Gráfica
		
2)	Se obtiene el diámetro del cilindro de pulverización, se toma en cuenta el espesor del cilindro del banco de pruebas.	
3)	Se obtiene la medida del inyector hasta el cilindro de pulverización, mediante una hoja de papel para obtener la medida.	--
4)	Después de la pulverización del inyector, la imagen muestra claramente la dirección del chorro resultante.	

*Nota.* La tabla presenta el procedimiento y toma de datos para los cálculos de ángulos de pulverización.

#### ***Datos obtenidos del inyector piezoeléctrico Bosch***

Al observar el chorro de pulverización de este tipo de inyector, es posible identificar la presencia de siete orificios, cada uno con un ángulo de dispersión característico.

**Figura 55**

*Número de agujeros del inyector*



*Nota.* Se observa 7 agujeros que posee la tobera del inyector.

$$\varphi = \frac{360}{7} = 51.42$$

Datos:

$$r = 45.35 \text{ mm}$$

$$\theta = 10 \text{ mm}$$

$$Y = 7 \text{ mm}$$

Cálculo del ángulo de dispersión del inyector piezoeléctrico Bosch

$$\gamma T = \text{tg}^{-1}\left(\frac{10 \text{ mm} + 7 \text{ mm}}{45.35 \text{ mm}}\right) - \text{tg}^{-1}\left(\frac{7 \text{ mm}}{45.35 \text{ mm}}\right)$$

$$\gamma T = 11.7^\circ$$

Cálculo de la altura del inyector piezoeléctrico Bosch

$$h = \frac{10 \text{ mm}}{2} + 7 \text{ mm}$$

$$h = 12 \text{ mm}$$

Cálculo del ángulo de disparo del inyector piezoeléctrico Bosch

$$IT = \operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{12 \text{ mm}}{45.35 \text{ mm}} \right)$$

$$IT = 14.82^\circ$$

Cálculo del ángulo de cono del inyector piezoeléctrico Bosch

$$\alpha = 2 * \operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{45.35 \text{ mm}}{12 \text{ mm}} \right)$$

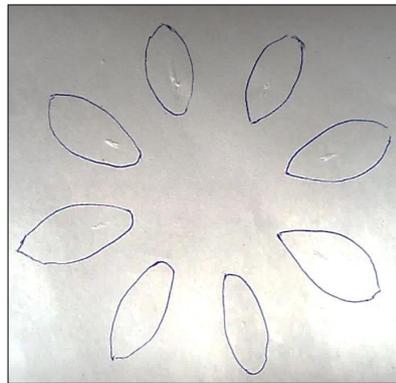
$$\alpha = 150.35^\circ$$

### ***Datos obtenidos del inyector Siemens VDO Continental***

Al examinar el patrón de pulverización de este tipo de inyector, es evidente la presencia de ocho orificios, cada uno con ángulos de dispersión específicos.

### **Figura 56**

*Número de agujeros del inyector*



*Nota.* Se observa 8 agujeros que tiene la tobera del inyector.

$$\varphi = \frac{360}{8} = 45$$

Datos:

$$r = 45.35 \text{ mm}$$

$$\theta = 5 \text{ mm}$$

$$Y = 3 \text{ mm}$$

Cálculo del ángulo de dispersión del inyector Siemens Continental

$$\gamma T = \operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{5 \text{ mm} + 3 \text{ mm}}{45.35 \text{ mm}} \right) - \operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{3 \text{ mm}}{45.35 \text{ mm}} \right)$$

$$\gamma T = 6.21^\circ$$

Cálculo de la altura del inyector Siemens Continental

$$h = \frac{5 \text{ mm}}{2} + 3 \text{ mm}$$

$$h = 5.5 \text{ mm}$$

Cálculo del ángulo de disparo del inyector Siemens Continental

$$IT = \operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{5.5 \text{ mm}}{45.35 \text{ mm}} \right)$$

$$IT = 6.91^\circ$$

Cálculo del ángulo de cono del inyector Siemens Continental

$$\alpha = 2 * \operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{45.35 \text{ mm}}{5.5 \text{ mm}} \right)$$

$$\alpha = 166.16^\circ$$

**Tabla 19**

*Ángulos de pulverización del inyector piezoeléctrico Bosch 0445115 045*

Ángulo de dispersión	Ángulo de disparo	Angulo de cono
11.7°	14.82°	150.35°

*Nota.* La tabla muestra los ángulos de dispersión, disparo y de cono.

**Tabla 20**

*Ángulos de pulverización del inyector Siemens Continental BK2Q-9K546-AG*

<b>Angulo de dispersión</b>	<b>Angulo de disparo</b>	<b>Angulo de cono</b>
<b>6.21°</b>	<b>6.91°</b>	<b>166.16°</b>

*Nota.* La tabla muestra los ángulos de dispersión, disparo y de cono.

### **Análisis de pruebas en función de la presión**

La presión de suministro de combustible se encuentra regulada por las IPR en el riel de alta presión, es decir que, la ECU monitorea la presión y controla la presión de acorde a los parámetros de funcionamiento, controlando la dosificación de combustible con relación a la presión.

**Tabla 21**

*Parámetros de inyección*

<b>Paso de test</b>	<b>Presión (bar)</b>	<b>Ancho de pulso (<math>\mu</math>s)</b>	<b>Valor de referencia (<math>mm^3/H</math>)</b>
<b>Warn Up</b>	1200	1480	0 $\pm$ 0
<b>LEAK TEST</b>	1700	0	40 $\pm$ 40
<b>VL</b>	1600	1380	84,3 $\pm$ 4,2
<b>VL</b>	1600	1380	42 $\pm$ 25
<b>TL</b>	800	650	21,1 $\pm$ 2,7
<b>LL</b>	320	675	5,8 $\pm$ 1,5
<b>VE</b>	800	220	0,9 $\pm$ 0,5

*Nota.* La tabla presenta los valores referenciales para diferentes parámetros de pruebas.

La tabla presenta las distintas presiones proporcionadas por la bomba de alta presión para cada parámetro evaluado. Cada prueba está asociada a un único valor de presión, ya que se considera que el inyector se comportará conforme a las necesidades predefinidas. En este contexto, las presiones utilizadas en cada prueba se utilizan para determinar el comportamiento del inyector bajo diferentes condiciones

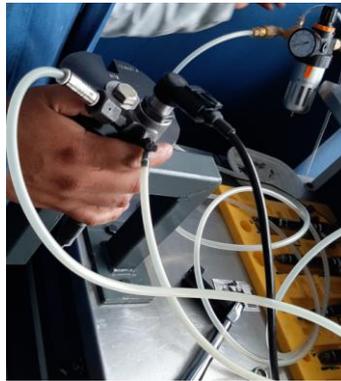
## Ajuste de recorridos, inductancias, caudal y retorno

### *Calibración de inyector CRDI Siemens VDO Continental*

La operación del equipo Dimedpiezotool es intuitiva. Se procede a conectar el inyector a una fuente de aire comprimido y ajustar gradualmente el adaptador. La figura ilustra un flujo de retorno, que debe calibrarse según las especificaciones del equipo para garantizar una operación precisa.

#### **Figura 57**

*Entrada de aire comprimido*



*Nota.* En la imagen se puede observar donde va a ingresar el aire comprimido para su respectiva calibración.

La calibración implica mantener una pequeña separación entre el adaptador y el piezoeléctrico. Cuando el adaptador se activa, se busca lograr un recorrido de 0.6 mm con precisión.

**Figura 58**

*Ubicación de la válvula de control*



*Nota.* En la imagen se puede observar el adaptador que debe tener un tope para que este se active tenga su recorrido.

El equipo pide que deba realizar una prueba de capacitancia de la bobina y resistencia.

**Tabla 22**

*Magnitudes eléctricas de los inyectores Siemens VDO Continental*

<b><i>Inyectores Continental</i></b>	
<b>Resistencia</b>	190/210 k $\Omega$
<b>Capacitancia</b>	3.00/350 $\mu$ F
<b>Aislamiento</b>	Aislamiento > 20 M $\Omega$

*Nota.* Datos basados en la guía de calibración de inyectores piezoeléctricos.

Una vez culminada la verificación de magnitudes eléctricas se procede a la instalación del inyector en el bloque de retención.

**Figura 59**

*Fijación del inyector en bloque de retención*



*Nota.* Se observa el inyector montado en el bloque.

Se coloca la arandela de calibración en el adaptador. Si el recorrido está fuera de los valores predeterminados en el equipo, esto indica un desgaste en el componente debido al uso del inyector. Un recorrido incorrecto resultará en que el inyector permanezca en posición abierta y no funcione adecuadamente. La finalidad de esta calibración es asegurar que el pin de control alcance su tope de manera precisa.

**Figura 60**

*Resultado de los valores de capacitancia*



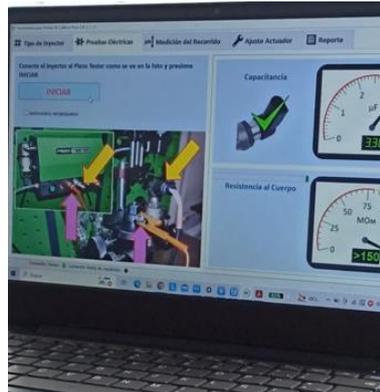
*Nota.* Se observa el armado total del inyector, para realizar su respectiva calibración.

Se establece la conexión entre el equipo y el inyector, dando paso a la ejecución de las pruebas en el dispositivo Dimedpiezotool. Los resultados indican valores de capacitancia de 336

$\mu\text{F}$ , los cuales concuerdan con la verificación previa llevada a cabo utilizando un multímetro. Es relevante destacar que las discrepancias en las mediciones son atribuibles a la mayor precisión del equipo en comparación con el multímetro.

### Figura 61

*Resultado de los valores de capacitancia*



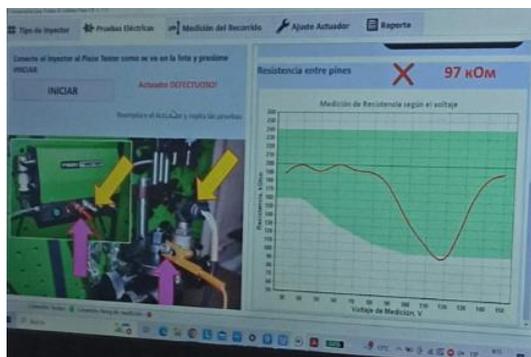
*Nota.* Valor de capacitancia del inyector.

### **Medición del aislamiento entre pines**

El equipo realiza una medición del aislamiento entre un pin y el cuerpo del inyector, con el fin de verificar la ausencia de cualquier cortocircuito. La figura presenta una curva que relaciona la resistencia con el voltaje. Los valores de voltaje proporcionados por el equipo varían entre 110 y 120 V. Si estos valores se encuentran dentro del rango marcado en verde, el adaptador puede ser empleado sin problema alguno.

**Figura 62**

*Gráfica resistencia vs voltaje del aislamiento entre pines*



*Nota.* Se observará la resistencia vs voltaje del inyector.

Aunque el equipo indica que la medición no es óptima y señala que el adaptador está defectuoso, es importante considerar que, actualmente, los valores se sitúan dentro de la franja verde permitida. Sin embargo, es crucial reconocer que, a medida que el inyector se utilice con el tiempo, podrían surgir problemas debido a un posible aislamiento defectuoso.

**Medición de recorrido del inyector**

En la siguiente tabla se detalla el procedimiento del recorrido del inyector piezoeléctrico:

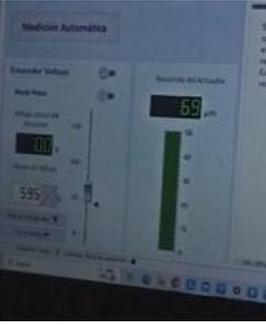
**Tabla 23**

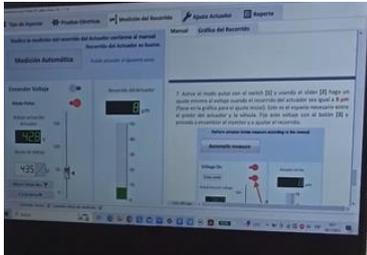
*Procedimiento del ajuste de recorrido del inyector Siemens VDO Continental BK2Q-9K546-AG.*

N°	Procedimiento	Gráfica
----	---------------	---------

- Instalar el adaptador del inyector al soporte.
- 1)** Gire el soporte, instale el actuador seleccionado en el adaptador y ajuste con un torque a 35 Nm.



N°	Procedimiento	Gráfica
	<p>La posición del pin del actuador se regula en función del voltaje suministrado desde la computadora. Si se requiere una mayor cantidad de combustible, se aplica un voltaje de 80 V; para</p> <p>2) reducir el combustible, se utilizan 60 V. Estos valores varían según las necesidades del vehículo</p> <p>Gire el soporte nuevamente a su posición original, conecte el actuador al tester y ajuste la presión de aire a 1 bar girando la perilla correspondiente.</p>	
	<p>Es esencial asegurar la estabilidad del reloj. Se posiciona la aguja en el centro del pistón del actuador y se abre la entrada de aire. Una vez encendido el reloj, se presiona el botón "zero". Se confirma que el LED del reloj parpadee; si no lo hace, es necesario reemplazar la batería.</p> <p>3)</p>	
	<p>Se verifica la conectividad con el reloj del software, el cual debe mostrar un parpadeo. Se selecciona un rango de 100-120 Volts utilizando el control deslizante y encienda y apague varias veces con el interruptor. Durante la activación del voltaje, un valor de recorrido positivo debe aparecer en el campo correspondiente. Al apagar el voltaje, el recorrido debe regresar a cero. Si se registra un recorrido positivo, proceda a presionar nuevamente el botón "zero" en el reloj.</p> <p>4)</p>	
	<p>Inicie las mediciones mediante la activación del botón "Medición Automática". Se visualizará una gráfica que ilustra el recorrido del actuador en</p> <p>5)</p>	

N°	Procedimiento	Gráfica
	<p>relación con el voltaje aplicado. Si el recorrido del actuador se encuentra dentro del área marcada en verde, se considera apto para su utilización en un inyector. En este punto, se lleva a cabo una verificación para determinar si el actuador se encuentra en buen estado o si debe ser descartado.</p>	
6)	<p>Active el modo pulso con el switch que está en el software y usando la slider haga un ajuste mínimo al voltaje cuando el recorrido del actuador sea igual a 8 <math>\mu\text{m}</math>. este es el espacio necesario entre el botón el pistón del actuador y la válvula. Fije este voltaje con el botón que está en software y proceda a ensamblar el inyector y ajustar el recorrido.</p>	

*Nota.* Se establece que el actuador requiere 43 voltios para alcanzar un recorrido de 8  $\mu\text{m}$ . Estos valores están sujetos a lo que la máquina arroje como resultado.

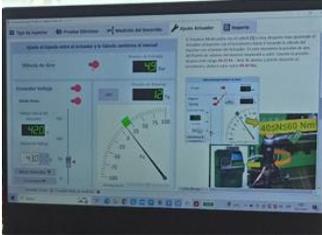
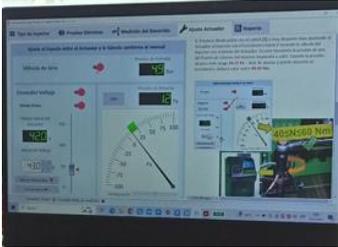
### **Ajuste de actuador**

En la siguiente tabla se va a detallar el procedimiento del ajuste del actuador del inyector piezoeléctrico:

**Tabla 24**

*Procedimiento del ajuste de actuador del inyector Siemens Continental BK2Q-9K546-AG.*

N°	Procedimiento	Gráfica
1)	<p>Se instala el inyector en el soporte de inyectores y ajuste el actuador manualmente. Se ajusta</p>	

N°	Procedimiento	Gráfica
	<p>suavemente el actuador con un torque alrededor de 5-10 Nm.</p>	
<p>2)</p>	<p>Conecte la entrada y salida de aire, y el cable del Actuador al Tester.</p>	
<p>3)</p>	<p>Alinear y restablecer los sensores de aire. Asegurarse de que la válvula de aire esté abierta y que la presión de entrada se sitúe en el rango de <math>5 \pm 0.3</math> bar. Mediante el control deslizante, elegir el voltaje correspondiente a <math>8 \mu\text{m}</math>. Si el voltaje de prueba fue registrado en el paso anterior, pulsar el botón "Ir a la marca" para que el control deslizante se ajuste automáticamente. Activar el modo pulso utilizando el interruptor del software. Ajustar con sumo cuidado el actuador hacia el inyector utilizando el tacómetro, hasta que entre en contacto con la válvula del inyector mediante el pistón del actuador. En este momento, la presión de aire en el puerto de retorno del inyector empezará a aumentar. Cuando la presión alcance el rango de 10-25 Pa, suspender el ajuste y prestar atención al tacómetro, que debe estar en el intervalo de 40-60 Nm.</p>	 

*Nota.* Datos basados en el manual de operación del equipo Dimedpiezotool.

Estos rangos son imperativos de cumplir, ya que excederlos podría resultar en daños al actuador al realizar el ajuste de torque. Una alternativa viable sería reemplazar la arandela en caso de que sea necesario.

### Figura 63

*Tabla de medidas para arandelas de calibración*

 <b>1 209 543</b> <b>Cassetta - Complete set</b>		Ch14,5 0,90±1,10 (0,01)	
REDAT REF.	OEM REF.	Spessore(mm) Thickness(mm)	Q.tà / Q.ty
1 216 060		0.90	10
1 216 061		0.91	10
1 216 062		0.92	10
1 216 063		0.93	10
1 216 064		0.94	10
1 216 065		0.95	10
1 216 066		0.96	10
1 216 067		0.97	10
1 216 068		0.98	10
1 216 069		0.99	10
1 216 070		1.00	10
1 216 071		1.01	10
1 216 072		1.02	10
1 216 073		1.03	10
1 216 074		1.04	10
1 216 075		1.05	10
1 216 076		1.06	10
1 216 077		1.07	10
1 216 078		1.08	10
1 216 079		1.09	10
1 216 080		1.10	10

*Nota.* Se observa las diferentes medidas para anillos de calibración. Tomado de (REDAT, 2023)

### Figura 64

*Verificación del ajuste del actuador*



*Nota.* Se observa que cumple con los rangos correspondientes descrito en el equipo.

### ***Reporte de prueba del actuador***

**Tabla 25**

*Resultados de la calibración del inyector*

<b>Serial</b>	<b>Inyector Siemens (Continental VDO)</b>
<b>Capacitancia</b>	3.40
<b>Fuerza de aislamiento</b>	>150
<b>Resistencia interna</b>	97
<b>Elevación del actuador</b>	41

*Nota.* Tomado de los resultados del Dimedpiezotool Con esto concluye el proceso de calibración, estando listo para someterlo al banco de pruebas a fin de llevar a cabo su correspondiente evaluación.

### ***Proceso de ajuste y calibración de inyector piezoeléctrico Bosch***

La rodela de ralenti del inyector piezoeléctrico Bosch tiene un rango de calibración mediante que va desde los 1.78 a 1.68 mm, esto se la comprueba mediante el reloj palpador.

### **Prueba de pulverización de inyector Siemens VDO Continental**

La siguiente prueba tiene como objetivo determinar si el inyector es capaz de pulverizar al momento de abrirse.

**Figura 65**

*Banco de pruebas de pulverización*



*Nota.* En la figura se muestra el banco de pruebas de pulverización.

La presión de apertura del inyector para combustible oscila entre 140 y 150 bar. Si se somete a una presión menor, el inyector no se abrirá y no llevará a cabo la inyección del combustible. Se realizó una prueba de pulverización y se confirmó su correcto funcionamiento.

**Figura 66**

*Prueba de pulverización.*



*Nota.* En se observa la presión de apertura del inyector de la prueba de pulverización.

(Freire, 2018) Menciona:

En el caso del inyector Siemens, el cálculo del ángulo de pulverización se basa en la información obtenida del Tester V-3500, incluyendo el diámetro interno y externo del cilindro donde ocurre la inyección.

### **Prueba de fugas: prueba de sellado**

(Carrasco & Danio, 2011) Afirma lo siguiente:

En líneas generales, se establece que un inyector se encuentra en condiciones satisfactorias en lo que respecta al nivel de retorno si logra mantener una presión superior a 50 bar durante un lapso continuado de seis segundos. Esta evaluación parte de una presión inicial de 100 bar y se utiliza como indicador de un funcionamiento adecuado en términos de retención de presión en el sistema.

La fuga de retorno indica la cantidad de combustible que sale entre la varilla de la válvula de aguja y el cuerpo de la tobera, hacia el retorno. Esta fuga debe existir en cierta proporción para lubricar estos componentes. Si es pequeña, indica una escasa holgura entre la aguja y la tobera. Si la fuga es excesiva, indica mayor holgura de la necesaria y deberá sustituirse o repararse la tobera. (p. 45).

(Perez & Sevilla, 2020) Afirma:

El sistema mide simultáneamente el retorno de combustible estático para determinar si el anillo de sello de alta presión, la válvula tipo honguito y el asiento están dañados o no (en este paso, si la boquilla gotea combustible, el motor emitirá humo negro, funcionará de forma violenta, el volumen de retorno de combustible más grande causará dificultades, llama frecuente, límite de velocidad, unidad de medición excede el valor máximo). (p. 48).

**Tabla 26**

En la tabla se detalla los resultados del test de inyector Siemens VDO Continental BK2Q-9K46-AG

<b>Paso de test</b>	<b>Presión (Mpa)</b>	<b>Ancho de pulso (<math>\mu</math>s)</b>	<b>Valor de referencia (<math>mm^3/H</math>)</b>
<b>LEAK TEST</b>	1700	0	40 $\pm$ 40

*Nota.* Los resultados de este test se observa los valores obtenidos en la prueba de fuga (LEAK TEST), donde se tiene una presión de 1700 bar con un valor de referencia de 40 $\pm$ 40  $mm^3/H$ , que validará el estado funcional del inyector.

### **Cantidad de combustible a plena carga**

(Perez & Sevilla, 2020) Afirma:

Este paso de prueba simula la inyección de combustible a carga máxima del motor. En este proceso, el sensor de flujo del sistema desempeña un papel crucial al detectar con precisión tanto la cantidad de combustible inyectada como la cantidad de retorno. La tasa de flujo que se muestra constituye el valor único de inyección del inyector. Este enfoque de inyección de combustible comparte similitudes con el sistema euro 2 y se apoya en la adaptación de la junta DNH en el inyector para lograr un mayor ahorro de combustible. Además, la cantidad de retorno de combustible también se monitorea minuciosamente, especialmente para identificar posibles daños en el conjunto de válvulas de control del inyector de riel común (p. 48).

**Tabla 27**

*Valores ideales de presión y caudal para condición en plena carga de inyector Siemens VDO*

*Continental BK2Q-9K46-AG*

<b>Paso de test</b>	<b>Presión (bar)</b>	<b>Ancho de pulso (<math>\mu</math>s)</b>	<b>Valor de referencia (<math>mm^3/H</math>)</b>
<b>VL</b>	1600	1380	84,3 $\pm$ 4,2
<b>VL</b>	1600	1380	42 $\pm$ 25

*Nota.* La tabla muestra los valores ideales del inyector Siemens VDO Continental en plena carga

**Tabla 28**

*Valores ideales de presión y caudal para condición en plena carga de inyector Bosch 0445115 045*

<b>Paso de test</b>	<b>Presión (Mpa)</b>	<b>Ancho de pulso (<math>\mu</math>s)</b>	<b>Valor de referencia (<math>mm^3/H</math>)</b>
<b>VL</b>	160	595	47,9 $\pm$ 6,5
<b>VL</b>	160	595	11 $\pm$ 4

*Nota.* La tabla muestra los valores ideales de caudal para un inyector Bosch 0445115 045 en plena carga.

### **Punto de drenaje**

En los inyectores piezoeléctricos en el punto de drenaje se refiere a una característica que permite evacuar el exceso de combustible que este acumulado, en este caso puede deberse a una condensación que se encuentre dentro del inyector. Es importante para garantizar un funcionamiento adecuado del inyector, se trata de una abertura o válvula en la parte inferior del inyector que puede abrirse para permitir que el líquido que no se requiere se elimine, esto asegura que el inyector siga funcionando eficientemente y se mantenga libre de acumulaciones que podrían interferir con su operación.

### **Límite de suministro de combustible**

(Perez & Sevilla, 2020) Afirma:

Si la cantidad de combustible es demasiado pequeña, el motor no tiene torque, la velocidad es lenta, la potencia es insuficiente, el humo es demasiado grande y no se alcanza el estándar de emisión. (p. 49).

### **Suministro de combustible inactivo**

Un suministro de combustible en los inyectores piezoeléctricos se refiere a la inyección de pequeñas cantidades de combustible, ya sea cuando el motor está en ralentí o en condiciones de baja carga. Esto se utiliza en todos los motores diésel modernos para mejorar la estabilidad del ralentí, reducir las emisiones y proporcionar un funcionamiento más suave y que sea eficiente en las situaciones en las que el motor está operando a bajas velocidades.

El control es preciso al momento de realizar la inyección de combustible ya que los inyectores piezoeléctricos cambian su apertura de cierra rápidamente en las respuestas que del motor.

(Perez & Sevilla, 2020) Afirma:

Las condiciones de ralentí del motor, eso debe garantizar que el combustible al ralentí este en el rango dentro del perímetro, si la consistencia no es buena, la velocidad es inestable, es fácil de apagar y el ruido es fuerte. La mayor cantidad de combustible al ralentí causa una excesiva velocidad y humo, si es pequeña la cantidad de combustible al ralentí, el motor es fácil de apagar y no es fácil arrancar el motor o desacelerarlo. (p. 49).

### **Pre – Inyección**

(Perez & Sevilla, 2020) Afirma:

Se considera una pequeña cantidad de combustible inyectado en el motor antes de la inyección. La misión es aumentar calor, reducir el ruido, mejor para el arranque en frío, reducir las emisiones, la preinyección más grande aumentara el ruido, el humo azul del motor, demasiado pequeño causara dificultades de arranque, hay un ruido de aceleración cuando se acelera el motor, la aceleración no es suave. (p. 50).

**Tabla 29**

*Valores ideales de caudal en pre-inyección del inyector Siemens Continental BK2Q-9K546-AG*

<b>Paso de test</b>	<b>Presión (Mpa)</b>	<b>Ancho de pulso (<math>\mu\text{s}</math>)</b>	<b>Valor de referencia (<math>\text{mm}^3/\text{H}</math>)</b>
<b>VE</b>	80	220	0,9 $\pm$ 0,5

*Nota.* La tabla muestra los valores ideales de caudal en preinyección de inyector Siemens Continental BK2Q-9K546-AG

Los resultados de este test se observa los valores obtenidos en la prueba de pre-inyección (VE), donde se tiene una presión de 80 Mpa con un Ancho de pulso de 220  $\mu\text{s}$  con un valor de referencia de 0,9 $\pm$ 0,5  $\text{mm}^3/\text{H}$ .

**Tabla 30**

*Valores ideales de caudal en pre-inyección del inyector Bosch Piezoeléctrico 0445115045*

<b>Paso de test</b>	<b>Presión (bar)</b>	<b>Ancho de pulso (<math>\mu\text{s}</math>)</b>	<b>Valor de referencia (<math>\text{mm}^3/\text{H}</math>)</b>
<b>VE</b>	1200	185	2,2 $\pm$ 1,5

*Nota.* La tabla muestra los valores ideales de caudal en pre-inyección de inyector Bosch Piezoeléctrico 0445115045

Los resultados de este test se observa los valores obtenidos en la prueba de pre-inyección (VE), donde se tiene una presión de 120 Mpa con un Ancho de pulso de 185  $\mu\text{s}$ , con un valor de referencia de 2,2 $\pm$ 1,5 ( $\text{mm}^3/\text{H}$ ).

## **Análisis de resultado**

En los inyectores se realizó comprobaciones en el banco de prueba KOMTEST, se analiza las 6 pruebas que dispone este banco.

### ***TEST 0: Estanqueidad***

En los resultados se observó que se le sometió al inyector a una presión de 1800 bar. En los resultados se observó que se le sometió al inyector a una presión de 1600 bar con 1500 rpm, donde nos dio una inyección de  $4.3 \text{ (mm}^3/\text{Hub)}$ , esto nos quiere decir que el inyector no presenta ningún tipo de fuga en la tobera y cumple con los parámetros de funcionamiento establecido por el banco de pruebas.

### ***TEST 1: Plena carga***

Se observa en los resultados que al inyector se les sometió a 1500 bar con 1000 rpm con pulsos de  $750 \mu\text{s}$ , donde la tolerancia mínima que nos da es de  $5 \text{ mm}^3/\text{Hub}$  a  $15 \text{ mm}^3/\text{Hub}$ , dando como resultado una inyección de  $48.3 \text{ mm}^3/\text{Hub}$ , esto nos quiere decir que al momento de armar en el motor el inyector va a cumplir con la inyección en los parámetros establecidos por el banco y esto no daría ningún problema en el rendimiento del motor.

### ***TEST 2: Emisiones***

En esta prueba se le sometió al inyector a 1000 bar con 1250 rpm con pulsos de  $650 \mu\text{s}$ , donde la tolerancia mínima que se observa es de  $4 \text{ mm}^3/\text{Hub}$ , esto no da valor de emisiones ya que el inyector se encuentra en buenas condiciones y esto es muy bueno para el motor ya que no produce tantos contaminantes para el medio ambiente.

### ***TEST 3: Ralentí***

En esta prueba se le sometió al inyector a 250 bar con 1300 rpm con pulsos de  $470 \mu\text{s}$ , donde la tolerancia mínima que se observa es de  $2 \text{ mm}^3/\text{Hub}$ , hasta una tolerancia máxima de

4.8  $mm^3/Hub$ , se tiene una inyección de 3.3  $mm^3/Hub$  a 4.8  $mm^3/Hub$ , esto cumple con los parámetros establecidos por el banco de pruebas ya que si presentara alguna anomalía el motor en estos rangos podría apagarse y no se mantendría prendido.

#### **TEST 4: Preinyección**

En esta prueba se le sometió al inyector a 700 bar con 1600 rpm con pulsos de 150  $\mu s$ , donde la tolerancia mínima que se observa es de 2.8  $mm^3/Hub$ , hasta una tolerancia máxima de 0  $mm^3/Hub$ , se tiene una inyección de 2.4  $mm^3/Hub$  a 0  $mm^3/Hub$ , donde la preinyección cumple con los parámetros del banco, si esto no estuviera de acuerdo con esto si fueran valores altos o bajos, se procedería a realizar sus calibraciones correspondientes.

#### **TEST 5: Emisiones**

En esta prueba se le sometió al inyector a 900 bar con 1250 rpm con pulsos de 500  $\mu s$ , donde la tolerancia mínima que se observa es de 28.4  $mm^3/Hub$ , hasta una tolerancia máxima de 0  $mm^3/Hub$ , se tienen una inyección de 27.8  $mm^3/Hub$  a 0  $mm^3/Hub$ . Estos parámetros se encuentran alineados con los resultados predefinidos por el banco de pruebas. En caso de que estos valores no cumplan con los estándares requeridos, podría resultar en emisiones de gases contaminantes más elevadas, lo cual tendría un impacto negativo en el medio ambiente Informe de reparación, calibración y puesta a punto de inyectores.

#### **Proceso en el banco de pruebas para inyector Siemens Continental BK2Q-9K546-AG**

La configuración que se realiza en el banco de pruebas es para verificar si se ha calibrado bien los componentes internos del inyector, para eso se debe configurar al banco en Siemens piezo como se puede observar en la figura.

**Figura 67**

*Configuración del banco de pruebas KOMTEST 2400 en la opción de Siemens Piezo*



*Nota.* Se observa que se ha configurado el banco a la opción de siemens antes de empezar la comprobación.

Se procede a conectar todas las tuberías al inyector para iniciar la fase de comprobación. Sin embargo, es esencial verificar previamente que las tuberías no presenten fugas. Esta precaución se toma con el propósito de evitar el desperdicio de líquido de la máquina cuando el inyector entre en funcionamiento.

**Figura 68**

*Inyector instalado en banco de pruebas*



*Nota.* Se observa al inyector conectado al banco de pruebas.

Cuando entra en funcionamiento el banco de pruebas se toma en cuenta la temperatura, ya que el resultado difiere del real esperado.

**Tabla 31**

*Parámetros de temperatura del banco de pruebas KOMTEST 2400*

<b>Tempe of tank</b>	<b>35 °C</b>
<b>Tempo f Back</b>	<b>44 °C</b>

*Nota.* Con esta temperatura se le realiza las comprobaciones en el banco de pruebas.

Tras las verificaciones realizadas por el equipo, se identificó un inconveniente en la prueba de ralentí. Este problema parece originarse en la arandela presente en la tobera, la cual podría estar posicionada demasiado alta. Una solución sería reemplazarla por una arandela de menor altura. No obstante, resolver esta cuestión requeriría repetir todo el proceso de calibración. Al lograrlo, el inyector podría ser sometido nuevamente a las pruebas en el banco, con la expectativa de superar exitosamente todas las pruebas. Una vez completadas, se procedería a realizar las pruebas finales en el vehículo.

Las pruebas ejecutadas por el banco de pruebas abarcan la comprobación del inyector en condiciones de estanqueidad, plena carga, emisiones, ralentí, preinyección y emisiones.

**Tabla 32**

*Reporte de pruebas del banco de prueba KOMTEST Inyector Siemens BK2Q-9K546-AG*

<b>PRESS BAR</b>	<b>RPM d/d</b>	<b>PULSE μS</b>	<b>NORMAL (mm<sup>3</sup>/ Hub)</b>	<b>± (mm<sup>3</sup>/ Hub)</b>	<b>1. INJEC (mm<sup>3</sup>/ Hub)</b>
<b>1600</b>	1500	0	0	0	0.0
			10.0	10.0	4.3
<b>1500</b>	1000	750	49.8	5.0	48.3
			30.0	15.0	23.0
<b>1000</b>	1250	650	38.0	4.0	0.0

<b>PRESS BAR</b>	<b>RPM d/d</b>	<b>PULSE <math>\mu S</math></b>	<b>NORMAL (<math>mm^3 /</math> <i>Hub</i>)</b>	<b><math>\pm</math> (<math>mm^3 /</math> <i>Hub</i>)</b>	<b>1. INJEC (<math>mm^3 /</math> <i>Hub</i>)</b>
			0	0	0.0
<b>250</b>	1300	470	5.6	2.0	3.3
			6.0	4.0	4.8
<b>700</b>	1600	150	2.8	1.0	2.4
			0	0	0.0
<b>900</b>	1250	500	28.4	3.0	27.8
			0	0	0

*Nota.* Resultados obtenidos en el banco de pruebas KOMTEST 2400

### ***Proceso al banco de pruebas del inyector Bosch Piezoeléctrico 0445115045***

En la prueba que se realizó en el inyector Bosch, fue en instalar el inyector en el banco, tomando en cuenta las conexiones de cañerías, se debe tomar en cuenta que debe quedar bien ajustado para evitar fugas del líquido del banco durante las verificaciones del inyector.

### **Tabla 33**

*Parámetros de temperatura para funcionamiento del banco de pruebas KOMTEST 2400*

<b>Tempe of tank</b>	34 °C
<b>Tempo f Back</b>	34 °C

*Nota.* Con esta temperatura se le realiza las comprobaciones en el banco de pruebas.

En la siguiente tabla se representa el reporte de pruebas, el inyector se encuentra dentro de los rangos de funcionamiento del banco de pruebas KOMTEST 2400, esta apto para la instalación en el vehículo.

**Tabla 34**

Reporte de pruebas del banco de prueba KOMTEST 2400 del inyector Bosch Piezoeléctrico

0445115045

<b>PRESS (bar)</b>	<b>RPM</b>	<b>PULSE</b>	<b>NORMAL</b>	<b>±</b>	<b>1. INJEC</b>
	<b>d/d</b>	<b>µS</b>	<b>(mm<sup>3</sup> / Hub)</b>	<b>(mm<sup>3</sup> / Hub)</b>	<b>(mm<sup>3</sup> / Hub)</b>
<b>300</b>	1000	2500	65.0 0	35.0 0	61.0 0.0
<b>1600</b>	1000	595	47.9 11.0	6.5 4.0	48.0 11.2
<b>800</b>	1100	520	19.9 0	4.3 0	19.0 0.0
<b>300</b>	1350	550	4.2 0	2.7 0	4.1 0.0
<b>1200</b>	1600	185	2.2 0	1.5 0	2.2 0.0
<b>800</b>	1100	520	19.9 0	4.3 0	18.8 0

*Nota.* Resultados obtenidos en el banco de pruebas.

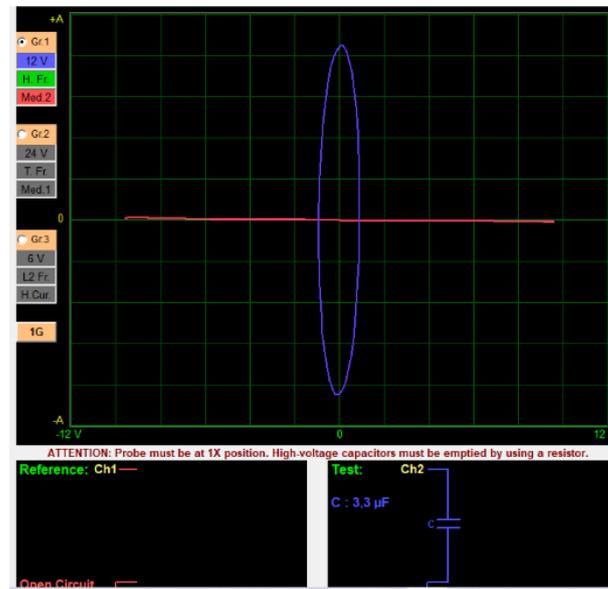
En los reportes se observa que el inyector Siemens presenta una pequeña variación en el ralentí, esto es debido a que la arandela no es la adecuada, esto se cambia y de nuevo se realiza las calibraciones correspondientes, en el caso del inyector Bosch, este se encuentra en buenas condiciones, es decir que está en los rangos de funcionamiento y estaría listo para montar en el vehículo.

#### **Análisis de las pruebas eléctricas del inyector**

Tomando en cuenta que un actuador piezoeléctrico se comporta como un condensador, se puede analizar el componente con un trazador, el mismo que graficará un circuito equivalente con relación al voltaje y corriente de funcionamiento.

Figura 69

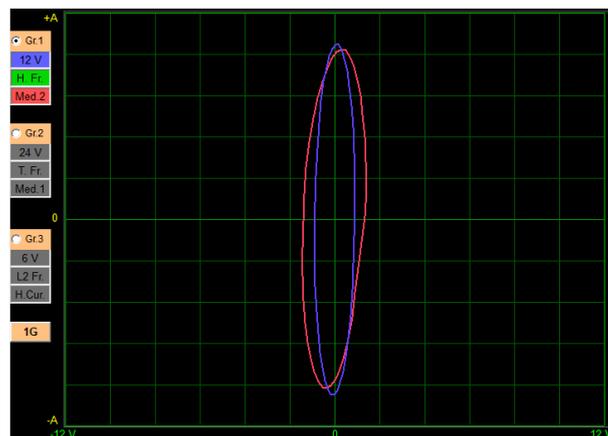
Gráfica de Lissajous del actuador piezoeléctrico



*Nota.* La gráfica muestra la curva característica de un inyector

Figura 70

Gráfica de comparación del actuador piezoeléctrico Siemens y Bosch



*Nota.* En la imagen se puede observar un desfase debido a que un actuador posee una resistencia de seguridad.

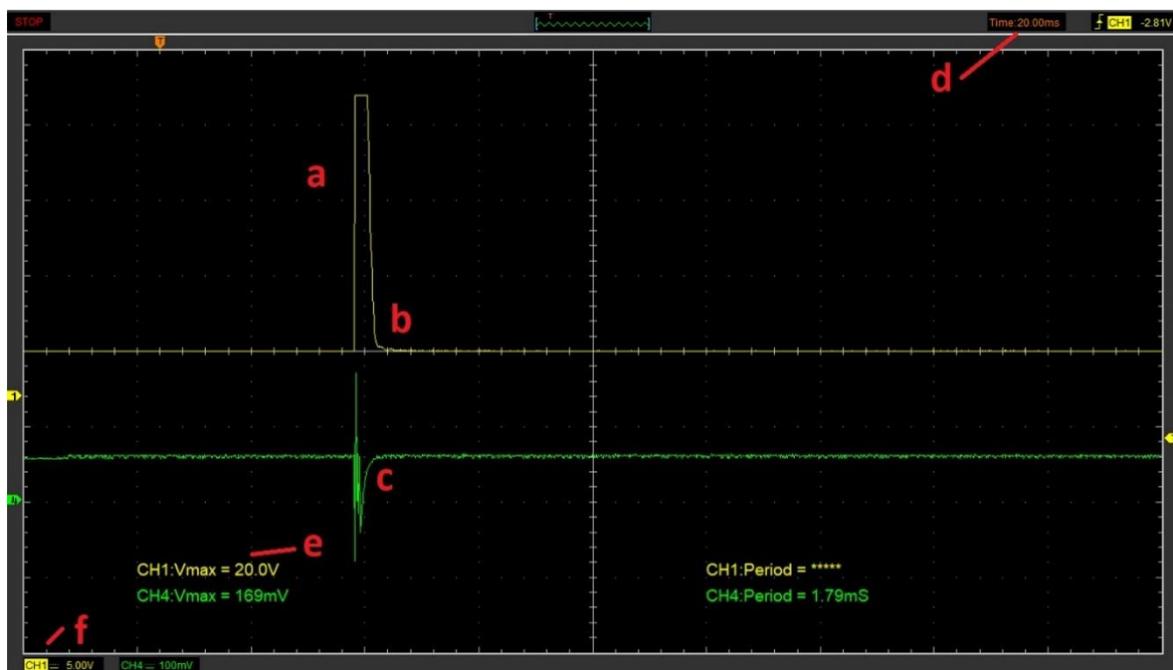
## Oscilogramas de voltaje y corriente

El voltaje de activación va de acuerdo con el tiempo de inyección que se realice en la prueba, esto a medida que hay un aumento de voltaje de activación hay una disminución y de la misma forma el voltaje de retención.

En los siguientes oscilogramas se van a identificar cada una de las partes que contiene una onda de acuerdo con las pruebas que se va a realizar a continuación:

**Figura 71**

*Oscilograma de voltaje y corriente de inyector piezoeléctrico Siemens VDO Continental*



*Nota.* Partes del oscilograma de los voltajes del inyector Siemens VDO Continental BK2Q-9K546-AG

En la figura se detalla las partes que tiene el oscilograma para el inyector.

- Voltaje de activación (a), al momento que se pulsa esta opción messare, se observara el valor que aparece en pantalla.
- Voltaje de retención de descarga (b).

- Tiempo de retención (c).
- Calibración que nos permite realizar en el osciloscopio para el eje de tiempo, en este caso corresponde a 2000 ms (d).
- Es el periodo que da la pinza amperimétrica al momento de las mediciones (e).
- Es la calibración que permite realizar el osciloscopio para el eje del voltaje, en este caso corresponde a 5 voltios y 100 mV (f).

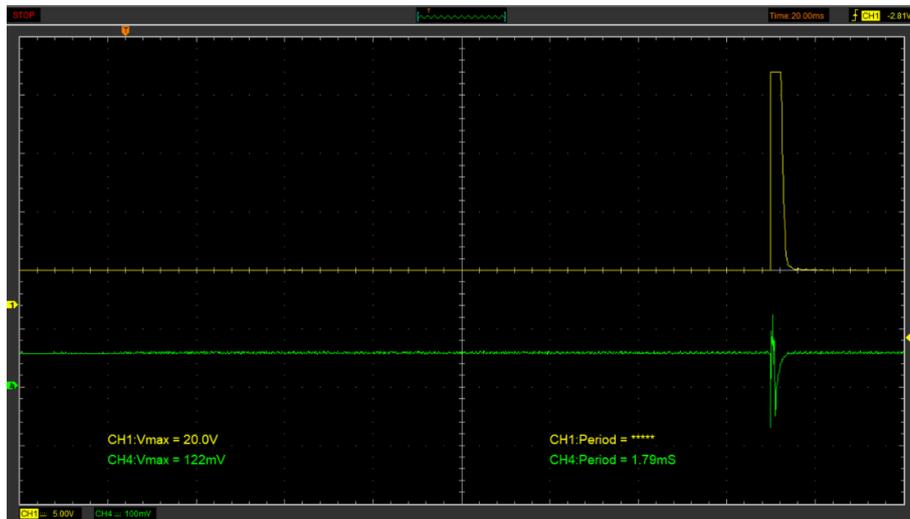
En los siguientes oscilogramas se presentará el voltaje y la corriente de las pruebas que se le realizó al inyector de acuerdo con los pulsos y la presión que se configuro en el banco de pruebas, cabe mencionar que para estas graficas comparten una similitud en todas sus formas, lo que permite establecer una gráfica modelo, esto se va a diferenciar de acuerdo con el tiempo de inyección que se le establezca en cada prueba.

***Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 1 ms, inyector piezoeléctrico Siemens VDO Continental BK2Q-9K546-AG***

En los siguientes oscilogramas de voltaje y corriente se los obtuvo variando los pulsos de inyección a 1 ms, la presión de trabajo que se les aplico y los STRK además de la calibración del osciloscopio se la especifico en 2000  $\mu$ s para eje de las abscisas.

Figura 72

*Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 1 ms*



*Nota.* Oscilograma de voltaje y corriente, con el tiempo de inyección de 1 ms con 500 strock.

En la figura, la curva de color amarillo representa el voltaje de activación del inyector con un valor de 20 v, el periodo de la pinza amperimétrica esta con un valor de 1.79 ms, se recalca que el voltaje de activación no varía cuando se modifica el número de strock o presión.

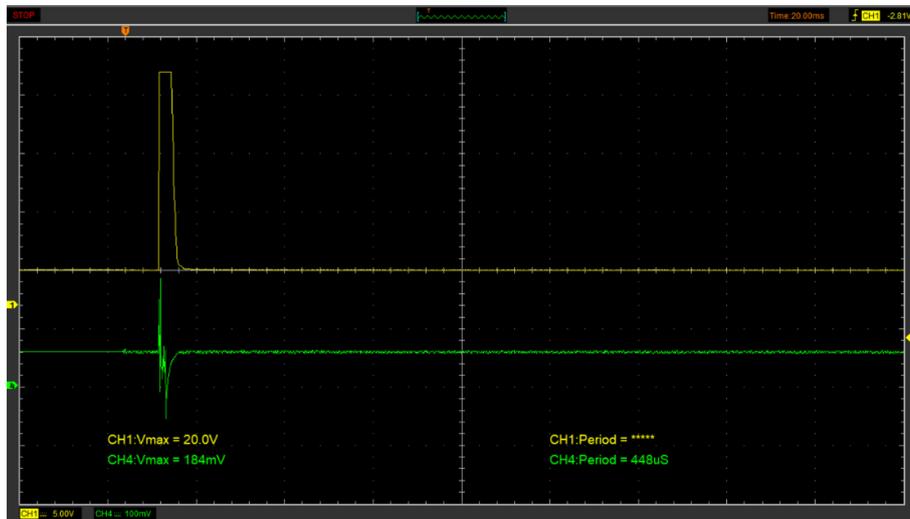
***Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 1.5 ms, inyector piezoeléctrico***

***Siemens VDO Continental BK2Q-9K546-AG***

En el siguiente oscilograma se obtuvo variando los pulsos de inyección a 1.5 ms, con una presión de 400 bar y el número de strock estaba en los 500. El osciloscopio se trabajó con una escala de 2000 ms y 5 v para el eje de las ordenadas.

Figura 73

*Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 1.5 ms*



*Nota.* Oscilograma de voltaje y corriente, con el tiempo de inyección de 1.5 ms con 500 strock.

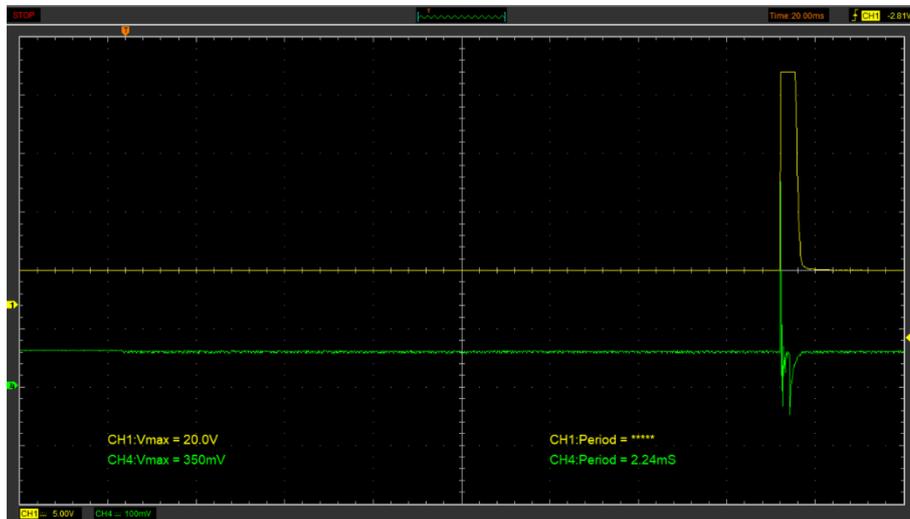
En la figura, la curva de color amarillo representa el voltaje de activación del inyector con un valor de 20 v, el periodo de la pinza amperimétrica esta con un valor de 448  $\mu$ s, se recalca que el voltaje de activación no varía cuando se modifica el número de strock o presión.

***Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 2 ms, inyector piezoeléctrico Siemens VDO Continental BK2Q-9K546-AG***

En el siguiente oscilograma se obtuvo variando los pulsos de inyección a 2 ms, con una presión de 400 bar y el número de strock estaba en los 500. El osciloscopio se trabajó con una escala de 2000 ms y 5 v para el eje de las ordenadas.

Figura 74

*Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 2 ms*



*Nota.* Oscilograma de voltaje y corriente, con el tiempo de inyección de 2 ms con 500 strock.

En la figura, la curva de color amarillo representa el voltaje de activación del inyector con un valor de 20 v, el periodo de la pinza amperimétrica esta con un valor de 2.24 ms, se recalca que el voltaje de activación no varía cuando se modifica el número de strock o presión.

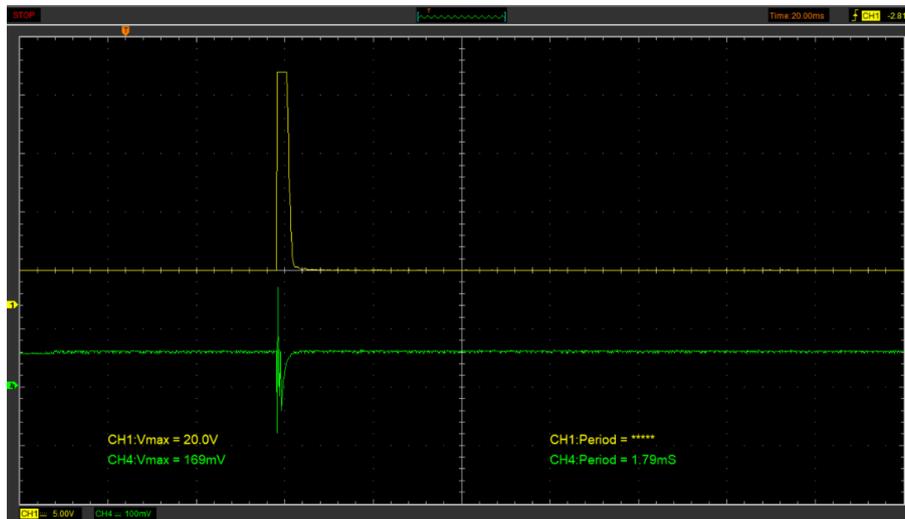
### ***Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 1 ms, inyector piezoeléctrico Siemens***

#### **VDO Continental BK2Q-9K546-AG**

En el siguiente oscilograma se obtuvo variando los pulsos de inyección a 2 ms, con una presión de 400 bar y el número de strock estaba en los 300. El osciloscopio se trabajó con una escala de 2000 ms y 5 v para el eje de las ordenadas.

Figura 75

*Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 1 ms*



*Nota.* Oscilograma de voltaje y corriente, con el tiempo de inyección de 1 ms con 300 strock

En la figura, la curva de color amarillo representa el voltaje de activación del inyector con un valor de 20 v, el periodo de la pinza amperimétrica esta con un valor de 1.79 ms, se recalca que el voltaje de activación no varía cuando se modifica el número de strock o presión.

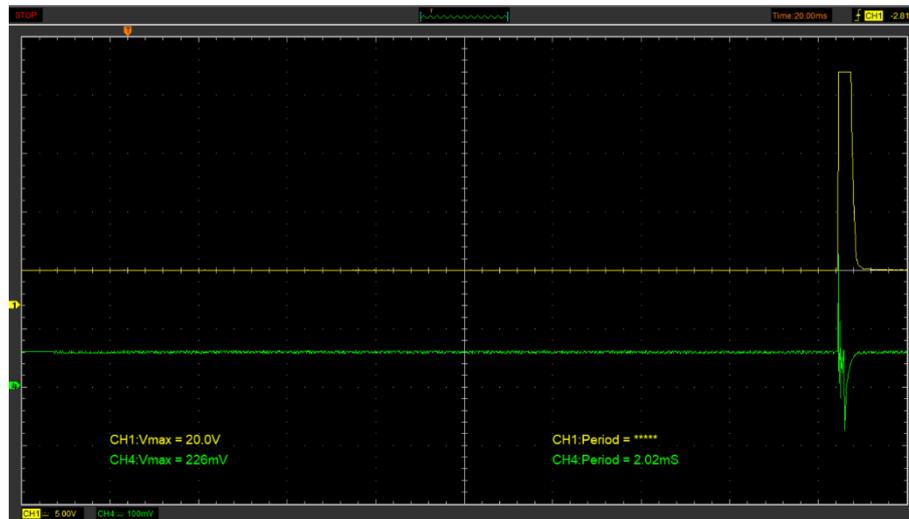
### ***Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 1.5 ms, inyector piezoeléctrico***

#### **Siemens VDO Continental BK2Q-9K546-AG**

En el siguiente oscilograma se obtuvo variando los pulsos de inyección a 1.5 ms, con una presión de 400 bar y el número de strock estaba en los 300. El osciloscopio se trabajó con una escala de 2000 ms y 5 v para el eje de las ordenadas.

Figura 76

*Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 1.5 ms*



*Nota.* Oscilograma de voltaje y corriente, con el tiempo de inyección de 1.5 ms con 300 strock

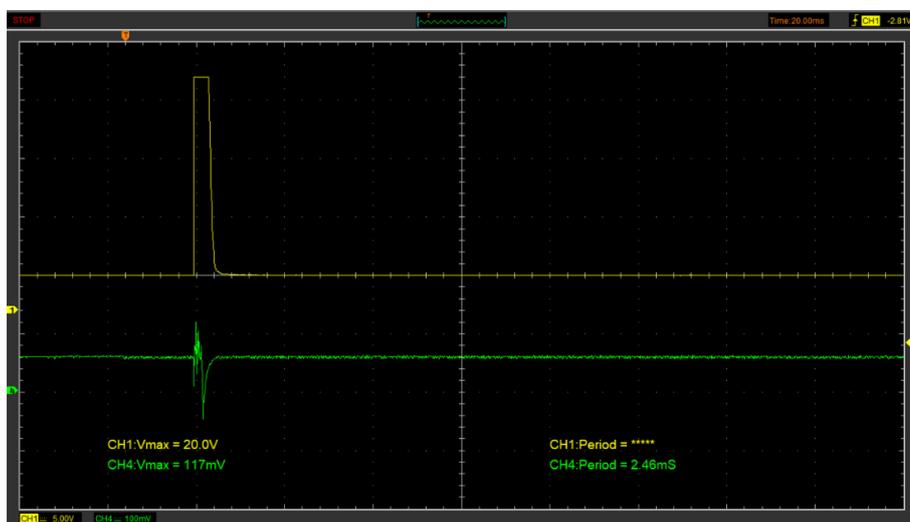
En la figura, la curva de color amarillo representa el voltaje de activación del inyector con un valor de 20 v, el periodo de la pinza amperimétrica esta con un valor de 2.02 ms, se recalca que el voltaje de activación no varía cuando se modifica el número de strock o presión.

***Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 2 ms, inyector piezoeléctrico Siemens VDO Continental BK2Q-9K546-AG***

En el siguiente oscilograma se obtuvo variando los pulsos de inyección a 1.5 ms, con una presión de 400 bar y el número de strock estaba en los 300. El osciloscopio se trabajó con una escala de 2000 ms y 5 v para el eje de las ordenadas.

Figura 77

Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 2 ms



*Nota.* Oscilograma de voltaje y corriente, con el tiempo de inyección de 2 ms con 300 strock

En la figura, la curva de color amarillo representa el voltaje de activación del inyector con un valor de 20 v, el periodo de la pinza amperimétrica esta con un valor de 2.46 ms, se recalca que el voltaje de activación no varía cuando se modifica el número de strock o presión.

En la siguiente tabla se va a mostrar los datos obtenidos de los oscilogramas del inyector piezoeléctrico siemens continental BK2Q-9K546-AG

Tabla 35

*Datos de los oscilogramas obtenidos en las pruebas de voltaje y corriente del inyector piezoeléctrico Siemens VDO Continental BK2Q-9K546-AG*

Nº Prueba	Tiempo de inyección (ms)	Numero de inyecciones (Strock)	Voltaje de activación (V)	Corriente de activación (A)
1	1	300	20	1.69
2	1.5	300	20	2.26
3	2	300	20	1.17

N° Prueba	Tiempo de inyección (ms)	Numero de inyecciones (Strock)	Voltaje de activación (V)	Corriente de activación (A)
4	1	500	20	1.22
5	1.5	500	20	1.84
6	2	500	20	3.5

*Nota.* Tabulación de las características eléctricas del inyector siemens continental BK2Q-9K546-AG a presión de 500 bar, 300 Strock y tiempos de inyección de (1, 1.5, 2) ms.

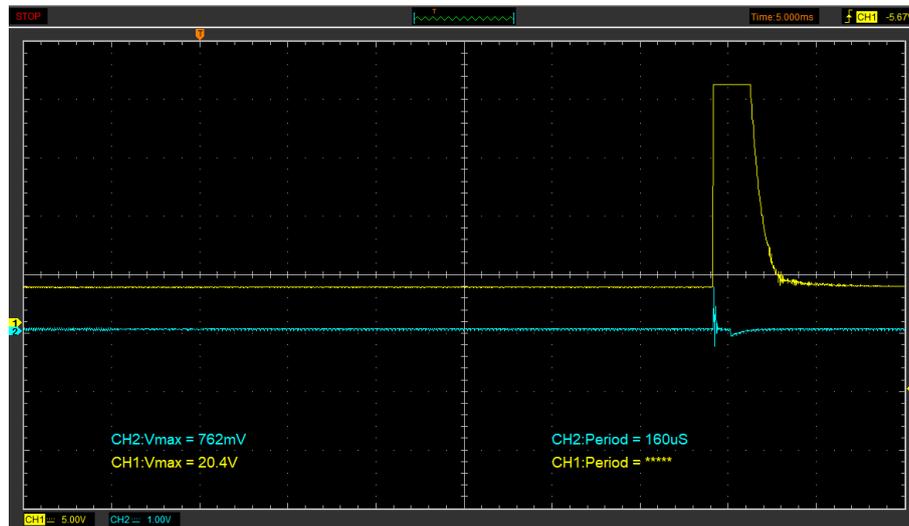
En la tabla los valores que se obtuvo en las mediciones mediante la variación de los STRK y el tiempo de inyección a las respectivas presiones muestran que el valor máximo de la corriente de activación es de 20 V y la corriente de activación va cambiando debido que está conectado a una pinza amperimétrica.

***Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 1 ms, inyector piezoeléctrico Bosch 0445115 045***

En el siguiente oscilograma se obtuvo variando los pulsos de inyección a 1 ms, con una presión de 500 bar y el número de strock estaba en los 500. El osciloscopio se trabajó con una escala de 2000 ms y 5 v para el eje de las ordenadas.

Figura 78

Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 1 ms



*Nota.* Oscilograma de voltaje y corriente, con el tiempo de inyección de 1 ms con 500 strock

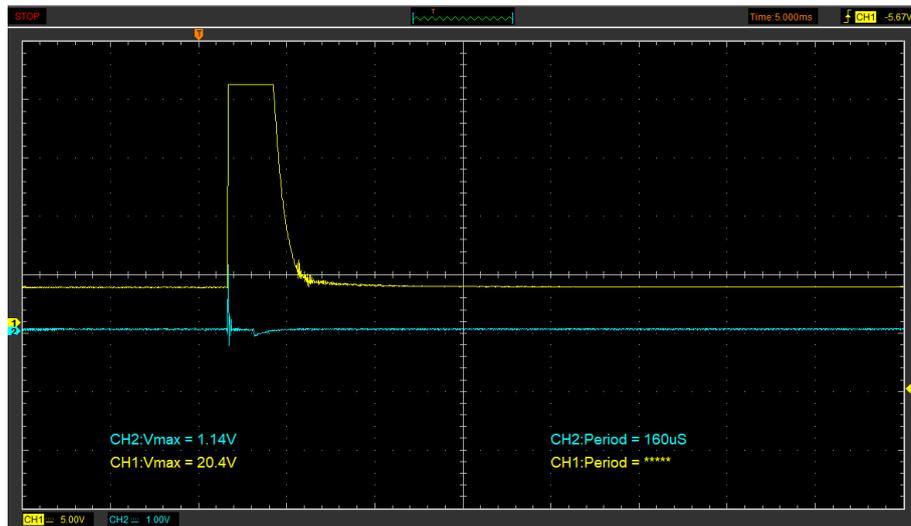
En la figura, la curva de color amarillo representa el voltaje de activación del inyector con un valor de 20.4 v, el periodo de la pinza amperimétrica esta con un valor de 160 µs, se recalca que el voltaje de activación no varía cuando se modifica el número de strock o presión.

***Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 1.5 ms, inyector piezoeléctrico Bosch 0445115 045***

En el siguiente oscilograma se obtuvo variando los pulsos de inyección a 1.5 ms, con una presión de 500 bar y el número de strock estaba en los 500. El osciloscopio se trabajó con una escala de 5000 ms y 5 v para el eje de las ordenadas.

Figura 79

*Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 1.5 ms*



*Nota.* Oscilograma de voltaje y corriente, con el tiempo de inyección de 1.5 ms con 500 strock

En la figura, la curva de color amarillo representa el voltaje de activación del inyector con un valor de 20.4 v, el periodo de la pinza amperimétrica esta con un valor de 160  $\mu$ s, se recalca que el voltaje de activación no varía cuando se modifica el número de strock o presión.

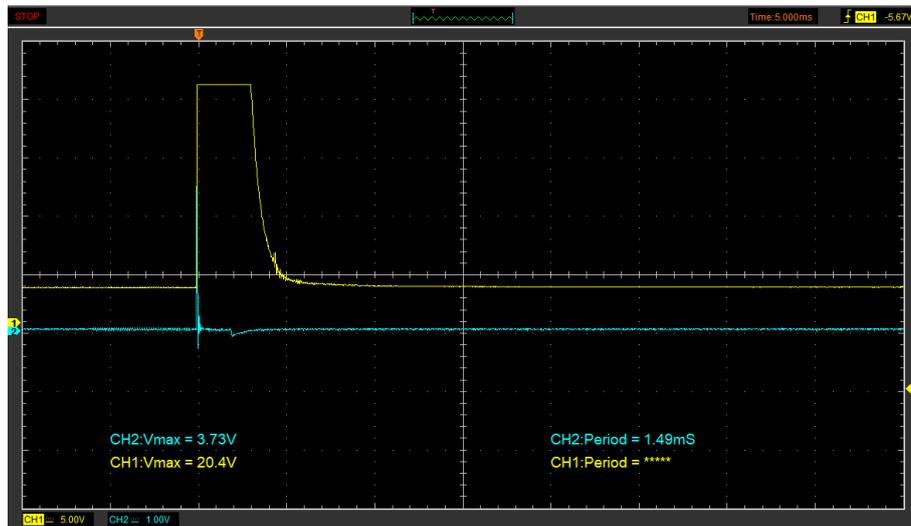
***Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 2 ms, inyector piezoeléctrico Bosch***

***0445115 045***

En el siguiente oscilograma se obtuvo variando los pulsos de inyección a 2 ms, con una presión de 500 bar y el número de strock estaba en los 500. El osciloscopio se trabajó con una escala de 5000 ms y 5 v para el eje de las ordenadas.

Figura 80

Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 2 ms



*Nota.* Oscilograma de voltaje y corriente, con el tiempo de inyección de 2 ms con 500 strock

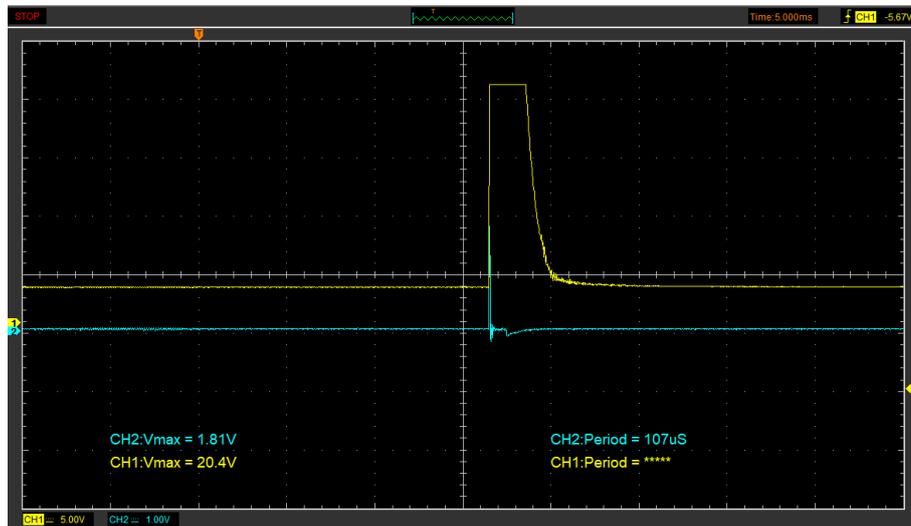
En la figura, la curva de color amarillo representa el voltaje de activación del inyector con un valor de 20.4 v, el periodo de la pinza amperimétrica esta con un valor de 1.49 ms, se recalca que el voltaje de activación no varía cuando se modifica el número de strock o presión.

***Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 1 ms, inyector piezoeléctrico Bosch 0445115 045***

En el siguiente oscilograma se obtuvo variando los pulsos de inyección a 1 ms, con una presión de 500 bar y el número de strock estaba en los 300. El osciloscopio se trabajó con una escala de 5000 ms y 5 v para el eje de las ordenadas.

Figura 81

Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 1 ms



*Nota.* Oscilograma de voltaje y corriente, con el tiempo de inyección de 1 ms con 300 strock

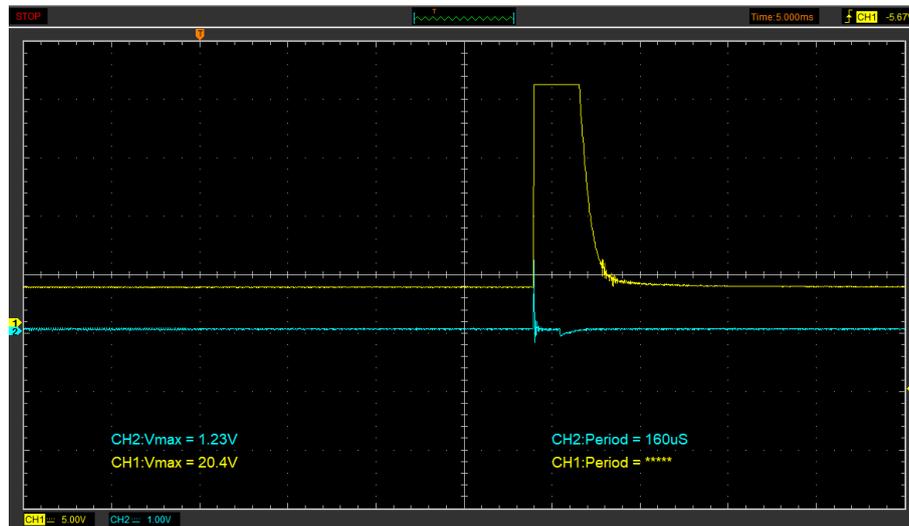
En la figura, la curva de color amarillo representa el voltaje de activación del inyector con un valor de 20.4 v, el periodo de la pinza amperimétrica esta con un valor de 107  $\mu$ s, se recalca que el voltaje de activación no varía cuando se modifica el número de strock o presión.

***Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 1.5 ms, inyector piezoeléctrico Bosch 0445115 045***

En el siguiente oscilograma se obtuvo variando los pulsos de inyección a 1.5 ms, con una presión de 500 bar y el número de strock estaba en los 300. El osciloscopio se trabajó con una escala de 5000 ms y 5 v para el eje de las ordenadas.

Figura 82

Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 1.5 ms



*Nota.* Oscilograma de voltaje y corriente, con el tiempo de inyección de 1.5 ms con 300 strock

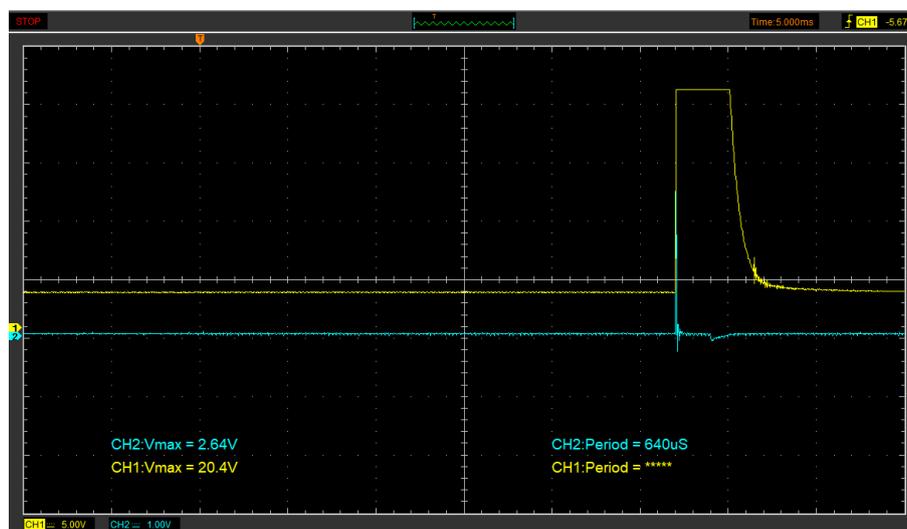
En la figura, la curva de color amarillo representa el voltaje de activación del inyector con un valor de 20.4 v, el periodo de la pinza amperimétrica esta con un valor de 160 µs, se recalca que el voltaje de activación no varía cuando se modifica el número de strock o presión.

***Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 2 ms, inyector piezoeléctrico Bosch 0445115 045***

En el siguiente oscilograma se obtuvo variando los pulsos de inyección a 2 ms, con una presión de 500 bar y el número de strock estaba en los 300. El osciloscopio se trabajó con una escala de 5000 ms y 5 v para el eje de las ordenadas.

Figura 83

Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 2 ms



*Nota.* Oscilograma de voltaje y corriente, con el tiempo de inyección de 2 ms con 300 strock

En la figura, la curva de color amarillo representa el voltaje de activación del inyector con un valor de 20.4 v, el periodo de la pinza amperimétrica esta con un valor de 640  $\mu$ s, se recalca que el voltaje de activación no varía cuando se modifica el número de strock o presión.

En la siguiente tabla se va a mostrar los datos obtenidos de los oscilogramas del inyector:

Tabla 36

*Datos de los oscilogramas obtenidos en las pruebas de voltaje y corriente del inyector piezoeléctrico Bosch 0445115 045*

N° Prueba	Tiempo de inyección (ms)	Numero de inyecciones (Strock)	Voltaje de activación (V)	Corriente de activación (A)
1	1	300	20.4	18.1
2	1.5	300	20.4	12.3
3	2	300	20.4	26.4
4	1	500	20.4	7.62
5	1.5	500	20.4	11.4

<b>N° Prueba</b>	<b>Tiempo de inyección (ms)</b>	<b>Numero de inyecciones (Strock)</b>	<b>Voltaje de activación (V)</b>	<b>Corriente de activación (A)</b>
6	2	500	20.4	37.3

*Nota.* Tabulación de las características eléctricas del inyector piezoeléctrico Bosch 0445115 045 a presión de 500 bar, 300 Strock y tiempos de inyección de (1, 1.5, 2) ms.

En la tabla los valores que se obtuvo en las mediciones mediante la variación de los STRK y el tiempo de inyección a las respectivas presiones, muestran que el valor máximo de la corriente de activación es de 20.4 V y la corriente de activación va cambiando debido que está conectado a una pinza amperimétrica.

## Capítulo IV

### Marco administrativo

Para la ejecución de esta investigación se tomó en cuenta diversos aspectos administrativos tales como, el financiamiento, uso de herramientas, visita a laboratorios especializados que complementaran los conocimientos para el desarrollo del proyecto.

#### Recursos

Para el desarrollo del presente proyecto se tomaron en cuenta los recursos tecnológicos, recursos humanos, recursos materiales con la finalidad de facilitar la investigación, dichos recursos garantizan la posibilidad de ejecutar correctamente este proyecto.

#### *Recursos humanos*

Los recursos humanos son la parte fundamental del proyecto, aquí se toma en cuenta las destrezas de las personas participantes para el desarrollo del mismo, estas personas aportaron ideas y conocimiento necesarios para el desarrollo del proyecto.

**Tabla 37**

#### *Recursos humanos*

<b>Descripción</b>	<b>Función</b>
<b>Almache Cristian</b>	Investigador
<b>Ojeda Marcos</b>	Investigador
<b>Ing. Germán Erazo</b>	Colaborador científico

#### *Recursos tecnológicos*

Los recursos tecnológicos influyen en la búsqueda necesaria de información como fuente principal para el desarrollo de la investigación, se detallan a continuación una lista de los equipos usados.

Tabla 38

*Recursos tecnológicos*

Descripción	Cantidad	Costo
Banco de pruebas KOMTEST 2400	1	\$200
Banco de pruebas VNP 300	1	\$200
Banco de calibración piezoeléctrico	1	\$50
Osciloscopio Hantek 100C (Rentado)	2	\$20
Multímetro automotriz TRISCO DA-830 (Rentado)	1	\$20
Compresor de aire de 4HP(Rentado)	1	\$20
Reloj palpador (Rentado)	2	\$10
Kit de herramientas de desarmado de inyectores multimarca.	1	\$50
Pinza amperimétrica (Rentado)	1	\$10
Trazador FADOS9F1 (Rentado)	1	\$20
	<b>TOTAL</b>	<b>\$600</b>

*Recursos materiales*

Tabla 39

*Recursos materiales*

Descripción	Cantidad	Costo
Cables de conexión	---	\$20
Inyectores piezoeléctricos siemens VDO Continental (BK2Q-9K546-AG) y Bosch (445115045)	2	\$200
Viscor		\$70
	<b>TOTAL</b>	<b>\$290</b>

**Recursos de apoyo****Tabla 40***Recursos de apoyo.*

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo</b>
<b>Proceso de calibración e inducción</b>	2	\$160
	<b>TOTAL</b>	<b>\$160</b>

**Análisis de costos del proyecto de investigación.****Tabla 41***Costos totales del proyecto de investigación*

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo</b>
<b>Recursos tecnológicos</b>	1	\$600
<b>Recursos materiales</b>	1	\$290
<b>Recurso de apoyo</b>	1	\$160
<b>Movilización</b>	1	\$20
<b>Imprevistos</b>	1	\$20
	<b>TOTAL</b>	<b>\$1090</b>

**Análisis costo- beneficio**

El análisis de costo-beneficio del proyecto de integración curricular permitirá evaluar la viabilidad del proyecto, considerando que los automotores impulsados por la combustión de hidrocarburos han creado un gran impacto ambiental, los grandes fabricantes de vehículos han buscado una forma de minimizar dicha contaminación. De esta manera, buscan nuevas tecnologías que permitan la dosificación más precisa y eficiente del combustible. Los inyectores CRDI son parte de una cadena de evoluciones en las que, la electrónica es su principal forma de control. En el área de vehículos motorizados Diesel, la mayor parte del parque automotor de vehículos de trabajo constan de este sistema, por lo que una investigación enfocada en el

diagnóstico electrónico, mecánico y puesta a punto de los inyectores Siemens mantiene una gran vialidad en el mercado.

## **Capítulo V**

### **Conclusiones y Recomendaciones**

#### **Conclusiones**

Se llevó a cabo el levantamiento de requerimientos que posibilitó la selección de los equipos y máquinas destinados a la verificación y diagnóstico de inyectores CRDI SIEMENS. Estos equipos permitieron simular cada una de las pruebas necesarias, así como diagnosticar posibles fallas o averías dentro del cuerpo del inyector. En la inyección electrónica CRDI, los equipos de verificación desempeñan un papel de suma importancia en cuanto a la eficiencia del trabajo, ya que contribuyen a mejorar los tiempos operativos.

Se determinó el proceso de operación, verificación y las especificaciones de los inyectores CRDI SIEMENS. Se concluyó que estos inyectores operan bajo el principio piezoeléctrico, lo que les permite dosificar el combustible diésel en múltiples inyecciones con la finalidad de mejorar el rendimiento, el consumo y reducir las emisiones al medio ambiente. Asimismo, se confirmó que estos inyectores forman parte de diferentes marcas presentes en el mercado ecuatoriano, como Peugeot, Ford y Citroën.

Se verificaron los parámetros que permiten calificar un inyector en buen estado basándose en su desempeño mecánico, ya que gran parte de su funcionamiento depende del accionamiento mecánico interno. Además, se verificó el desempeño hidráulico y electrónico, lo que permitió conocer los rangos de presión de accionamiento, voltajes y corrientes de activación.

Se desarrolló un protocolo e informe de reparación que abarcó el proceso de calibración y ajuste de los inyectores según los datos estándares de funcionamiento. Estos requerimientos fueron comparados en un banco de pruebas, lo que permitió aceptar o descartar inyectores reparados. Este informe resultante facilitó la evaluación de la viabilidad funcional de los inyectores.

## Recomendaciones

Se sugiere adquirir los manuales de fabricante correspondientes a los inyectores, particularmente los de tipo piezoeléctrico. Cada marca presenta variaciones en las especificaciones de torque aplicadas a los componentes individuales del inyector. Es evidente que un apriete incorrecto en cualquiera de estos elementos podría ocasionar fallos al someter el inyector a pruebas en el banco de ensayos, lo que potencialmente conllevaría a resultados adversos en el funcionamiento del sistema.

Se reconoce la importancia de adquirir habilidades en el manejo de las herramientas, ya que se requiere alcanzar el más alto nivel de precisión en el ensamblaje de cada uno de los componentes internos del inyector.

Se destaca la utilización de equipos contemporáneos con el propósito de llevar a cabo tareas con una mayor medida de seguridad al momento de realizar diagnósticos en casos de fallos en los inyectores. Estos equipos permiten precisar con exactitud qué componente específico está experimentando problemas, facilitando así la identificación y solución de los inconvenientes presentes.

Se hace hincapié en la importancia de emplear el equipo de protección correspondiente con el fin de prevenir posibles accidentes durante la manipulación de los equipos utilizados para el diagnóstico mecánico, así como para llevar a cabo comprobaciones eléctricas y someterlos a pruebas en el banco de ensayos.

Durante los procedimientos de desmontaje, montaje, calibración y verificación de los inyectores, es esencial manejar con cuidado las piezas internas. Evitar caídas accidentales de estas partes es crucial, ya que su pérdida puede tener consecuencias adversas. Es relevante recordar que, aparte de los posibles problemas técnicos, reemplazar estas piezas puede ser costoso y su disponibilidad puede variar según la marca. Por lo tanto, se debe tener precaución

para evitar situaciones que resulten en la pérdida de estas piezas, lo que podría afectar negativamente tanto la eficiencia como el costo del proceso.

## Bibliografía

Almendariz, C., & Naranjo, L. (20 de Enero de 2022). *Análisis electrónico y mecánico en el proceso de calibración de los inyectores de sistemas CRDI Bosch y Denso*. Obtenido de

<http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/29297>

Archilla, F. (Jueves de Octubre de 2015). *Blog Mecánicos*. Obtenido de Blog Mecánicos:

<https://www.blogmecanicos.com/2015/10/como-funciona-un-inyector-piezoelctrico.html>

Augeri, F. (Lunes de Marzo de 2011). *Cise Electrónica*. Obtenido de Cise Electrónica:

<https://www.cise.com/portal/notas-tecnicas/item/140->

AUTOTECNICA.EC. (2020). *Curso common rail, fallo en sistema de baja presión bombas de transferencia common rail*. Obtenido de

<https://www.youtube.com/watch?v=fnjcJ3HNSDo>

Bernal, J. (2008). *Electronic Diesel Injection*.

Bombón, J., & Chalco, M. (2017). *Investigación del comportamiento mecánico y electrónico del los inyectores de marca Delphi "EJBR02801D" y "EJBR04601D" del sistema de inyección crdi(Common rail diesel injection)*.

Borja, R. C., Arizala, C. H., Llaguno, N. Y., & Jiménez, A. (2019). *Diseño de kit de mantenimiento de bombas de Inyección a diésel lineal*. Obtenido de

[https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/66738832/Diseno\\_de\\_kit\\_de\\_mantenimiento\\_de\\_bombas\\_de\\_Inyeccion\\_a\\_diesel\\_lineal-libre.pdf?1619835396=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DDiseno\\_de\\_kit\\_de\\_mantenimiento\\_de\\_bombas.pdf&Expires=1691978189&Si](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/66738832/Diseno_de_kit_de_mantenimiento_de_bombas_de_Inyeccion_a_diesel_lineal-libre.pdf?1619835396=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DDiseno_de_kit_de_mantenimiento_de_bombas.pdf&Expires=1691978189&Si)

BOSCH. (2005). *Sistema de inyección diesel por acumulador*.

BOSCH. (2017). Obtenido de

[https://www.inyecciondiesel.cl/web/documentos/Sistemas\\_de\\_Inyecci%C3%B3n\\_Diesel.pdf](https://www.inyecciondiesel.cl/web/documentos/Sistemas_de_Inyecci%C3%B3n_Diesel.pdf)

Carrasco, J., & Danio, M. (2011). *Diseño y construcción de un banco de pruebas de inyector diesel tipo mecánico y electrónico*. Obtenido de

<https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/6070>

Castillejo, A. C. (2014). *Sistemas de inyección en motores diésel*.

CISE ELECTRÓNICA. (2010). *Funcionamiento de Inyectores piezoeléctricos*. Obtenido de

<http://www.cise.com/portal/notas-tecnicas/item/140-funcionamiento-de-inyectores-piezoelctricos.html>

COMMON RAIL CHILE. (sf). *INYECTOR VDO-SIEMENS*. Obtenido de

<https://www.commonrailchile.com/blog/inyector-vdo-siemens/>

CONTINENTAL. (06 de 2021). *Catálogo de Inyectores Diésel*. Obtenido de

[https://www.continental-aftermarket.com/media/4316/catalogue-continental-diesel-replacement-parts-d-gb-f-es-it-rus-6\\_2021.pdf](https://www.continental-aftermarket.com/media/4316/catalogue-continental-diesel-replacement-parts-d-gb-f-es-it-rus-6_2021.pdf)

DIGIKEY. (2023). Obtenido de <https://www.digikey.com/es/products/detail/pro-skit/MT-5211/15779944>

Eraza, G., Guangaje, E., & Murillo, L. (Diciembre de 2016). *Diagnóstico por imagen del sistema de control electrónico de inyección diésel riel común CRDI*.

FORD. (2005). *Sistema de alimentación de combustible*.

Ford. (2017). *Manual de taller de inyección common rail Ford Ranger*. Obtenido de Todo

Mecánica: <https://www.todomecanica.com/manuales/1038-ford-manual-de-taller-manual-de-inyeccion-common-rail-ford-ranger-duratorq.html>

Garibaldi, A. (Octubre de 2015). *Los nuevos motores diésel, el common rail, tecnología BOSCH.*

Obtenido de [https://www.youtube.com/watch?v=snamX1fEW\\_g](https://www.youtube.com/watch?v=snamX1fEW_g)

González, A., Mora, J., & Vargas, N. (2016). *Bomba de inyección rotativa tipo VE.*

Gonzales, A., Mora, J., & Vargas, N. (2015). *Bomba de inyección rotativa tipo VE.* Obtenido de

<https://repositorio.ecci.edu.co/bitstream/handle/001/1969/Trabajo%20de%20grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Guevara, W., & Becerra, C. (2022). *Evaluación a base de presiones de bombas de alta presión en sistemas common rail.*

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.*

Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3867/1/65T00033.pdf>

Muquinche, V., & Nicolalde, M. (2023). *Análisis de constitución y procesos de reparación de ECUs automotrices de procedencia China.*

Ordoñez, J., & Quichimbo, J. (2022). *Reconstrucción del comprobador de inyectores marca*

*Hartridge Nozzle Testmaster HH601 para el laboratorio diésel de ingeniería automotriz sede Cuenca.* Obtenido de

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22668/1/UPS-CT009811.pdf>

Parera, A. M. (1996). *Inyección electrónica en motores diésel.* Barcelona.

Passo, R., & Luna, L. (Noviembre de 2019). Obtenido de *Activación y control de inyectores diésel*

CRDI de las marcas Denso y Delphi:

<https://uctunexpo.autanabooks.com/index.php/uct/article/view/238/358>

Perez, B. O., & Sevilla, M. S. (17 de Enero de 2020). *Análisis de los procesos de calibración y puesta a punto de los inyectores bosch serie 0 445 110 250 y denso serie 23070 - 01010.*

Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/22781>

Perez, C. (2021). *Sensores en el sistema inyección diésel common rail.* Obtenido de

<https://www.youtube.com/watch?v=-x-86qpH5SE>

REDAT. (2023). *Siemens VDO Continental.* Obtenido de

[https://www.redat.com/ZenCataloghi/Siemens\\_9918061285723\\_01/?ttl=1643098982#p=1](https://www.redat.com/ZenCataloghi/Siemens_9918061285723_01/?ttl=1643098982#p=1)

Robayo, J. (2023). *Como Funciona.* Obtenido de <https://como-funciona.co/un-multimetro/>

Satander, C. (Octubre de 2013). *Inyección diesel.* Obtenido de

<https://www.youtube.com/watch?v=72X1v34vNHo&t=6s>

SDIESEL INJECTION SERVICES. (2022). Obtenido de

<https://www.dieselinjectionecuador.com/komtest>

SIEMENS. (2015). *Common rail Siemens SID 802.* Obtenido de

<https://tomasautoiessanblas.files.wordpress.com/2015/03/common-rail-siemens-sid-802-alumno-r.pdf>

SIEMENS VDO. (2017). *Inyección CR diésel.*

Simbaña, B. F. (25 de Abril de 2023). Obtenido de Identificación del estado de los inyectores

electrónicos de motores diésel a base de presiones de funcionamiento: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/14001/2/04%20MAUT%20229%20TRABAJO%20GRADO.pdf

Simbaña, F., & Bustillos, H. (2018). *Investigación del comportamiento mecánico y electrónico de los inyectores piezoeléctricos bosch del sistema de inyección crdi (common rail diesel injection) de los vehículos volkswagen amarok 2.0 y land rover freelande II 2.2.*

SPM. (sf). *Funcionamiento del sistema common rail.* Obtenido de <https://www.soloparamecanicos.com/sistema-common-rail/>

Ullauri, D. A. (2012). *Estudio de factibilidad para la construcción de un banco de pruebas para inyectores del sistema common rail Bosch.* Cuenca.

**Anexos**