



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

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

**TEMA: “INVESTIGACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO  
Y ELECTRÓNICO DE LOS INYECTORES PIEZOELÉCTRICOS  
BOSCH DEL SISTEMA DE INYECCIÓN CRDI (COMMON RAIL  
DIESEL INJECTION) DE LOS VEHÍCULOS VOLKSWAGEN  
CRAFTER 2.5 TDI HYUNDAI VERACRUZ IX55 3.0”.**

**AUTORES:**

**FLAVIO DANIEL ROBAYO CABRERA  
ALVARO SAMUEL SARABIA GUEVARA**

**DIRECTOR: ING. LUIS MENA**

**LATACUNGA**

**2018**



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

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, "INVESTIGACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y ELECTRÓNICO DE LOS INYECTORES PIEZOELÉCTRICOS BOSCH DEL SISTEMA DE INYECCIÓN CRDI (COMMON RAIL DIÉSEL INJECTION) DE LOS VEHÍCULOS VOLKSWAGEN CRAFTER 2.5 TDI HYUNDAI VERACRUZ IX55 3.0" REALIZADO POR LOS SEÑORES FLAVIO DANIEL ROBAYO CABRERA Y ÁLVARO SAMUEL SARABIA GUEVARA, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la universidad de las fuerzas armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores FLAVIO DANIEL ROBAYO CABRERA Y ÁLVARO SAMUEL SARABIA GUEVARA para que lo sustenten públicamente.

Latacunga, 12 de marzo del 2018

**Ing. Luis Mená-Navarrete**

**DIRECTOR**



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

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, **FLAVIO DANIEL ROBAYO CABRERA**, con cédula de ciudadanía N° 1721787529 Y **ÁLVARO SAMUEL SARABIA GUEVARA**, con cédula de ciudadanía N° 1600569584, declaramos que este trabajo de titulación "INVESTIGACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y ELECTRÓNICO DE LOS INYECTORES PIEZOELÉCTRICOS BOSCH DEL SISTEMA DE INYECCIÓN CRDI (COMMON RAIL DIÉSEL INJECTION) DE LOS VEHÍCULOS VOLKSWAGEN CRAFTER 2.5 TDI HYUNDAI VERACRUZ IX55 3.0" ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente aseguramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

**Latacunga, 12 de marzo del 2018**

**Flavio Daniel Robayo Cabrera**

**C.C.: 1721787529**

**Álvaro Samuel Sarabia Guevara**

**C.C.: 1600569584**



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

**AUTORIZACIÓN**

Nosotros, **FLAVIO DANIEL ROBAYO CABRERA** y **ÁLVARO SAMUEL SARABIA GUEVARA**, autorizamos a la Universidad de las fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación **"INVESTIGACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y ELECTRÓNICO DE LOS INYECTORES PIEZOELÉCTRICOS BOSCH DEL SISTEMA DE INYECCIÓN CRDI (COMMON RAIL DIÉSEL INJECTION) DE LOS VEHÍCULOS VOLKSWAGEN CRAFTER 2.5 TDI HYUNDAI VERACRUZ IX55 3.0"** cuyo contenido, ideas y criterios son nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga, 12 de marzo del 2018

**Flavio Daniel Robayo Cabrera**

**C.C.: 1721787529**

**Álvaro Samuel Sarabia Guevara**

**C.C.: 1600569584**

## DEDICATORIA

Este proyecto de titulación va dedicado a mi padre celestial “DIOS” quien, en sus infinitas manifestaciones de amor, hace diez años y siete meses me brindó la oportunidad de ser padre de un ángel puro y hermoso “JOSHUA DANIEL”, quién de ahí en adelante se ha convertido en lo más importante de mi vida y en el pilar más fuerte de apoyo para seguir cumpliendo mis objetivos propuestos.

A mi negrito bello “JOSHUA” a quien con este logro quiero mostrarle el infinito amor que le tengo, que todo el tiempo que no pude estar a su lado fue una semilla sembrada de la cual hoy cosechamos sus frutos por medio de este título.

A toda la familia Robayo Cabrera, quienes con sus palabras de aliento y apoyo incondicional han aportado significativamente para que este proyecto finalice con éxito.

En especial a mi hermanita “Angela Gabriela Robayo” quien partió al llamado de DIOS muy temprano, quien fue la que me acompañó en pensamiento en muchas noches de tareas, y por quien derrame muchas lágrimas de tristeza, se lo dedico con mucho amor donde quiera que se encuentre.

A mis padres, mamita Vicky y papá Gabicho por su apoyo sentimental, emocional y económico, a mis hermanos, Eduardo, Alejandro, Héctor, Cristian, Angelita y Alex Vásquez, por su cariño, hermandad, palabras de aliento y apoyo incondicional.

A mis queridos sobrinos, Alisson, Scarleth, Mayte, Gabriel, Nashly, Zair y Caleb Robayo, por hacerme feliz en innumerables ocasiones.

**Flavio Daniel Robayo Cabrera**

## DEDICATORIA

La presente investigación está dedicada a toda mi familia, en especial a mi padre Pedro Sarabia por enseñarme su inquebrantable voluntad de trabajo, esfuerzo y dedicación por conseguir sus metas; a mi madre Beatriz Guevara por darme sus consejos día a día, por su apoyo, su paciencia, su cariño y su amor, dedico este logro a mis hermanos ya que con esto estoy junto a ellos en la vida profesional, a mi hermano diego por haberme dado la oportunidad de obtener este logro.

Dedico este proyecto a mis amigos quienes me supieron apoyar de alguna u otra manera, haciéndome recordad que mi meta estaba cerca de cumplirla y que diera todo mi esfuerzo por ella, a esas personas que me apoyaron en buenos y malos momentos, pero aún más dedico esta investigación a mi abuelito Samuel Frías que donde sea que se encuentre me enseñó que con paciencia y bondad todo lo que me proponga lo alcanzare y gracias a esas enseñanzas lo he logrado.

**Álvaro Samuel Sarabia Guevara**

## AGRADECIMIENTO

A Dios por la tranquilidad, salud y vida que brinda a los míos y a mí, para poder cumplir con los objetivos propuestos profesionalmente.

A mi hijo amado Joshua, ya que con sus palabras, caricias, amor y locuras me ha llenado de fuerza y ánimo para todos los días levantarme feliz, motivado y con muchas ganas de seguir adelante.

A mi madrecita bella, Luz Victoria Cabrera, quien se mantuvo firme a mi lado a pesar de las adversidades y etapas difíciles que nos tocó vivir, mujer valiente, admirable, que siempre acompaña y educa a sus hijos con amor infinito.

A mi padre Ángel Robayo Niza, quien me ha inculcado que con trabajo duro y honesto se consigue muchas cosas en la vida, persona amada, quien con trabajado duro nos brindó el privilegio de estudiar a mis hermanos y a mí.

A mis hermanos Ángel, Alejandro, Héctor y Cristian, con quienes a pesar de las discusiones y peleas me han enseñado que siempre la familia es lo más importante, queriéndome y apoyándome incondicionalmente.

Agradecer infinitamente al Ing. Luis Mena Navarrete director de tesis y al Ing. Germán Erazo, quienes generosamente aportaron significativamente con su experiencia profesional para que este proyecto finalice con éxito.

A mi compañero de tesis, Álvaro Sarabia, por su apoyo incondicional en el desarrollo de esta investigación.

A los Ingenieros, Leónidas Quiroz, José Quiroz, Juan Carlos Rocha, Danilo Zambrano, Stalin Mena, con quienes, a más de tener el privilegio de compartir sus conocimientos, se pudo establecer una linda amistad.

A mis Padrinos, Salvador Cachiguago y Mercedes Lita, quienes me han brindado su cariño, respeto y han estado conmigo cuando más los he necesitado.

A mi prima Norma Chango y a toda su familia quienes me acogieron en su dulce hogar, tíos, amigos, quienes me han brindado sus palabras de motivación y un agradecimiento muy especial a la Sra. Laura Palma, quien cuidó de mi tesoro más valioso “Joshua”, mientras me ausente por mis estudios.

**Flavio Daniel Robayo Cabrera**

## AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco infinitamente a mi familia por su apoyo incondicional en este camino de ser profesional, pero sobre todo agradezco los consejos que todos supieron darme.

A mi hermosa madre por sus consejos y apoyos interminables que siempre supo decirme uno tras otro y que afronte mis acciones con valor, su espíritu de lucha incansable y a pesar de sentirse agotada no se rendía y supo poner en alto a la familia, llenando de luz nuestro hogar.

A mi padre por enseñarme que el trabajo constante y desinteresado es el que más me llena de orgullo y alegría por ese logro alcanzado de forma honrada y honesta, y por la paciencia al conseguir una meta ya que solo el tiempo te demostrara lo valioso de su esfuerzo.

Agradecer al ingeniero Luis Mena Navarrete director de esta investigación y al ingeniero Germán Erazo, ingeniero Danilo Zambrano quienes supieron compartir sus conocimientos profesionales y su asesoramiento para poder realizar este proyecto.

A todos mis amigos que supieron apoyarme y darme ánimos para continuar en la búsqueda de este logro, Flavio Robayo quien supo ser participe en esta investigación y poderla realizar juntos, a Hjalmar Méndez que supo darme su apoyo incondicional y motivarme a seguir a delante y todas esas personas muy cercanas a mí que de una u otra manera supieron ayudarme, les agradezco infinitamente.

**Álvaro Samuel Sarabia Guevara**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>PORTADA</b> .....	<b>i</b>
<b>CERTIFICACIÓN</b> .....	<b>ii</b>
<b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD</b> .....	<b>iii</b>
<b>AUTORIZACIÓN</b> .....	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xv</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>xix</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES</b> .....	<b>xx</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xxi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xxii</b>

## CAPÍTULO I

<b>1. MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Antecedentes investigativos .....	1
1.2. Planteamiento del problema .....	3
1.3. Descripción resumida del proyecto .....	4
1.4. Justificación e importancia.....	5
1.5. Objetivos .....	6
1.5.1. Objetivo general .....	6
1.5.2. Objetivos específicos .....	6
1.6. Metas .....	6
1.7. Hipótesis .....	7
1.8. Variables de investigación .....	7
1.8.1. Variables Independientes: .....	7

1.8.2.	Variables dependientes: .....	8
1.9.	Metodología de la investigación. ....	9

## **CAPÍTULO II**

<b>2.</b>	<b>SISTEMAS DE INYECCIÓN EN LOS MOTORES DIESEL .....</b>	<b>13</b>
2.1.	Sistemas common rail o de conducto común diésel. ....	13
2.1.1.	Funcionamiento de ignición en el sistema CRDI. ....	14
2.2.	Sistema de alimentación Bosch CRDI. ....	15
2.2.1	Partes del sistema de alimentación common rail. ....	15
2.3.	Control de la alimentación electrónica. ....	17
2.3.1.	Parámetros de entrada a la ECU. ....	17
2.3.2.	Parámetros de salida de la ECU. ....	17
2.4.	Fases de la alimentación del sistema (CRS). ....	18
2.4.1.	Características del sistema de alimentación Bosch .....	18
2.4.2.	Sistema de transferencia de baja presión. ....	19
2.4.3.	Sistema de alimentación de alta presión CRDI Bosch. ....	19
2.4.4.	Fases de la inyección a alta presión. ....	20
2.5.	Sistema electrónico Bosch CRDI. ....	21
2.5.1.	Estructura del sistema de control electrónico Bosch CRDI .....	21
2.6.	Sensores principales del sistema Bosch CRDI. ....	22
2.6.1.	Sensor de temperatura de combustible. ....	23
2.6.2.	Sensor de la presión del riel. ....	23
2.6.3.	Sensor de revoluciones. ....	25
2.6.4.	Sensor de posición del acelerador. ....	27
2.6.5.	Sensor de temperatura del motor. ....	28
2.7.	Sistema de recirculación de gases de escape EGR .....	29
2.8.	Riel common o acumulador de alta presión. ....	30

2.9.	Partes del Riel Common. ....	31
2.9.1.	Generalidades de la evolución del riel común. ....	31
2.9.2.	Parámetros a considerar al seleccionar el riel correcto. ....	31
2.10.	Materiales y fundamentos piezoeléctricos. ....	32
2.10.1.	Efecto Piezoeléctrico. ....	35
2.10.2.	Principio de funcionamiento de la piezoelectricidad. ....	36
2.11.	Funcionamiento del inyector Piezoeléctrico. ....	37
2.11.1.	Implementación de los inyectores piezoeléctricos en los sistemas CrDi Bosch. ....	38
2.11.2.	Conjunto porta tobera Bosch (porta inyector) ....	38
2.11.3.	Características y ventajas de las toberas Bosch ....	39
2.12.	Control electrónico en el inyector piezoeléctrico. ....	40
2.13.	Importancia de una buena pulverización del inyector Bosch. ....	41
2.13.1.	Verificación y control de los inyectores ....	41
2.13.2.	Parámetros de funcionamiento del inyector piezoeléctrico. ....	42
2.14.	Desarrollo del ciclo de la inyección. ....	43
2.14.1.	Gestión de la inyección. ....	43
2.15.	Pruebas de funcionamiento de los inyectores Piezoeléctricos. ....	45
2.16.	Ventajas de los inyectores piezoeléctricos. ....	47
2.17.	Desventajas de los inyectores piezoeléctricos. ....	48

### **CAPÍTULO III**

3.	<b>PROTOCOLO DE PRUEBAS</b> .....	49
3.1.	Equipos .....	49
3.1.1.	Osciloscopio Hantek 1008c .....	49
3.1.1.	Banco de pruebas Tester CRDI V – 3500 VNP .....	51
3.1.2.	Pinza amperimétrica Brain Bee .....	52

3.2.	Especificaciones de los inyectores CRDI Bosch .....	53
3.2.1.	Inyector CRDI Bosch 0445115045 .....	53
3.2.2.	Inyector CRDI Bosch 0445115028 .....	54
3.3.	Protocolo de montaje e instalación de los componentes .....	55
3.3.1.	Inspección previa del tester v-3500.....	55
3.3.2.	Protocolo de montaje de los inyectores .....	57
3.3.3.	Protocolo de montaje del osciloscopio Hantek en los inyectores .....	58
3.3.4.	Protocolo de instalación del osciloscopio Hantek 1008c .....	60
3.3.5.	Protocolo de instalación del USB-DRIVE .....	62
3.4.	Protocolo de extracción de los inyectores.....	64
3.5.	Pruebas mecánicas e hidráulicas – Inyectores Bosch .....	66
3.5.1.	Prueba de caudal de inyección.....	66
3.5.2.	Prueba de ángulo de pulverización .....	67
3.5.3.	Prueba de caudal de retorno .....	69
3.6.	Pruebas eléctricas – inyectores Bosch .....	70
3.6.1.	Pruebas de corriente de activación del inyector .....	70
3.6.2.	Prueba de voltaje de activación del inyector .....	70
3.6.3.	Grados de activación .....	70
3.6.4.	Protocolo para la medición de corriente de activación del inyector .....	72

## **CAPÍTULO IV**

4.	<b>RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS</b> .....	74
5.1.	Introducción .....	74
5.2.	Enumeración de partes de los inyectores .....	74
5.2.1.	Inyector piezoeléctrico Diésel Hyundai Veracruz CRDI Bosch # 0445115 045 .....	74
5.2.2.	Inyector piezoeléctrico Volkswagen Crafter CRDI Bosch # 0445115 028 .....	75

5.3.	Análisis de resultados de las pruebas mecánicas e hidráulicas .....	76
5.3.1.	Análisis de resultados a 300 bares de presión .....	76
5.3.2.	Análisis de resultados a 400 bares de presión .....	80
5.3.3.	Análisis de resultados a 500 bares de presión .....	84
5.3.4.	Análisis de resultados - Caudal de inyección a 300, 400 y 500Bar .....	88
5.3.5.	Análisis de resultados - Caudal de retorno a 300, 400 y 500Bar. ....	90
5.3.6.	Análisis de resultados - Ángulo de pulverización.....	92
5.4.	Análisis de resultados de las pruebas eléctricas. ....	95
5.4.1.	Corriente de activación de los inyectores.....	95
5.4.2.	Grados de activación del inyector Bosch 0445115 045 .....	99
5.4.3.	Grados de activación del inyector Bosch 0445115 028 .....	101
5.4.4.	Voltaje de activación de los inyectores .....	103
5.4.5.	Análisis de diagramas del inyector Bosch 0445115 045. ....	107
5.4.6.	Análisis de diagramas del inyector Bosch 0445115 028. ....	111
 <b>CAPÍTULO V</b>		
5.	<b>MARCO ADMINISTRATIVO</b> .....	117
5.1.	Recursos .....	117
5.1.1.	Recursos humanos .....	117
5.1.2.	Recursos físicos .....	118
5.1.3.	Recursos tecnológicos .....	118
5.1.4.	Recursos materiales .....	119
5.1.5.	Recursos financieros .....	119
5.2.	Análisis del costo del proyecto .....	120
5.3.	Análisis de costo – beneficio .....	120
5.4.	Cronograma.....	122
<b>CONCLUSIONES</b> .....		123

<b>RECOMENDACIONES</b> .....	126
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	128
<b>ANEXOS</b> .....	133

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Planteamiento del problema.....	4
<b>Figura 2:</b> Sistema common rail Bosch.....	13
<b>Figura 3:</b> Sistema de alimentación Bosch .....	15
<b>Figura 4:</b> Módulo de control electrónico de alimentación EDC .....	18
<b>Figura 5:</b> Sistema de alimentación de alta presión CRDI Bosch.....	20
<b>Figura 6:</b> Estructura del sistema electrónico CRDI Bosch.....	22
<b>Figura 7:</b> Sensor de temperatura de combustible.....	23
<b>Figura 8:</b> Fases de regulación de la presión de combustible .....	24
<b>Figura 9:</b> Principio de funcionamiento del sensor .....	26
<b>Figura 10:</b> Sensor de la posición del árbol de levas CMP .....	27
<b>Figura 11:</b> Figura. Sensor de posición del acelerador .....	28
<b>Figura 12:</b> Sensor de temperatura.....	28
<b>Figura 13:</b> Sistema de recirculación de gases de escape EGR .....	29
<b>Figura 14:</b> Acumulador de alta presión Rail .....	30
<b>Figura 15:</b> Evolución del riel común .....	31
<b>Figura 16:</b> Efecto piezoeléctrico .....	32
<b>Figura 17:</b> Evolución del estudio piezoeléctrico.....	34
<b>Figura 18:</b> Empresas con detalle de patentes.....	34
<b>Figura 19:</b> Funcionamiento piezoeléctrico.....	35
<b>Figura 20:</b> Principio piezoeléctrico.....	36
<b>Figura 21:</b> Principio piezoeléctrico inverso.....	37
<b>Figura 22:</b> Inyector piezoeléctrico Bosch .....	37
<b>Figura 23:</b> Porta inyectores Bosch.....	38
<b>Figura 24:</b> Tipos de toberas de inyectores Bosch.....	39
<b>Figura 25:</b> Esquema electrónico del inyector piezoeléctrico .....	40
<b>Figura 26:</b> Inyección con varios orificios de pulverización.....	41
<b>Figura 27:</b> Porta aguja del inyector crdi.....	42
<b>Figura 28:</b> Fases de la inyección de un inyector piezoeléctrico .....	43
<b>Figura 29:</b> Inyector cerrado.....	44
<b>Figura 30:</b> Inyector abierto .....	44
<b>Figura 31:</b> Final de la Inyección.....	45

<b>Figura 32:</b> Prueba de resistencia del inyector piezoeléctrico .....	47
<b>Figura 33:</b> Osciloscopio Hantek 1008C .....	49
<b>Figura 34:</b> Tester V-3500, vista isométrica derecha .....	52
<b>Figura 35:</b> Tester V-3500, vista isométrica izquierda.....	52
<b>Figura 36:</b> Pinza amperimétrica.....	53
<b>Figura 37:</b> Especificaciones del inyector Bosch 045.....	53
<b>Figura 38:</b> Especificaciones del inyector Bosch 028 .....	54
<b>Figura 39:</b> Nivel de viscor .....	55
<b>Figura 40:</b> Nivel de aceite .....	55
<b>Figura 41:</b> Liberador de presión .....	55
<b>Figura 42:</b> Cañerías de acoplamiento .....	56
<b>Figura 43:</b> Mangueras de retorno .....	56
<b>Figura 44:</b> Conectores eléctricos .....	56
<b>Figura 45:</b> Acoplador neumático .....	56
<b>Figura 46:</b> Conector de alimentación.....	57
<b>Figura 47:</b> Montaje inyector .....	57
<b>Figura 48:</b> Ajuste del inyector.....	57
<b>Figura 49:</b> Fijador del inyector.....	58
<b>Figura 50:</b> Colocación de manguera de retorno.....	58
<b>Figura 51:</b> Conexión del socket .....	58
<b>Figura 52:</b> Conexión de las agujas .....	59
<b>Figura 53:</b> Conexión de los lagartos .....	59
<b>Figura 54:</b> Conexión al osciloscopio .....	59
<b>Figura 55:</b> Interfaz del Hantek.....	59
<b>Figura 56:</b> Curva de funcionamiento .....	60
<b>Figura 57:</b> Disco de instalación del Hantek .....	60
<b>Figura 58:</b> Insertar el disco en la laptop .....	60
<b>Figura 59:</b> Ejecución de instalación .....	61
<b>Figura 60:</b> Ruta de instalación .....	61
<b>Figura 61:</b> confirmación de instalación .....	61
<b>Figura 62:</b> Instalación en proceso.....	61
<b>Figura 63:</b> Final de instalación .....	61
<b>Figura 64:</b> Conexión USB del Hantek.....	62
<b>Figura 65:</b> Búsqueda del dispositivo .....	62

<b>Figura 66:</b> Localización de dispositivo .....	62
<b>Figura 67:</b> Propiedades de dispositivo .....	63
<b>Figura 68:</b> Actualización de dispositivo .....	63
<b>Figura 69:</b> Fin de actualización .....	63
<b>Figura 70:</b> Comprobación de actualización .....	63
<b>Figura 71:</b> Cilindros y probetas del tester V-3500.....	64
<b>Figura 72:</b> Panel de control del tester V-3500.....	64
<b>Figura 73:</b> Liberador de presión .....	64
<b>Figura 74:</b> Desconexión de agujas .....	65
<b>Figura 75:</b> Desconexión del socket .....	65
<b>Figura 76:</b> Desconexión de manguera de retorno .....	65
<b>Figura 77:</b> Desacoplamiento del inyector .....	65
<b>Figura 78:</b> Desacoplamiento con la cañería.....	66
<b>Figura 79:</b> Puesta de seguros .....	66
<b>Figura 80:</b> Ángulo de pulverización .....	68
<b>Figura 81:</b> Periodo de una función.....	71
<b>Figura 82:</b> Escala de la pinza amperimétrica .....	72
<b>Figura 83:</b> Montaje de la pinza amperimétrica .....	73
<b>Figura 84:</b> Conexión al osciloscopio .....	73
<b>Figura 85:</b> Grafica de la corriente .....	73
<b>Figura 86:</b> Inyector piezoeléctrico # 0445115 045 .....	74
<b>Figura 87:</b> Inyector piezoeléctrico CRDI Bosch # 0445115 028.....	75
<b>Figura 88:</b> Caudal de inyección y retorno del inyector #04451 045 a 300bar ..77	
<b>Figura 89:</b> Caudal de inyección y retorno del inyector bosch 028 a 300bar .....	79
<b>Figura 90:</b> Caudal de inyección y retorno del inyector bosch 045 a 400bar .....	81
<b>Figura 91:</b> Caudal de inyección y retorno del inyector bosch 028 a 400bar .....	83
<b>Figura 92:</b> Caudal de inyección y retorno del inyector bosch 045 a 500bar .....	85
<b>Figura 93:</b> Caudal de inyección y retorno del inyector bosch 028 a 500bar .....	87
<b>Figura 94:</b> Caudal de inyección del inyector bosch 045 a 300, 400 y 500bar ..88	
<b>Figura 95:</b> Caudal de inyección del inyector bosch 028 a 300, 400 y 500bar ..89	
<b>Figura 96:</b> Caudal de retorno del inyector bosch 045 a 300, 400 y 500bar .....	90
<b>Figura 97:</b> Caudal de retorno del inyector bosch 028 a 300, 400 y 500bar .....	91
<b>Figura 98:</b> Ángulo de pulverización del inyector bosch 045 .....	92
<b>Figura 99:</b> Ángulo de pulverización del inyector bosch 028 .....	93

<b>Figura 100:</b> Tiempo de disparo y de retención del inyector bosch 045 .....	96
<b>Figura 101:</b> Tiempo de disparo y de retención del inyector bosch 028.....	98
<b>Figura 102:</b> Periodo del inyector bosch 045.....	99
<b>Figura 103:</b> Periodo del inyector bosch 028.....	101
<b>Figura 104:</b> Voltaje de activación, voltaje de retención y grados de activación del inyector bosch #0445115 045 .....	104
<b>Figura 105:</b> Voltaje de activación, Voltaje de retención y grados de activación del inyector bosch #0445115 045 .....	106
<b>Figura 106:</b> Detalle del oscilograma de voltaje .....	107
<b>Figura 107:</b> Detalle del oscilograma de corriente.....	108
<b>Figura 108:</b> Oscilograma de voltaje a 0.5ms del inyector 045.....	108
<b>Figura 109:</b> Oscilograma de corriente a 0.5ms del inyector 045 .....	109
<b>Figura 110:</b> Oscilograma de voltaje a 1.25ms del inyector 045 .....	109
<b>Figura 111:</b> Oscilograma de voltaje a 2ms del inyector 045.....	110
<b>Figura 112:</b> Oscilograma de corriente a 2ms del inyector 045 .....	111
<b>Figura 113:</b> Detalle de oscilograma de voltaje .....	111
<b>Figura 114:</b> Detalle del oscilograma de corriente .....	112
<b>Figura 115:</b> Oscilograma de voltaje a 0.5ms del inyector 028.....	113
<b>Figura 116:</b> Oscilograma de corriente a 0.5ms del inyector 028 .....	113
<b>Figura 117:</b> Oscilograma de voltaje a 1.25ms del inyector 028 .....	114
<b>Figura 118:</b> Oscilograma de corriente a 1.25ms del inyector 028 .....	114
<b>Figura 119:</b> Oscilograma de voltaje a 2ms del inyector 028.....	115
<b>Figura 120:</b> Oscilograma de corriente a 2ms del inyector 028 .....	116

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Variable independiente: Inyector CRDI Bosch .....	7
Tabla 2: Variable dependiente: Parámetros mecánicos y eléctricos .....	8
Tabla 3: Componentes del sistema common rail Bosch.....	16
Tabla 4: Características de la bomba de baja presión .....	19
Tabla 5: Partes del sistema de recirculación de gases de escape EGR .....	30
Tabla 6: Partes del riel common .....	31
Tabla 7: Características de las toberas Bosch.....	40
Tabla 8: Especificaciones técnicas del osciloscopio Hantek 1008c.....	50
Tabla 9: Especificaciones del osciloscopio Hantek 1008c .....	51
Tabla 10: Especificaciones de la pinza amperimétrica.....	53
Tabla 11: Inspección del tester v-3500.....	55
Tabla 12: Montaje de inyectores.....	57
Tabla 13: Montaje del osciloscopio Hantek 1008c.....	59
Tabla 14: Instalación del osciloscopio Hantek 1008c .....	60
Tabla 15: Instalación del USB-DRIVE .....	62
Tabla 16: Extracción de inyectores.....	64
Tabla 17: Parámetros del caudal de inyección .....	67
Tabla 18: Grados de disparo y dispersión.....	69
Tabla 19: Parámetros de caudal de retorno.....	69
Tabla 20: Medición de corriente .....	72
Tabla 21: Caudal de inyección y retorno a 300bar del inyector #045 .....	76
Tabla 22: Caudal de inyección y retorno a 300bar del inyector #028 .....	78
Tabla 23: Caudal de inyección y retorno a 400bar del inyector #045 .....	80
Tabla 24: Caudal de inyección y retorno a 400bar del inyector #028 .....	82
Tabla 25: Caudal de inyección y retorno a 500bar del inyector #045 .....	84
Tabla 26: Caudal de inyección y retorno a 500bar del inyector #028 .....	86
Tabla 27 Ángulo de disparo y dispersión del inyector bosch #045 .....	93
Tabla 28: Ángulo de disparo y dispersión del inyector bosch #28 .....	94
Tabla 29: Tiempo de disparo, retención y corriente del inyector #045 .....	95
Tabla 30: Tiempo de disparo, retención y corriente del inyector #028 .....	97

Tabla 31: Voltaje de activación, retención y grados de activación del inyector 045 .....	103
Tabla 32: Voltaje de activación, retención y grados de activación del inyector 028 .....	105
Tabla 33: Recursos humanos .....	117
Tabla 34: Recursos físicos.....	118
Tabla 35: Recursos tecnológicos.....	118
Tabla 36: Recursos materiales .....	119
Tabla 37: Recursos financieros .....	119

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Angulo de dispersión .....	68
Ecuación 2: Ángulo de dispersión .....	68
Ecuación 3: Periodo individual.....	71
Ecuación 4: Ángulo de giro individual.....	71
Ecuación 5: Grados de activación .....	72

## RESUMEN

Los sistemas de inyección diésel van innovándose a medida que se desarrollan nuevas tecnologías, las cuales permiten disminuir el consumo de combustible y reducir la contaminación ambiental producida por los vehículos automotrices, pero a su vez aumentar las prestaciones y la potencia del mismo, la intervención de la electrónica es de gran importancia ya que gracias a esto se controla tiempos extremadamente cortos de funcionamiento, haciendo posible que se avance tecnológicamente en la búsqueda de la mejora en el parque automotor. Un sistema de inyección diésel CRDI ofrece la capacidad de realizar múltiples inyecciones de combustible como son la preinyección, inyección principal y postinyección, ayudando a reducir los excesivos ruidos generados por el motor y contaminantes nocivos, pero aumentando su potencia y torque. La investigación está enfocada en componentes específicos de este sistema, como son los inyectores Bosch #0445115 045 y #0445115 028 con el único objetivo de realizar una base de datos estadísticos sobre sus características principales, las cuales son el comportamiento mecánico y electrónico, sus características de operación estándar, y por este medio obtener información veraz y confiable para investigaciones y análisis futuros. Para las ejecuciones esta investigación de usaron equipos tecnológicos como: banco de pruebas CRDI VNP V-3500, osciloscopio Hantek 1008c, pinza amperimétrica Brain Bee, por lo que fue necesario crear un protocolo de pruebas que sustente la forma de uso y los diferentes rangos de trabajo de los inyectores, los oscilogramas obtenidos con los equipos antes mencionados permiten hacer un análisis a diferentes ciclos de trabajos buscando definir los datos primarios de los inyectores Bosch.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **INYECTOR PIEZOELÉCTRICO**
- **INYECTOR BOSCH #0445115 045**
- **INYECTOR BOSCH #0445115 028**
- **TESTER VNP V-3500**
- **CICLOS DE TRABAJO**

## **ABSTRACT**

Diesel injection systems are innovating as new technologies are developed, which reduce fuel consumption and reduce the environmental pollution produced by automotive vehicles, but at the same time increase the performance and power of the same, the intervention of electronics is of great importance because thanks to this, extremely short operating times are controlled, making it possible to advance technologically in the search for improvement in the vehicle fleet. A CRDI diesel injection system offers the ability to perform multiple injections of fuel such as pre-injection, main injection and post-injection, helping to reduce the excessive noise generated by the engine and harmful pollutants, but increasing its power and torque. The research is focused on specific components of this system, such as Bosch injectors # 0445115 045 and # 0445115 028 with the sole purpose of making a statistical database on its main characteristics, which are the mechanical and electronic behavior, its characteristics of standard operation, and hereby obtain truthful and reliable information for future research and analysis. For the executions, this investigation used technological equipment such as: CRDI VNP V-3500 test bench, Hantek 1008c oscilloscope, Brain Bee clamp meter, so it was necessary to create a test protocol that supports the use form and the different ranges of work of the injectors, the oscillograms obtained with the aforementioned equipment allow an analysis of different work cycles to define the primary data of the Bosch injectors.

### **KEYWORDS:**

- **PIEZOELECTRIC INJECTOR**
- **BOSCH INJECTOR # 0445115 045**
- **BOSCH INJECTOR # 0445115 028**
- **VNP V-3500 TESTER**
- **WORK CYCLES**

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 1.1. Antecedentes investigativos

La innovación tecnológica cada día se hace más notoria, competitiva e importante debido a que descubre nuevos métodos de funcionamiento en los sistemas y sus componentes automotrices, materiales alternativos los cuales son beneficiosos tanto para el consumidor y a su vez son amigables con el medio ambiente, las grandes exigencias por medio de los países en el tema de la reducción de gases contaminantes ponen a competir a las grandes empresas vehiculares por los avances tecnológicos para poder determinar cuál desarrolla el producto de mayor calidad, abaratando los costos de adquisición.

(Vera, 2013) manifiesta que: La evolución de los motores Diésel en la última década ha sido propulsada principalmente por las estrictas leyes ambientales y los altos costos del combustible. El último desarrollo tecnológico en el campo de los inyectores common-rail es el sistema de actuación directa. En estos inyectores un cristal piezoeléctrico actúa directamente sobre la aguja del inyector y permite controlar el flujo de combustible simplemente variando el voltaje aplicado al cristal. El objeto de este proyecto fue el estudio experimental de la fase vapor del chorro diésel en fase no reactiva en una instalación de alta presión y temperatura, para luego profundizar la comprensión de los resultados con el empleo de un modelo de simulación 1-D. (pág. 10).

Todos los avances tecnológicos vehiculares tienen como enfoque principal tres aspectos importantes

- Aumentar la eficiencia del vehículo
- Disminuir el consumo de combustible
- Aminorar la contaminación ambiental.

Por lo que es necesario buscar nuevos métodos de inyección que pueden mejorar significativamente los objetivos mencionados anteriormente,

apareciendo así los inyectores piezoeléctricos los cuales brindan mayores ventajas con respecto a los inyectores accionados por solenoide.

(Viera J, 2013) menciona que la piezoelectricidad, es un fenómeno que ocurre en ciertos cristales, que al ser sometidos a ciertas tensiones mecánicas y deformarse, estos producen una carga eléctrica. El fenómeno se puede también observar en el sentido inverso, al aplicarles una carga eléctrica sobre el cristal, estos se deformarán. Debido a esta segunda característica, los cristales piezo-eléctricos son utilizados en los inyectores de última generación. La idea es utilizar la deformación del cristal para controlar el volumen de control. (pág. 11).

Los inyectores de cristal piezoeléctrico constan de una principal, pero a la vez muy importante ventaja sobre los inyectores de tipo solenoide: los tiempos de respuesta son mucho más rápidos, y la velocidad de apertura del inyector es menor.

Los inyectores piezoeléctricos aparecen en los vehículos diésel a partir de alrededor del 2003. Los primeros modelos comerciales constan de un sistema hidráulico entre el cristal piezoeléctrico y la aguja, que tiene como función amplificar el desplazamiento del cristal y a su vez alejarlo del calor que se produce en la cámara de combustión

(Coral C F. , 2013) cita que las ventajas del sistema de inyección CDRI

Son:

- Excelente desempeño y eficiencia de combustible.
- El sistema de inyección de combustible “Common Rail” es controlado electrónicamente para cumplir con una combustión óptima
- Bajo nivel de emisiones de ruidos.
- Amigable con el medio ambiente para responder a todos los reglamentos mundiales sobre emisiones.

## 1.2. Planteamiento del problema

La innovación tecnológica en la industria automotriz ha desarrollado nuevos sistemas de inyección con diferentes métodos de funcionamiento y accionamiento en sus inyectores, de ahí que aparecen los inyectores piezoeléctricos en los sistemas CRDI Bosch (Inyección diésel de riel común), colaborando específicamente con un mayor desempeño y rendimiento de los motores de combustión interna, siendo beneficioso tanto para el usuario de automotor debido a un menor consumo de combustible, así como al medio ambiente debido a la reducción considerable de las emisiones de gases contaminantes, pero a su vez este tipo de inyectores piezoeléctricos es carente de información técnica sobre los parámetros óptimos de funcionamiento.

A medida que transcurre el tiempo el uso de los inyectores piezoeléctricos Bosch CRDI tienden a variar sus calibraciones y parámetros originales de funcionamiento de tal manera que la descompensación del mismo produce una mayor contaminación disminuyendo la eficiencia del motor provocando que el sistema CRDI diésel aumente el consumo de combustible lo que da como consecuencia mayor gasto económico para el titular del automotor.

Al existir poca o muy escasa información sobre los parámetros técnicos iniciales de funcionamiento de los inyectores piezoeléctricos Bosch, de igual manera sobre las pruebas, mediciones mecánicas, eléctricas produce un escaso proceso o protocolo de pruebas para el mantenimiento del mismo, así mismo la cantidad de técnicos calificados para la evaluación y calibración de dichos inyectores es reducida.

Por tanto, el problema que se investigó es la influencia de las propiedades mecánica y electrónica de los inyectores piezoeléctricos Bosch en el desempeño del motor de combustión interna



**Figura 1: Planteamiento del problema**

### 1.3. Descripción resumida del proyecto

La investigación del comportamiento mecánico y electrónico de los inyectores de marca Bosch perteneciente a los vehículos Volkswagen Crafter y Hyundai Veracruz del sistema de inyección CRDI (Common Rail Diésel Inyección), constará de los siguientes puntos:

Se recopiló en fuentes confiables información teórica acerca del sistema CRDI marca Bosch con su respectivo respaldo para el estudio, desarrollo y ejecución de la investigación.

Se verificó los modelos, marcas que disponen de la utilización de inyectores marca Bosch en el país.

Se estableció las condiciones de funcionalidad de los inyectores piezoeléctricos Bosch de los modelos Volkswagen Crafter y Hyundai Veracruz.

Se realizaron pruebas de los parámetros de funcionamiento de los inyectores piezoeléctricos Bosch como son: caudal, pulverización, pruebas eléctricas de corriente de activación, voltaje de activación.

En esta investigación se realizó los análisis comparativos de los resultados obtenidos en los protocolos de pruebas mencionados, para emitir conclusiones del comportamiento mecánico y electrónico de los inyectores piezoeléctricos marca del sistema de alimentación CRDI.

#### **1.4. Justificación e importancia**

Debido al constante aumento vehicular en el país y también a los avances tecnológicos referentes al vehículo se han creado nuevos sistemas más eficientes, siendo el sistema CRDI (inyección diésel de riel común) el cual está haciendo presente en el ámbito comercial gracias a su excelencia en prestaciones vehiculares diésel y a medida que avanza el tiempo esta tecnología está en constante cambio por lo que es de vital importancia actualizarse en la información especializada que ayude al mantenimiento y sus procedimientos de una manera adecuada. Por lo que generar información confiable y tecnológica, permitirá ampliar el limitado material actual acerca de protocolos de pruebas para inyectores piezoeléctricos Bosch.

La tecnológica de los inyectores CRDI (inyección diésel de riel común) vienen en las marcas del sector automotriz ecuatoriano como: Hyundai, Volkswagen, Land Rover, con sus modelos Veracruz, Crafter y Freelander respectivamente, pero la información relacionada a mantenimientos, protocolos de pruebas y calibración es restringida y limitada para el profesional que se desempeña.

Por ende, esta investigación generó información técnica y confiable la cual permitió desarrollar un protocolo de pruebas y metodologías que establecieron el comportamiento mecánico y eléctrico de los inyectores piezoeléctricos Bosch, de la misma manera se citará información técnica y científica que apoye como fuente de obtención de conocimientos para inquisidores del tema y

además se estableció el rango de funcionamiento y desempeño del sistema CRDI Bosch.

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo general**

Investigar el comportamiento mecánico y electrónico para generar información técnica, y relevante de los parámetros de operación de los inyectores piezoeléctricos CRDI (Inyección directa de riel común) en los inyectores piezoeléctricos Bosch de los vehículos Volkswagen Crafter 2.5 TDI, Hyundai Veracruz IX55 3.0

### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Recopilar información relacionada a la investigación para el desarrollo de la misma.
- Investigar la disponibilidad del mercado en las marcas y modelos con inyector piezoeléctricos el Ecuador.
- Determinar los parámetros de funcionamiento mecánico y eléctrico de los inyectores piezoeléctricos Bosch
- Realizar pruebas mecánicas a los inyectores Bosch tales como: caudal de inyección, caudal de retorno, ángulo de pulverización.
- Ejecutar pruebas eléctricas de corriente de activación, voltajes de activación y los grados de activación de los inyectores piezoeléctricos CRDI Bosch.
- Generar tablas estadísticas de identificación de resultados obtenidos en los protocolos de pruebas.

## **1.6. Metas**

Generar una investigación referente al desempeño mecánico y eléctrico de los inyectores piezoeléctricos marca Bosch CRDI que permita realizar el diagnostico en el 90% de precisión.

## 1.7. Hipótesis

La investigación los parámetros de desempeño mecánico y eléctrico de los inyectores piezoeléctricos Bosch permitirá establecer el comportamiento de los parámetros de operación del sistema de inyección CRDI que se realiza en los vehículos Marca Hyundai, y Volkswagen modelos Veracruz y Crafter.

## 1.8. Variables de investigación

### 1.8.1. Variables Independientes:

Inyectores piezoeléctricos CRDI Bosch

Tabla 1

Variable independiente: Inyector CRDI Bosch

Concepto	Categoría	Indicador	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Los inyectores piezoeléctricos CRDI son dispositivos encargados de producir un fino aerosol de combustible dentro de la cámara de combustión al final de la carrera de compresión para que se desarrolle la combustión.	Tecnológica	Presión de operación	<i>bar</i>	Medición	Guía de laboratorio
	Tecnológica	Número de orificios del inyector	#	Observación	Guía de laboratorio
	Tecnológica	Tipo de tobera	<i>Corta / larga</i>	Observación	Guía de laboratorio
	Tecnológica	Largo del Tallo	<i>mm</i>	Medición	Guía de laboratorio
	Tecnológica	Presión de retorno	<i>bar</i>	Medición	Guía de laboratorio
	Tecnológica	Tipo de boquilla	<i>diseño</i>	Observación	Guía de laboratorio
Es un conjunto de piezas dentro de un cuerpo de acero que atraviesa el cuerpo metálico del motor y penetra hasta el interior de la cámara de combustión	Tecnológica	Ángulos del cono de pulverización	°	Medición	Guía de laboratorio

### 1.8.2. Variables dependientes:

Parámetros de funcionamiento mecánico y eléctrico.

Tabla 2

Variable dependiente: Parámetros mecánicos y eléctricos

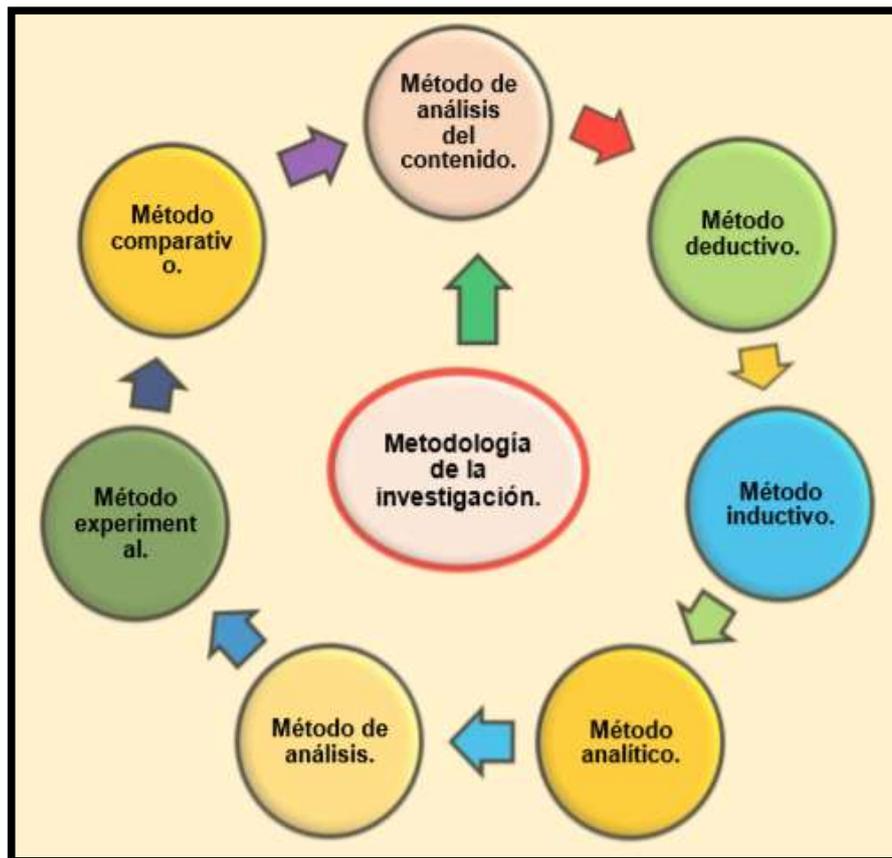
Concepto	Categoría	Indicador	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Los parámetros mecánicos y electrónicos de los inyectores CRDI son datos imprescindibles que nos muestra el comportamiento del inyector en determinadas situaciones, los mismos que dependiendo de sus valores pueden llegar a alterar la conducta de los inyectores en el motor diésel. Estos parámetros están orientados a evaluar el estado de los inyectores cuando los mismos se encuentran trabajando bajo distintas condiciones.	Tecnológica	Caudal	$cm^3/min$	Medición	Protocolo de pruebas de laboratorio
	Tecnológica	Angulo de Pulverización	°	Medición	Protocolo de pruebas de laboratorio
	Tecnológica	Estanqueidad	$bar$	Medición	Protocolo de pruebas de laboratorio
	Tecnológica	Corriente de Activación	$A$	Medición	Protocolo de pruebas de laboratorio
	Tecnológica	Voltaje de Activación	$V$	Medición	Protocolo de pruebas de laboratorio

### 1.9. Metodología de la investigación.

- **Método de análisis de contenido.**

Establece la necesidad de recopilar información confiable en libros, lugares web, artículos científicos, publicaciones, boletines de revistas, bibliotecas virtuales y espacios de investigación como la biblioteca de la universidad.

En la figura 2, describe los métodos pertinentes para realizar la investigación.



**Figura 2: Metodología de desarrollo del proyecto**

- **Método deductivo**

Dado que la investigación se enfoca en el comportamiento mecánico y electrónico de los inyectores piezoeléctricos Bosch, se analizó las características, parámetros de funcionamiento y pruebas a realizarse, para determinar el protocolo de pruebas y establecer información confiable y veras acerca del desempeño de los inyectores piezoeléctricos Bosch en el sistema de alimentación CRDI.

- **Método inductivo.**

Método por el cual se pudo realizar el análisis de los datos obtenidos en cada uno de los inyectores piezoeléctricos Bosch crdi, con la finalidad de realizar una tabulación que permita reflejar información confiable para los investigadores.

- **Método analítico.**

Se aplicó este método, ya que los datos obtenidos de los inyectores piezoeléctricos Bosch 044515045 y 0445115028 fueron analizados para poder determinar el comportamiento mecánico y electrónico.

- **Método Cuantitativo**

Como parte de la investigación está orientada a la obtención de datos procedentes de los inyectores piezoeléctricos CRDI ayudando a cuantificar los valores y parámetros que se encuentren en la investigación y de igual manera estos serán tabulados para contar con una base de datos donde se pueda acceder a información referente con mucha facilidad.

- **Método experimental**

La metodología a utilizar será la experimental debido a que se trabajará mediante mediciones y pruebas en el banco de inyectores CRDI, pruebas que están estandarizadas para poder trabajar con inyectores Bosch, lo cual permitirá obtener resultados fiables de cada uno de los inyectores, con la finalidad de establecer una comparación técnica entre los diferentes inyectores, concluyendo así cual es el comportamiento de los mismos bajo ciertas horas de trabajo.

- **Método comparativo**

Este método faculta la variación de condiciones de trabajo y determinar parámetros de funcionamiento en condiciones variables en el Tester de pruebas, con la finalidad de obtener resultados y contrastar con el funcionamiento de cada uno.

**Tabla 3**

## Desarrollo de la investigación

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
<b>Método deductivo</b>	Dado que la investigación se enfoca en el comportamiento mecánico y electrónico de los inyectores piezoeléctricos Bosch, se analizó las características, parámetros de funcionamiento y pruebas a realizarse, para determinar el protocolo de pruebas y establecer información confiable y veras acerca del desempeño de los inyectores piezoeléctricos Bosch en el sistema de alimentación CRDI.	Inyectores piezoeléctricos CRDI Marca Bosch	Autotrónica
<b>Método inductivo</b>	Método por el cual se pudo realizar el análisis de los datos obtenidos en cada uno de los inyectores piezoeléctricos Bosch crdi, con la finalidad de realizar una tabulación que permita reflejar información confiable para los investigadores.	Banco de pruebas Tester CRDI V – 3500	Autotrónica
<b>Método analítico</b>	Se aplicó este método, ya que los datos obtenidos de los inyectores piezoeléctricos Bosch 044515045 y 0445115028 fueron analizados para poder determinar el comportamiento mecánico y electrónico. establecidos para los inyectores.	Computador Personal Osciloscopio Banco de pruebas Tester CRDI V - 3500	Autotrónica
<b>Método cuantitativo</b>	Como parte de la investigación está orientada a la obtención de datos procedentes de los inyectores piezoeléctricos CRDI ayudando a cuantificar los valores y parámetros que se encuentran en la investigación y de igual manera estos serán tabulados para contar con una base de datos donde se pueda acceder a información referente con mucha facilidad.	Osciloscopio Banco de pruebas Tester CRDI V – 3500	Autotrónica

CONTINÚA



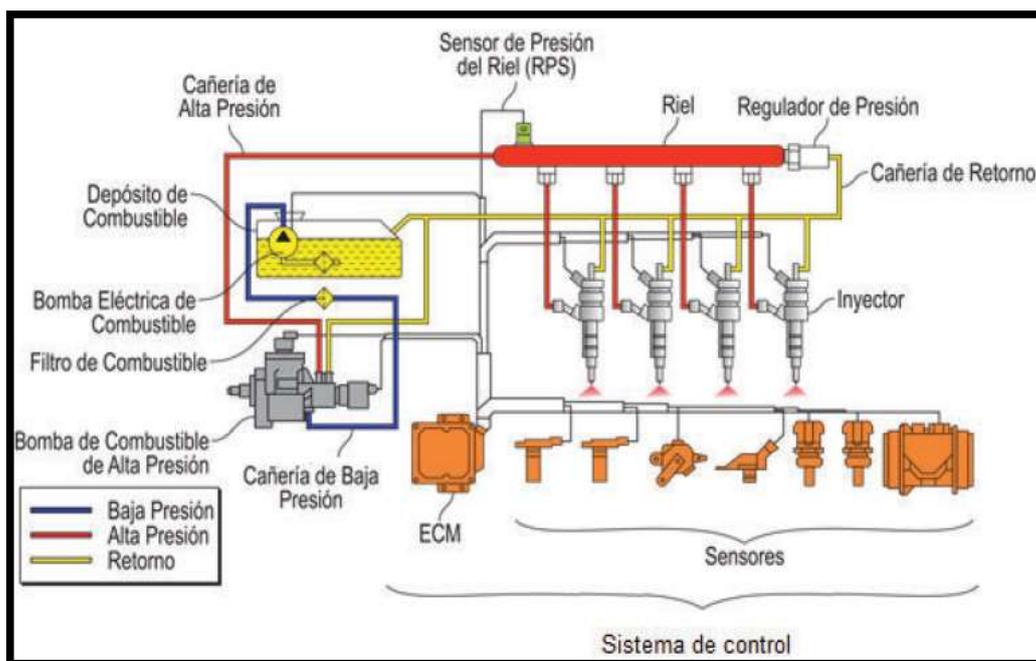
<b>Método experimental</b>	<p>La metodología a utilizar será la experimental debido a que se trabajará mediante mediciones y pruebas en el banco de inyectores CRDI, pruebas que están estandarizadas para poder trabajar con inyectores Bosch, lo cual permitirá obtener resultados fiables de cada uno de los inyectores, con la finalidad de establecer una comparación técnica entre los diferentes inyectores, concluyendo así cual es el comportamiento de los mismos bajo ciertas horas de trabajo.</p>	<p>Osciloscopio  Banco de pruebas Tester CRDI V – 3500</p>	Autotrónica
<b>Método comparativo</b>	<p>Este método faculta la variación de condiciones de trabajo y determinar parámetros de funcionamiento en condiciones variables en el Tester de pruebas, con la finalidad de obtener resultados y contrastar con el funcionamiento de cada uno.</p>	<p>Computador Personal</p>	Biblioteca

## CAPÍTULO II

### 2. SISTEMAS DE INYECCIÓN EN LOS MOTORES DIESEL

#### 2.1. Sistemas common rail o de conducto común diésel.

(Bosch, Sistema de inyección Diésel por acumulador Common Rail, 2005) aduce que: El sistema common rail es uno de los sistemas de inyección más perfeccionado en los sistemas por acumulador. La ventaja principal del sistema common rail son las amplias posibilidades de variación de configuración de la presión de la inyección y los momentos de inyección. Esto se consigue mediante la separación de la generación de presión (bomba de alta presión) y la inyección (inyectores) como acumulador de presión que utiliza el conductor común. (pág. 16)



**Figura 3: Sistema common rail Bosch**

Fuente: (Barros & Morocho, 2016)

(Barros & Morocho, 2016) coincide que; “El sistema de common rail o de conducto común es un sistema electrónico de inyección de combustible para motores diésel de inyección directa en el que el gasóleo es aspirado directamente del depósito de combustible a una bomba de alta presión, y esta,

a su vez envía a un conducto común para todos los inyectores y a alta presión desde cada uno de ellos a su cilindro". (pág.21)

### **2.1.1. Funcionamiento de ignición en el sistema CRDI.**

(Santader, 2003) Asegura que: La teoría de Rudolf Diésel se basa en dos consideraciones fundamentales. La primera consistía en el hecho de que cuanto más se comprimiera una determinada cantidad de gas, más aumentaba su temperatura y de manera análoga, cuanto más se expandía la cantidad de gas más disminuía la temperatura. En el interior del cilindro cuando el pistón está en el punto muerto superior (PMS), la mezcla se comprime y alcanza y alcanza su mínimo volumen, la temperatura es muy alta y cuando el pistón está en el punto muerto inferior (PMI) y alcanza su máximo volumen la mezcla se enfría. (pág. 228)

En los sistemas diésel la forma de ignición es muy diferente que uno de gasolina por lo que es necesario tener una gran compresión, ya que en el principio de Boyle establece que la compresión de un gas es directamente proporcional a la temperatura, a mayor presión, mayor temperatura.

Parámetros que mayor influencia de un motor diésel son:

- Cantidad de inyecciones en cada ciclo.
- Presión de inyección elevada.
- Inicio de la inyección.
- Tiempo del ciclo de la inyección.

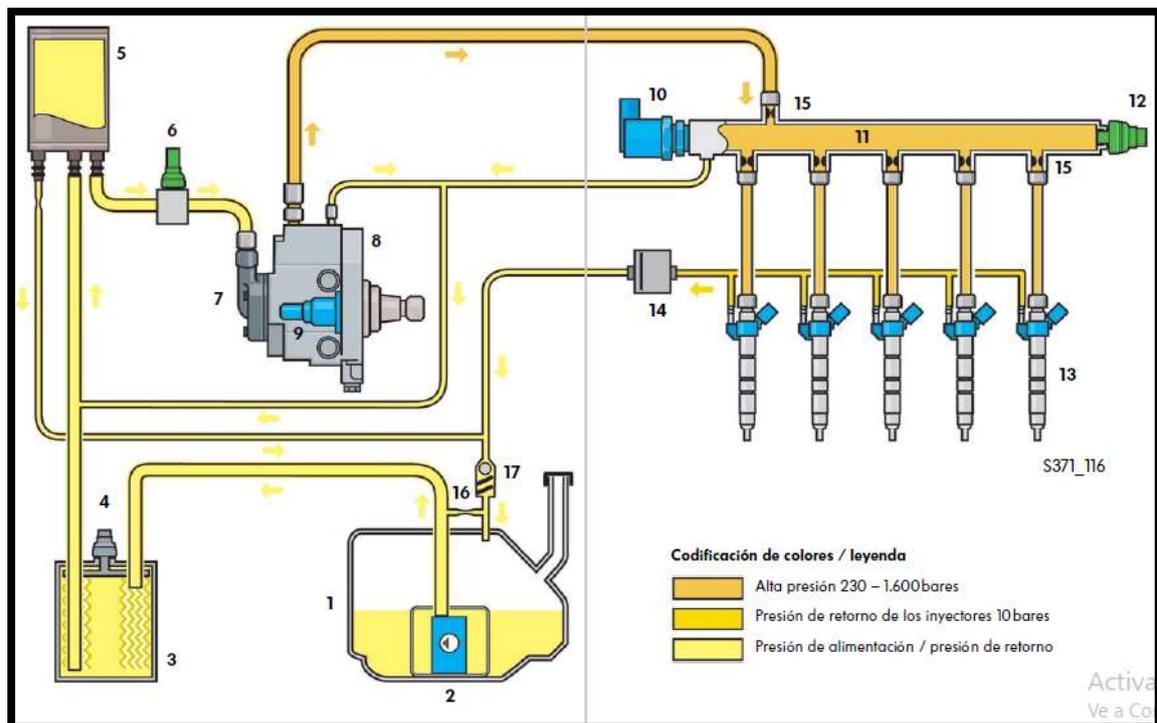
(Ferrer, 2015) manifiesta que: "Para producir tanta presión, deben ser elementos muy robustos al igual que los conductos que transportan el carburante a dichas presiones. Estos conductos están fabricados con tubo de acero sin soldaduras, con unos diámetros internos de hasta 2 mm y paredes de 3 mm".

Las bombas hace pocos años producían presiones alrededor de 1000 bar, en la actualidad llegan a presiones de 1500 y 2000 bar, por lo que es necesario que el sistema soporte grandes presiones. (pág.16)

(Coral C F. , 2013) concluye que; Los motores diésel funcionan siempre con exceso de aire, si la cantidad de aire es insuficiente, aumentan las emisiones de hollín, CO, HC y el consumo de combustible. (pág.3)

## 2.2. Sistema de alimentación Bosch CRDI.

En el manual de entrenamiento (kia, 2016). manifiesta que: El control individual del avance de la distribución y del flujo, permite el control perfecto de la combustión de la combustión cilindro por cilindro. A demás, la presión de inyección se puede ajustar en un amplio rango de valores de acuerdo a las condiciones de funcionamiento del motor. (pág.3)



**Figura 4: Sistema de alimentación Bosch**

Fuente: (VSQ1, 2006)

### 2.2.1 Partes del sistema de alimentación common rail.

Este sistema de alimentación está conformado por varios elementos los cuales se encargan de trabajar simultáneamente para poder brindar un desempeño óptimo del sistema.

A continuación, se detalla sus partes y la descripción de cada elemento.

Tabla 4

Componentes del sistema common rail Bosch

<b>Partes</b>	<b>Descripción</b>
1.- Depósito de combustible.	Contenedor se puede almacenar el combustible de forma segura, sin derrames y evaporaciones.
2.- Bomba de baja presión.	Se encarga de transporta combustible de forma continua al sistema, en esta parte el sistema solo alcanza los 4 bar.
3.- Filtro.	Se encarga de filtrar la suciedad en el combustible, pueden retener partículas de hasta 20um.
4.- Calefacción para el filtro de combustible.	Este sistema impide que el filtro se obstruya por cristalizaciones de parafinas al existir bajas temperaturas.
5.- Acumulador de Combustible.	Su principal trabajo consiste en almacenar combustible constante para su alimentación.
6.- Sensor de temperatura de combustible.	Se encarga de determinar la temperatura de combustible momentáneo.
7.- Bomba de engranajes mecánica.	Se encarga de trasportar el combustible hacia la zona de alta presión.
8.- Bomba de alta presión.	Se encarga de multiplicar la presión requerida para la inyección.
9.- Válvula para dosificación de combustible.	Regula el paso de combustible que se alimenta hacia la cámara de compresión de alta.
10.- Válvula reguladora de presión.	Permite mantener la presión de combustible ideal para la inyección.
11.- Acumulador de presión.	Como su nombre indica, se encarga de acumular el combustible a alta presión para que la entrega sea continua y precisa.
12.- Sensor de presión de combustible.	Este elemento se encarga de informar a la ECU la presión momentánea que existe en el riel en ese momento, e informa si hay exceso o es ideal para la inyección.
13.- Inyectores.	Actuadores que se encargar de inyectar y dosificar el combustible a alta presión dentro de cada uno de los cilindros secuencialmente.
14.- Válvula mantenedora de presión.	Esta válvula se encarga de mantener una presión aproximada de 10 bar, la cual es necesaria para que el inyector funcione correctamente.
15.- Estranguladores.	Durante la apertura y el cierre de los inyectores se generan ondas expansivas las cuales son fuertes debido a su gran presión, los estranguladores permiten amortiguarlos.

CONTINUA



16.- Rebose.	Permite liberar el exceso de presión que se genera en la línea de baja presión.
17.- Válvula de retención.	Esta válvula evita que la presión baja se pase hacia la línea de retorno en caso de que el filtro de combustible se obstruya.

Fuente: (VSQ1, 2006)

### **2.3. Control de la alimentación electrónica.**

(Bosch, 2015) aduce que: Para cumplir con las estrictas leyes de emisiones de gases, los motores diésel necesitan tener un riguroso control del volumen de combustible inyectado. Los sistemas mecánicos ya no logran cumplir con tales requisitos; así fueron desarrollados los sistemas de inyección con control electrónico, como UIS, UPS, Common Rail, etc. Son más eficientes, seguros, potentes y económicos. (pág. 4)

En relación al sistema convencional de alimentación mecánica, el sistema de alimentación electrónica posee una EDC, la cual se encarga de regular todos los parámetros de alimentación dependiendo los requerimientos del conductor, y los valores son determinados por 4 requerimientos en especial;

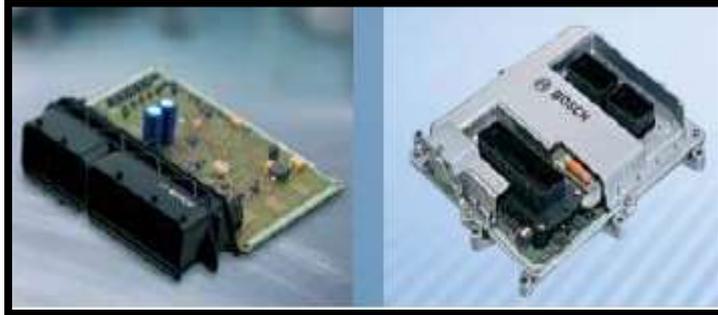
#### **2.3.1. Parámetros de entrada a la ECU.**

- Datos específicos que nos genera el sensor de oxígeno sobre las emisiones contaminantes del motor.
- Régimen de temperatura que será proporcionada por los diferentes tipos de sensores de temperatura.
- Revoluciones a las cuales el cigüeñal este girando, presión del turbo alimentador.
- Posición del pedal de aceleración dependiendo las exigencias del conductor.

#### **2.3.2. Parámetros de salida de la ECU.**

(kia, 2016) aducen que: Los parámetros enviados de la ECU son:

- Corriente de accionamiento para la válvula de control del inyector.
- Corriente de accionamiento para la válvula de derivación de caudal de entrada al riel.
- Calentador del filtro de combustible (opcional). (Pág.6)



**Figura 5: Módulo de control electrónico de alimentación EDC**

Fuente: (Bosch, 2015)

## **2.4. Fases de la alimentación del sistema (CRS).**

(Bosch, Sistema de inyección Diésel por acumulador Common Rail, 2005)  
 Comente que: El control electrónico del sistema de inyección representa un grande paso en el desarrollo de los motores diésel. El moderno sistema common rail Bosch presenta la más nueva tecnología empleada en los sistemas de inyección electrónica. (pág. 8)

### **2.4.1. Características del sistema de alimentación Bosch**

En el manual de la Crafter 2.5 TDI Common Rail (Figard, 2011)

- La presión de la inyección es casi libremente programable y puede ser adaptada a cada estado operativo del motor.
- Una presión de la inyección, de hasta 1.600 bares como máximo posibilita una buena formación de la mezcla.
- Desarrollo flexible de la inyección con varios ciclos de preinyección y pos inyección
- Bajo consumo de combustible.
- Bajas emisiones contaminantes
- Marcha suave del motor

El inicio de la inyección y la cantidad de combustible inyectado son controlados por un inyector accionado por electricidad. El tiempo de inyección es comandado por el sistema electrónico EDC, Esto necesita de varios sensores para detectar la posición del cigüeñal y la posición del árbol de levas y muchas señales las cuales proporcionan información útil para que el sistema electrónico realice las calibraciones correspondientes y el vehículo sea eficiente, a la vez que nos reporte frecuentemente de las condiciones de trabajo y las condiciones a las que el vehículo se encuentra, por eso y muchas exigencias más, el vehículo cuenta con más sensores y actuadores que se presentarán a continuación.

#### **2.4.2. Sistema de transferencia de baja presión.**

El circuito de baja presión tiene como finalidad alimentar al sistema con una presión baja y constante, por eso se lo considera sistema de transferencia y cumple con las siguientes características.

Bomba de transferencia:

Tabla 5

Características de la bomba de baja presión:

Tipo	Aspas o paletas
Presión máxima	6 Bar
Capacidad de la bomba	5.6 cc/rev
Flujo de combustible	90lt a 300rpm y 650l/h a 2500 rpm
Capacidad de aspiración	65mBar a 100 rpm

Fuente: (kia, 2016)

#### **2.4.3. Sistema de alimentación de alta presión CRDI Bosch.**

Estos sistemas de conducto común son muy eficaces, ya que al someter a un líquido a grandes presiones y cuando lo hace pasar por una perforación diminuta en el inyector se genera un spray (atomización) con partículas de combustible muy pequeñas que al entrar en contacto con el oxígeno permite que se quemen casi por completo, esto causa que el motor sea muy eficiente, ahorrando combustible y evitando que las emanaciones de gases contaminantes sea casi nulas, lo que se busca es disminuir las partículas de carbón en su totalidad, por este motivo el sistema de filtrado debe ser muy

óptimo en la primera fase de alimentación (sistema de baja presión). No todos los fluidos pueden ser sometidos a estas presiones, por eso al tener presencia de agua en el sistema produce que se rompan y fallen.



**Figura 6: Sistema de alimentación de alta presión CRDI Bosch**

Fuente: (VSQ1, 2006)

#### **2.4.4. Fases de la inyección a alta presión.**

En este tipo de sistemas se localizan más de uno o dos inyecciones pilotos o preinyecciones, lo cual nos permite disminuir el ruido que se genera internamente por la combustión, este tipo de inyecciones consiste en preinyección, inyección principal y pos inyección.

##### **a) Preinyección.**

Esta inyección se realiza para poder iniciar la pre combustión en una pequeña cámara que se encuentra en la parte de la culata, esto permite reducir los sonidos excesivos que se generan en los motores diésel, consiste en inyectar una pequeña cantidad de combustible a baja presión y así poder generar excelentes condiciones de presión y temperatura la cual permitirá una mejor combustión y reducir los gases no combustionados.

##### **b) Inyección principal.**

Esta inyección consiste en aumentar la potencia efectiva del motor debido a que los inyectores rocían una gran cantidad de combustible dentro del cilindro bajo grandes presiones las cuales forman una neblina muy fina y proporcionan

la vaporización necesaria para una buena combustión, la turbulencia dentro de la cámara depende del diseño de cada uno de los fabricantes de pistones.

### **c) Post Inyección.**

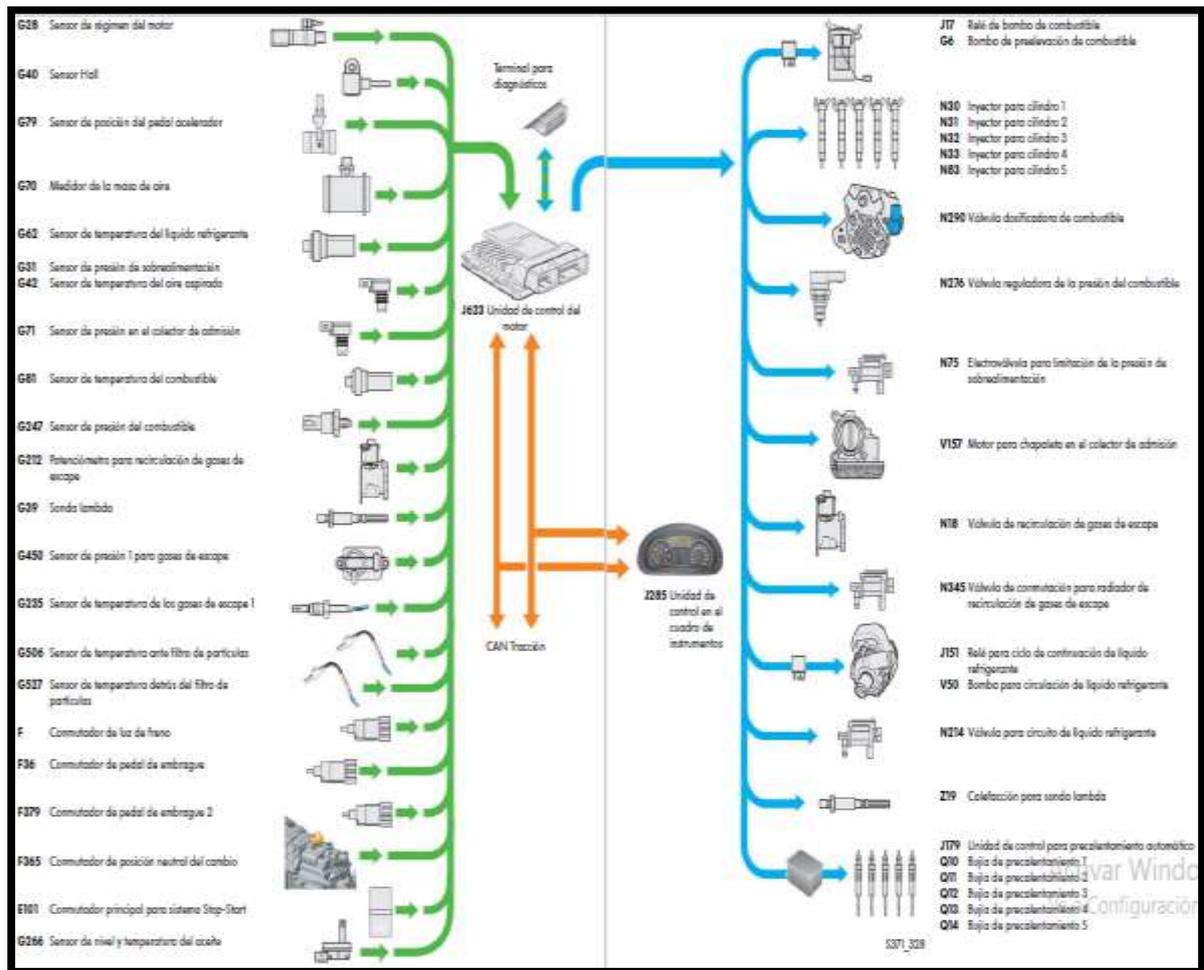
La misma que se produce para reducir los gases contaminantes debido a que se aporta un combustible que no puede quemarse en el interior del cilindro por falta de tiempo y oxígeno, pero se quema durante la etapa de escape y se encarga de elevar la temperatura del catalizador y facilitar su regeneración.

## **2.5. Sistema electrónico Bosch CRDI.**

(Casanova Jiménez, Mena, & Erazo, 2014) manifiestan que: El sistema de control electrónico para el motor diésel CRDI está formado por tres bloques principales: Sensores y generadores de pulso de ajuste para cada condición de operación y valores deseados; módulo de control del motor (ECM) para generar las señales eléctricas de salida mediante el procesamiento de información usando operaciones aritméticas específicas (algoritmos de control); actuadores que convierten las señales de salida eléctricas del ECM en parámetros mecánicos. (pág. 5)

### **2.5.1. Estructura del sistema de control electrónico Bosch CRDI**

Todos los elementos constitutivos del sistema crdi trabajando conjuntamente y son los encargados de ajustar las condiciones perfectas para el desempeño del vehículo y son:



**Figura 7: Estructura del sistema Electrónico Bosch CRDI**

Fuente: (VSQ1, 2006)

## 2.6. Sensores principales del sistema Bosch CRDI

(Guarella, Heredia, Rodríguez, & Bagatto, 2011) indican que: En sistemas electrónicos, los sensores son los elementos encargados de obtener información. Son llamados técnicamente transductores, y son capaces de convertir cualquier magnitud física, química o biológica en una magnitud eléctrica. (pág. 13)

El fenómeno de transducción puede darse de dos formas que se analizan a continuación:

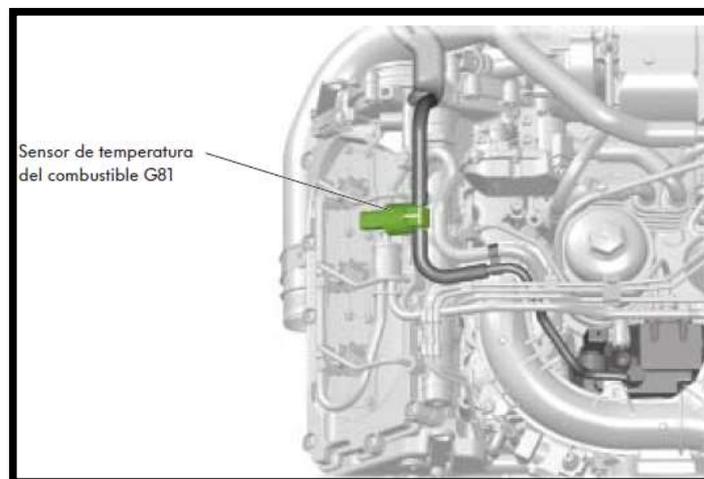
- Activo: se encargan de detectar la magnitud física y proporciona energía necesaria para transmitir un pulso eléctrico.
- Pasivo: cuando la magnitud a detectar se limita a modificar algunos parámetros eléctricos característicos del elemento sensor, como ser resistencia o reluctancia

### 2.6.1. Sensor de temperatura de combustible.

Este sensor se encarga de medir la temperatura y la densidad en la que se encuentra el combustible en el sistema, si el combustible esta fuera de las condiciones normales limita la alimentación a la bomba de alta presión, de esta forma se consigue protegerla de la alta presión, los mismos datos son calculados por la ECU para disminuir o aumentar el suministro de alimentación, se encuentra ubicado en la línea de baja presión.

Código de falla

El DTC que se genera en caso de fallo es el P018300.



**Figura 8: Sensor de temperatura de combustible**

Fuente: (e-auto.com.mx, 1999)

### 2.6.2. Sensor de la presión del riel.

Este sensor se encarga de mantener la presión de combustible en el riel common de forma ajustada, cuando existe un exceso la presurización del combustible actúa directamente sobre el diafragma del sensor convirtiendo este

movimiento en una señal eléctrica la cual posteriormente es amplificada por la ECU en forma de señales PWM la cual permite liberar el exceso de presión hacia la línea de retorno.

Existen dos tipos de reguladores en el sistema Common Rail:

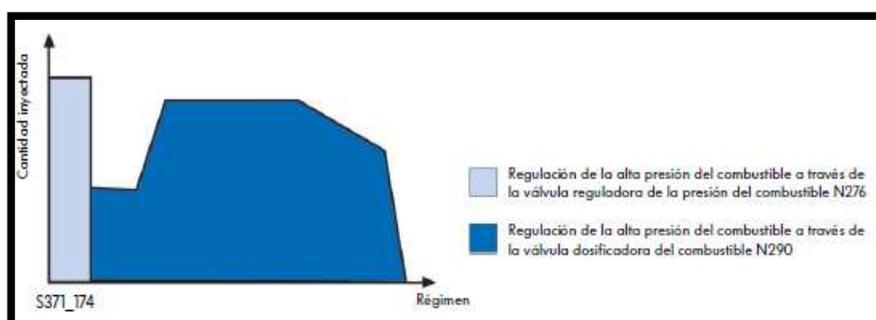
- 1) Regulación a través de la válvula reguladora de presión del combustible.

(Figard, 2011) informa que: En la fase de arranque del motor y para calentar el combustible se procede a regular la alta presión del combustible por medio de la válvula reguladora de presión de combustible N276. Para contar con una mezcla de alta calidad en la cámara de combustión, con solo breves retrasos de la autoignición, resulta necesario disponer de una alta temperatura del combustible. Para calentar rápidamente el combustible al estar el motor frío, la bomba de alta presión impele y comprime una mayor cantidad de combustible que la necesaria. El combustible superfluo vuelve de forma controlada al retorno a través de la válvula reguladora de la presión de combustible N276. (pág.26)

- 2) Regulación a través de la válvula dosificadora de combustible N290.

(Figard, 2011) indica que: Al trabajar con altas cantidades inyectadas y altas presiones en el conducto común, la alta presión del combustible es regulada por la válvula dosificadora del combustible. Esto se traduce en una regulación de alta presión del combustible acorde a las necesidades.

La potencia absorbida por la bomba de alta presión se reduce para evitar un caldeo innecesario del combustible. (pág.11).



**Figura 9: Fases de regulación de la presión de combustible**

Fuente: (Figard, 2011)

Código de falla.

El DTC que se genera en caso de fallo son:

- P0190 circuito de presión del riel.
- P0191 circuito de presión del riel/rendimiento.
- P0192 circuito de la presión del riel baja.
- P0193 circuito de presión del riel alto.

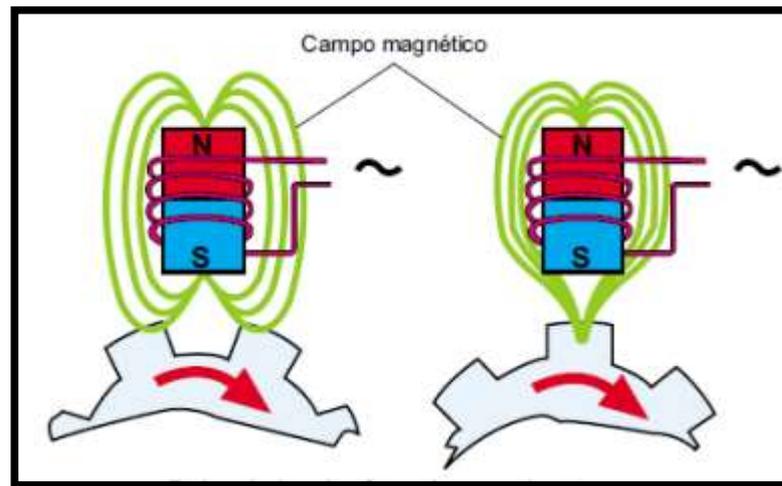
### **2.6.3. Sensor de revoluciones.**

Estos sensores son los encargados de transmitir a la ECU el giro o posición angular del cigüeñal y árbol de levas en la que se encuentran, los más utilizados con los de efecto Hall o Inductivos, debido a las grandes exigencias por parte de los sistemas CRDI, se lo hace por medio de estos son sensores.

### **2.6.4. Sensor CKP (Crankshaft position)**

(Guarella, Heredia, Rodríguez, & Bagatto, 2011) cuentan que: Este tipo de sensores basan su funcionamiento en el fenómeno electromagnético, es decir, la relación que existe entre el magnetismo y la electricidad. Cuando una bobina es sometida a la variación de un campo magnético, se produce en ella una corriente eléctrica alterna producida por efecto de la inducción magnética. (pág. 15).

Sensor de posición del cigüeñal de tipo inductivo reporta el número y secuencias de las ranuras realizadas en el plato del convertidor de torsión para que conjuntamente con la ECU ubique la posición del cilindro n°1 en el PMS por medio de pulsos eléctricos y posteriormente calcular las revoluciones del motor.



**Figura 10: Principio de funcionamiento del sensor**

Fuente: (Guarella, Heredia, Rodríguez, & Bagatto, 2011)

Este tipo de sensores puede tener 2 terminales una que le pertenece a la señal de referencia y el otro que proporcionará la alimentación en voltaje, en este caso la tierra será proporcionado por el cuerpo del inyector. Cuando este importante inyector el vehículo simplemente no enciende y se reflejara la luz de Check Engine en tablero de instrumentos.

Los códigos que se generan cuando falla el sensor son:

- P0335 Falla en el circuito CKP
- P0336 Rango o funcionamiento
- P0337 Baja la señal de entrada
- P0338 Alto ingreso de señal
- P0340 No hay señal de sincronización.

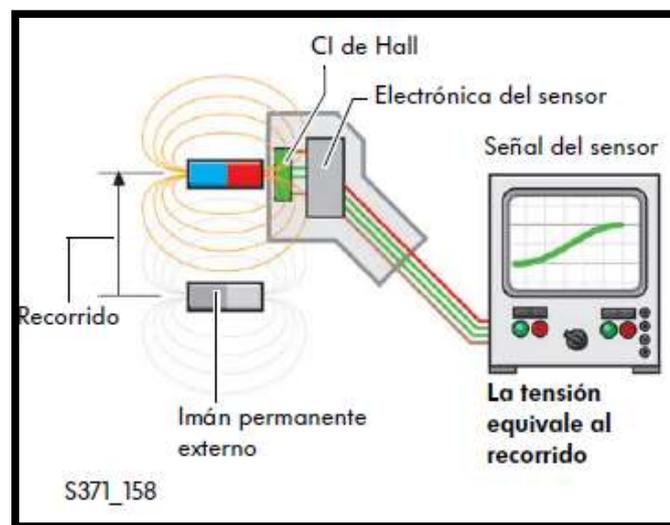
### 7.3.2 Sensor de la posición del árbol de levas CMP.

(Guarella, Heredia, Rodríguez, & Bagatto, 2011) Aseguran que: Se utiliza como detector de revoluciones y de posición angular del cigüeñal. La diferencia respecto al transmisor de regímenes de revoluciones magnéticos radica en que la señal emitida es cuadrada y, por lo tanto, es más fácil de

interpretar por la Unidad de Control Central. Gracias al principio de funcionamiento, esta entrega una señal de gran confianza en todo rango de revoluciones del motor. (pág. 15)

(Figard, 2011) aseguran que: Según la arquitecta del sensor Hall y del imán permanente también es posible detectar y medir ángulos de giro con ayuda del principio de Hall. En el sensor se colocan para ello dos ICs de Hall de modo que se encuentren en disposición.

Ambos ICs de Hall suministran tensiones Hall apuestas a raíz de su posición. Con ayuda de estas dos tensiones la electrónica del sensor calcula la variación angular del eje giro. (pág.6)



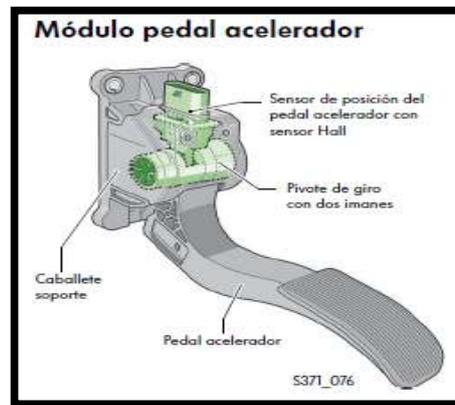
**Figura 11: Sensor de la posición del árbol de levas CMP**

Fuente: (Figard, 2011)

#### **2.6.5. Sensor de posición del acelerador.**

(BOSCH, 1999) comenta que: Contrario a las bombas convencionales de inyección rotativas o de inyección en líneas, en el sistema EDC, el deseo del conductor ya no transmite a la bomba de inyección mediante un cable de tracción o un varillaje, sino que se registra con un sensor de pedal acelerador y se trasmite a la unidad de control. En dependencia de la posición del pedal de acelerador una tensión mediante un potenciómetro. Conforme a una línea característica programada se calcula la posición del pedal acelerador a partir de la tensión. (pág.16).

Este tipo de sensor se encarga de medir la posición a la que está sometido el pedal por la presión del pie del conductor. Esto permite variar la cantidad inyecciones para subir o bajar las revoluciones del vehículo, este sensor tiene un funcionamiento tipo Hall.

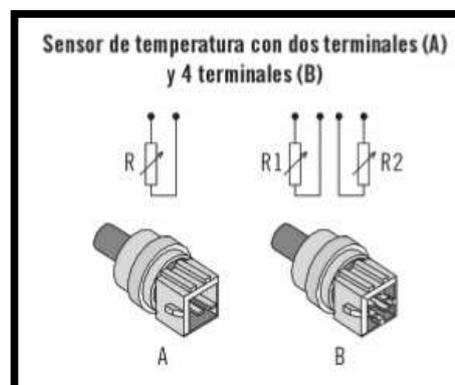


**Figura 12: Figura. Sensor de posición del acelerador.**

Fuente: (Figard, 2011; Figard, 2011)

#### 2.6.6. Sensor de temperatura del motor.

(Rodríguez Melchor , 2012) indica que: Este sensor suele ser una resistencia variable, la cual varía con la temperatura. La tecnología y tipos son similares a la del sensor de temperatura del aire de admisión. Se instalan en el circuito de agua de refrigeración o el bloque del motor y suelen incorporar dos resistencias variables, una para el sistema de inyección y otra para el reloj de temperatura del cuadro de instrumentos". (pág. 12)



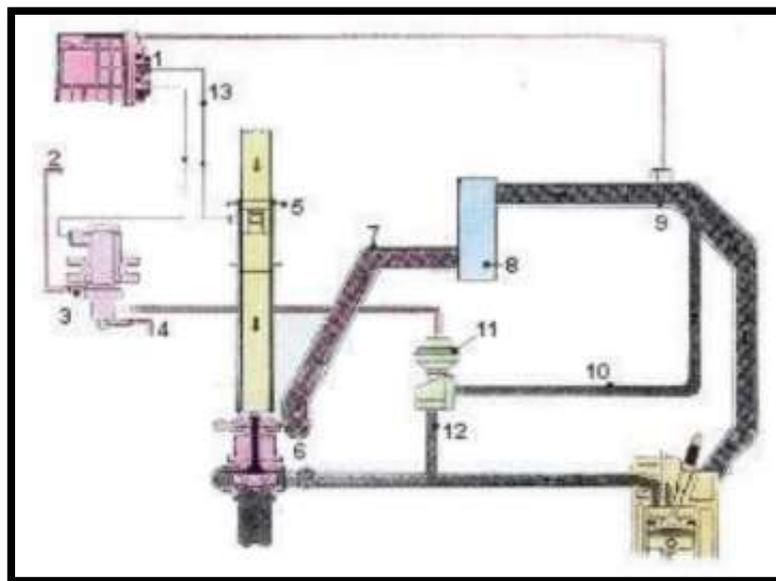
**Figura 13: Sensor de temperatura**

Fuente: (Rodríguez Melchor , 2012)

(Rodríguez Melchor , 2012) agrega que; La señal que envía el sensor de temperatura del motor a la ECU se utiliza para calcular el tiempo de inyección, regular el actuador de ralentí, puesta en marcha de los electroventiladores de refrigeración del motor, para parar el compresor de aire acondicionado di la temperatura del motor es muy elevada, etc. (pág. 10)

## 2.7. Sistema de recirculación de gases de escape EGR

(Automotriz.ORG, 2016) “la recirculación de gases de escape EGR cumple con la función principal de reducir las sustancias nocivas para el ambiente, NO<sub>x</sub>, por medio de esta válvula se agrega una parte de los gases de escape al aire fresco alimentado al motor. De esta forma se reduce el contenido de oxígeno en la cámara de combustión y por consiguiente se reduce la temperatura en dicha cámara, reduciéndose a su vez la generación de óxidos nitroso NO<sub>x</sub>. Pero, la cantidad de gas de escape a recircula, está limitada por el ascenso de las concentraciones de hidrocarburos CH y monóxido de carbono CO y emisiones de partículas. (pág. 8)



**Figura 14: Sistema de recirculación de gases de escape EGR**

Fuente: (Automotriz.ORG, 2016)

Tabla 6

Partes del sistema de recirculación de gases de escape EGR

Partes de la EGR	
1.- Computador	8.- Intercooler
2.- Presión atmosférica	9.- Aire comprimido-frío
3.- Electroválvula comando EGR	10.- gases de escape a la admisión
4.- Depresión de bomba	11.- Válvula EGR
5.- Medidor de masa de aire	12.- Gases de escape a EGR
6.- Turbocompresor	13.- Señales eléctricas
7.- Aire comprimido	

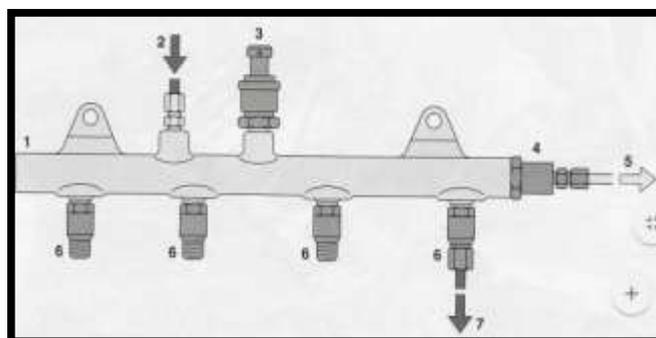
Fuente: (Automotriz.ORG, 2016)

### 2.8. Riel common o acumulador de alta presión.

(BOSCH, 1999) informa que: El acumulador de alta presión tiene la misión de almacenar el combustible con alta presión. Al hacerlo deben amortiguarse mediante el volumen acumulado, oscilaciones de presión producidas por el suministro de la bomba y la inyección. (pág. 86)

La presión en el distribuidor de combustible común para todos los cilindros en el common rail se mantiene a un valor casi constante incluso al extraer grandes cantidades de combustible.

Con esto se asegura que permanezca constante la presión de inyección al abrir el inyector”.



**Figura 15: Acumulador de alta presión Rail**

Fuente: (BOSCH, 1999)

## 2.9. Partes del Riel Common.

Tabla 7

Partes del riel common

Partes
2.- Toma de ingreso de combustible.
3.- Sensor de presión del rail
4.- Válvula limitadora de presión
5.- Retorno del rail al depósito de combustible
6.- Limitador de flujo
7.- Tubería de alimentación al inyector.

Fuente: (BOSCH, 1999)

### 2.9.1. Generalidades de la evolución del riel común.

En la gráfica 16. Se puede observar la evolución y las mejoras que han tenido que ser implantadas en el riel para poder cumplir con las rigurosas normas de descontaminación EURO 3,4&5.

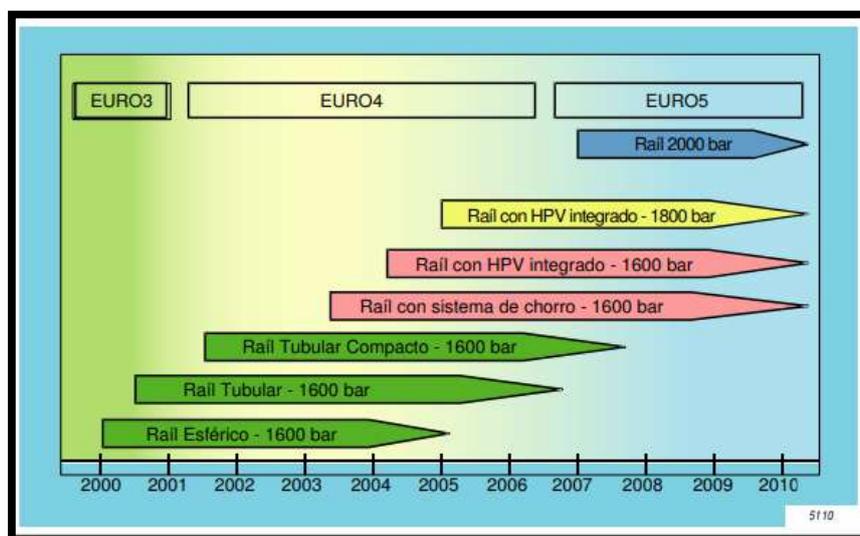


Figura 16: Evolución del riel común

Fuente: (DELPHI, 2007)

### 2.9.2. Parámetros a considerar al seleccionar el riel correcto.

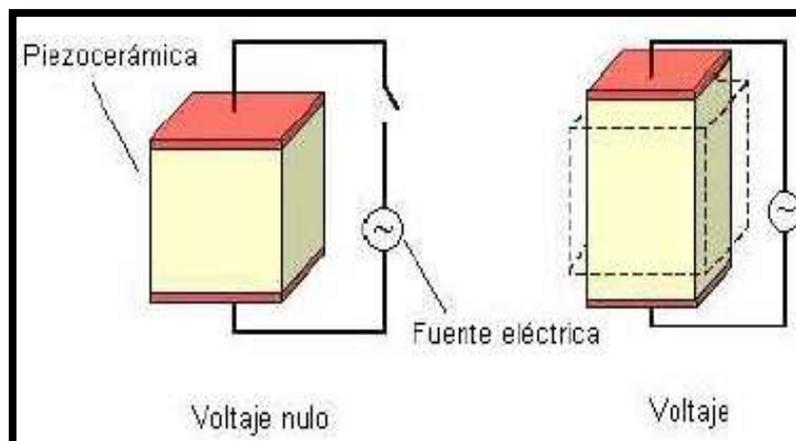
(DELPHI, 2007) recomienda que: Cuanto más bajo es el volumen interno del riel, más fácil es llenarlo o vaciarlo y así pues hacer aumentar o bajar la

presión. Estas ventajas se adquieren en detrimento de la estabilidad del control de la presión o del porcentaje de introducción al final de la inyección. La elección del volumen del rail reside pues en un compromiso entre las duraciones de fases transitorias y la importancia de la caída de presión en el transcurso de la inyección o la estabilidad de control.

## 2.10. Materiales y fundamentos piezoeléctricos.

En su artículo (Jiménez, 2010) menciona que: El efecto piezoeléctrico describe la relación entre una tensión mecánica y un voltaje eléctrico en sólidos. Es la capacidad de ciertos materiales-minerales, cerámicas y algunos polímeros para producir una carga eléctrica en respuesta a un esfuerzo mecánico aplicado. También puede observarse el efecto inverso, en el que los materiales piezoeléctricos se deforman por la aplicación de un campo eléctrico. (pág. 1)

A continuación, se muestra esquemáticamente el efecto piezoeléctrico:



**Figura 17: Efecto piezoeléctrico**

**Fuente:** (Jiménez, 2010)

(Jiménez, 2010) comenta que: En el efecto piezoeléctrico directo, la compresión de un material genera cargas eléctricas opuestas sobre las caras respectivas de la muestra. En el efecto piezoeléctrico inverso, la aplicación de un voltaje a un material piezoeléctrico produce una cierta deformación. (pág. 2)

(Jiménez, 2010) comenta que: La piezoelectricidad fue descubierta de 1880 por Jacques y Pierre Curie. Los hermanos Curie descubrieron que cuando se aplico una tensión a ciertos cristales como la turmalina, el cuarzo, el topacio y la sal Rochelle, aparecía una carga eléctrica, y su voltaje era proporcional a la tensión. De los materiales mencionados, solo el cuarzo se utiliza hoy en día comercialmente. Todos los demás cristales piezoeléctricos importantes desde el punto de vista práctico se obtienen de forma artificial. (pág. 2)

(Archilla, 2015) Manifiesta que: Un paso delante de la aplicación del efecto piezoeléctrico se dio en 1950 cuando Walter P. Kistler patentó el amplificador de carga para señales piezoeléctricas”. (pág. 2)

(Jiménez, 2010) especifica que: Los materiales piezoeléctricos monocristalinos se siguen desarrollando, los materiales piezoeléctricos más utilizados son los materiales cerámicos policristalinos y los polímeros. Estos materiales presentan carácter piezoeléctrico de haber sido sometidos a una polarización artificial. El polímero piezoeléctrico más desarrollado es un polifluoruro de vinilideno (pág. 2)

Debido a las grandes prestaciones mecánicas y eléctricas que se consigue con estos materiales, las personas se han visto en la plena necesidad de seguir investigando y abriendo nuevos campos de aplicación.

(Jiménez, 2010) asegura que: La evolución se ha tenido el estudio de los materiales piezoeléctricos en los últimos años, se han seleccionado los datos correspondientes a la publicación de artículos y publicaciones de conferencias entre el año 1980 y 2009. Para la realización de las búsquedas se ha utilizado la base de datos de la Web of Knowledge.

A continuación, se presenta un gráfico donde se muestran los datos obtenidos.



**Figura 18: Evolución del estudio piezoeléctrico.**

**Fuente:** (Jiménez, 2010)

(Jiménez, 2010) confirma que: Según los datos obtenidos, Estados Unidos es el país que en los últimos 5 años está publicando e investigando más en este tema, seguido de China y Japón, España representaría casi el 2% mundial. (pág. 3)

A continuación, se presentará una gráfica de los solicitantes más prolíficos en cuanto a registros de patentes, desde el año 2006 hasta la fecha actual:

POSICIÓN	SOLICITANTE	Nº PATENTES
1	SEIKO EPSON CORP	2438
2	MURATA MANUFACTURING CO	1002
3	EPSON TOYOCOM CORP	824
4	BROTHER IND LTD	674
5	KYOCERA CORP	637
6	MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD	619
7	SAMSUNG ELECTRONICS	615
8	BOSH GMBH ROBERT	611
9	NGK INSULATORS LTD	539
10	CANON KK	494
11	FUJI PHOTO FILM CO LTD	487
12	TDK CORP	392
13	SIEMENS AG	370
14	FUJITSU LTD	355
15	DENSO CORP	351
16	KYOCERA KINSEKI CORP	320
17	NIHON DEMPYA KOGYO CO	278

**Figura 19: Empresas con detalle de patentes**

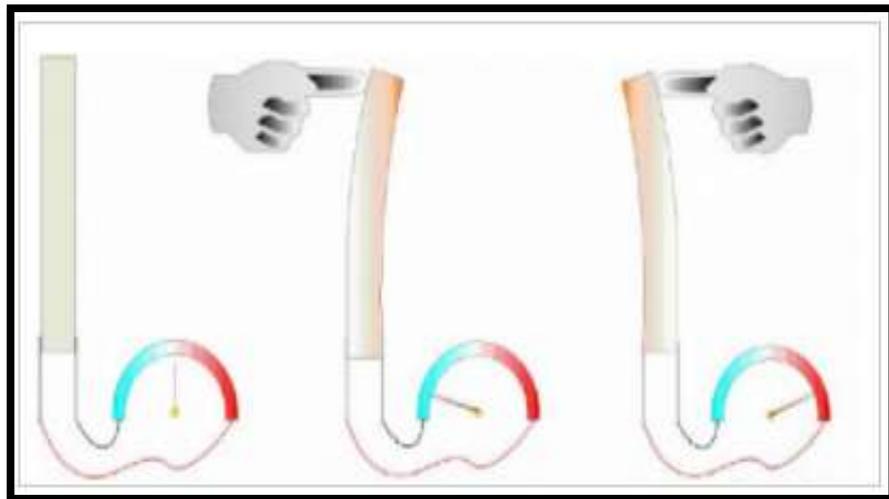
**Fuente:** (Jiménez, 2010)

Como se puede apreciar en la figura 20. Se ve claramente que son empresas japonesas las que se imponen como pioneros en la creación de nuevos productos a base de estos materiales.

Reconocidas marcas, fabricantes de componentes eléctricos para vehículos como Bosch, NGK, SIEMENS y DENSO CORP no fueron las excepciones en el registro de patentes a base de la piezoelectricidad.

Estas grandes empresas manufactureras utilizan el cuarzo y el principio de piezoelectricidad para aplicar a diferentes de sus componentes automotrices, los cuales aportan grandes ventajas y beneficios al campo automotor.

En su artículo informativo (Augeri, 2010) coincide que: la operación de estos inyectores se realiza por un efecto llamado piezoeléctrico. El fenómeno piezoeléctrico consiste en un cristal de cuarzo que cambia de tamaño cuando se somete a un impulso eléctrico. Inversamente es capaz de generar un impulso eléctrico si se fuerza a cambiar deformándolo”.



**Figura 20: Funcionamiento piezoeléctrico**

Fuente: (Augeri, 2010)

### **2.10.1. Efecto Piezoeléctrico.**

(Guarella, Heredia, Rodríguez, & Bagatto, 2011) determinan que: El efecto piezo eléctrico consiste en la aparición de una polarización eléctrica en un material al deformarse bajo la acción de una fuerza. Determinados cristales naturales (cuarzo) o sintéticos tiene una disposición atómica tal que cuando

son sometidos a una fuerza de compresión, su estructura se deforma de tal modo que las cargas eléctricas (electrones y protones) se desplazan en sentido opuesto, perdiendo su equilibrio total, lo que hace surgir una diferencia de tensión entre una cara y la otra”. (pág. 8)

### 2.10.2. Principio de funcionamiento de la piezoelectricidad.

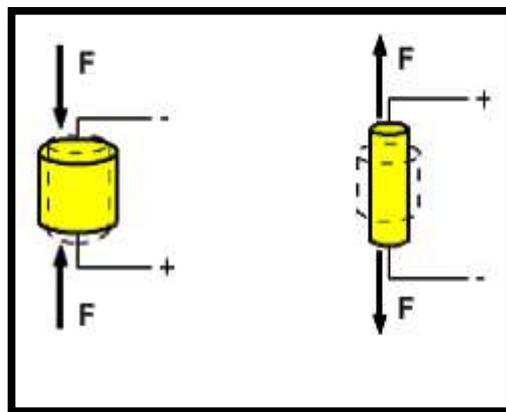
En los materiales piezoeléctricos existen dos métodos con los cuales se puede trabajar y son:

a) Principio piezoeléctrico.

(Archilla, 2015) Manifiesta que; si se comprime el cristal-cuarzo o turmalina, se observa o genera una tensión en sus límites.

Si el material se estira se tendrá una tensión de sentido inverso.

Este tipo de principio se puede encontrar, por ejemplo, en los sensores de presión



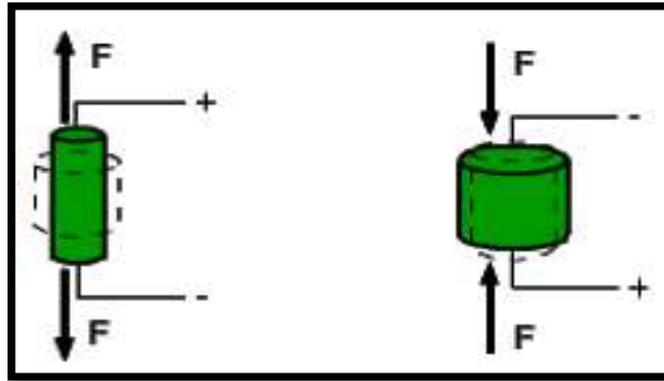
**Figura 21: Principio piezoeléctrico**

**Fuente:** (Archilla, 2015)

b) Principio piezoeléctrico inverso.

(Archilla, 2015) comenta que; si se aplica una tensión polarizada al cristal-cuarzo o turmalina, se produce un estiramiento del mismo.

Si la tensión aplicada sobre el material es de sentido inverso, se produce una compresión de cristal.

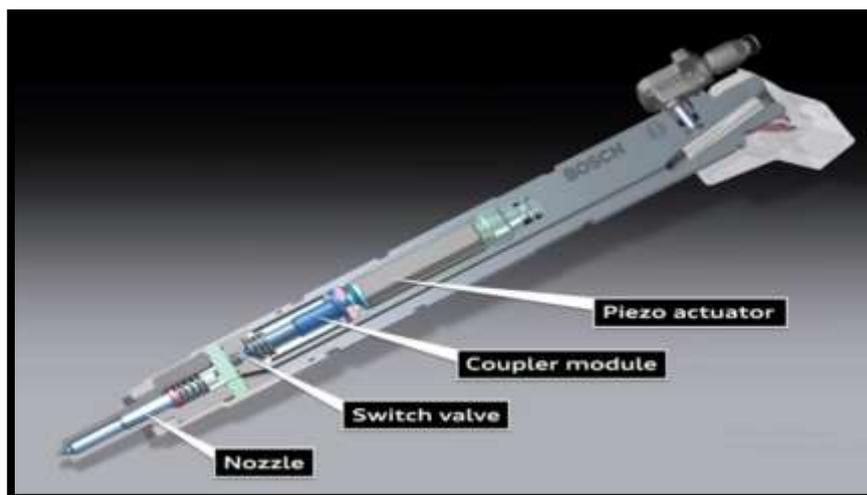


**Figura 22: Principio piezoeléctrico inverso.**

Fuente: (Archilla, 2015)

### 2.11. Funcionamiento del inyector Piezoeléctrico.

(Lara & Monteros, 2016) concluyen que: Para el funcionamiento de estos inyectores el computador (UCE) aplica 70 voltios sobre las placas del piezoeléctrico, con esto el cuarzo tiende a dilatarse. La tensión de la carga sube 0.2 milisegundos 140 voltios y se mantiene así gracias a las presencias de un condensador, todo esto proceso de dilatación hace que la aguja se abra y produzca la inyección; esta corriente se llama “de carga” y es aproximada de 7 amperios, se usa un pulso de corriente en sentido contrario llamado “descarga” lo que provoca que la aguja vuelva a su posición original.



**Figura 23: Inyector piezoeléctrico Bosch**

Fuente: (eautocommx, 2013)

### **2.11.1. Implementación de los inyectores piezoeléctricos en los sistemas Crdi Bosch.**

Este tipo de inyectores de 3era generación fue incluido en el sistema CRDI desde mayo de 2003 cumpliendo con la normativa Euro 4

(Archilla, 2015) asegura que; “dichos inyectores se pueden encontrar a partir de las motorizaciones con sistema de inyección de tipo common rail de 3era generación, con cuya fecha de producción de 05-2003, cumpliendo con la normativa Euro 4.

Uno de los primeros inyectores piezoeléctricos, los fabrico Siemens y se instalaron en el motor diésel 1.4 HDI del grupo PSA”.

### **2.11.2. Conjunto porta tobera Bosch (porta inyector)**

(Bepmale, 2012)informa que: La porta tobera son mecanismo encargado de alojar a las toberas dentro de los motores Diésel, cada cilindro necesita de la presencia de una porta tobera, como se ilustra en la figura 77. A demás de mantener la tobera en la dirección del cilindro, tiene la función de conducir el diésel desde el riel hasta la tobera. La porta toberas de Bosch son producidos bajo estrictos controles de fabricación. Si se utiliza una tobera de diferente manufactura en este sistema, se corre el riesgo de provocar una pérdida de presión, mala pulverización, fugas y por ende exceso de humo en los gases de escape. (pág. 15)



**Figura 24: Porta inyectores Bosch**

**Fuente:** (Bepmale, 2012)

(Bepmale, 2012) cuenta que: poseen una gran precisión en su acabado, ya que son encargados de la pulverización del combustible en la cámara de combustión del motor. Las toberas con sus respectivas partes se las puede observar en las figuras 25, mientras la pulverización sea mayor, el motor va a ofrecer al conductor mayor prestación en rendimiento, economía y medio ambiente. Normalmente los motores modernos vienen equipados con toberas las cuales en el proceso de pulverización trabajan a presiones y temperaturas elevadas, esto permite que se desarrolle la mayor potencia posible. (pág.16)



**Figura 25: Tipos de toberas de inyectores Bosch**

**Fuente:** (Bepmale, 2012)

### **2.11.3. Características y ventajas de las toberas Bosch**

Existen diferentes tipos de toberas Bosch, ya que son diseñadas especialmente dependiendo el diseño y exigencias de los diferentes tipos de motores que poseen estos inyectores, cada uno de los modelos cuenta con características y prestaciones que se verificarán en la tabla 8.

Tabla 8

Características de las toberas Bosch:

Características	Ventajas	Beneficios
Precisión de los orificios de inyección	Pulverización perfecta	Combustión completa
Superficie con adición de cromo	Mayor durabilidad	Menor gastos de mantenimiento
Sellado total en la línea interna de contacto	Mayor sellado interno	No gotea el combustible (ahorro de dinero)

Fuente: (Bepmale, 2012)

### 2.12. Control electrónico en el inyector piezoeléctrico.

Hay que tener muy en cuenta que los inyectores piezoeléctricos son accionados por medio de la unidad de control ECU, esta se encarga de recibir todos los datos generados por los sensores y procesa la información y dependiendo de los requerimientos del conductor acciona y detiene dejando de proporcionar señales eléctricas al sistema.

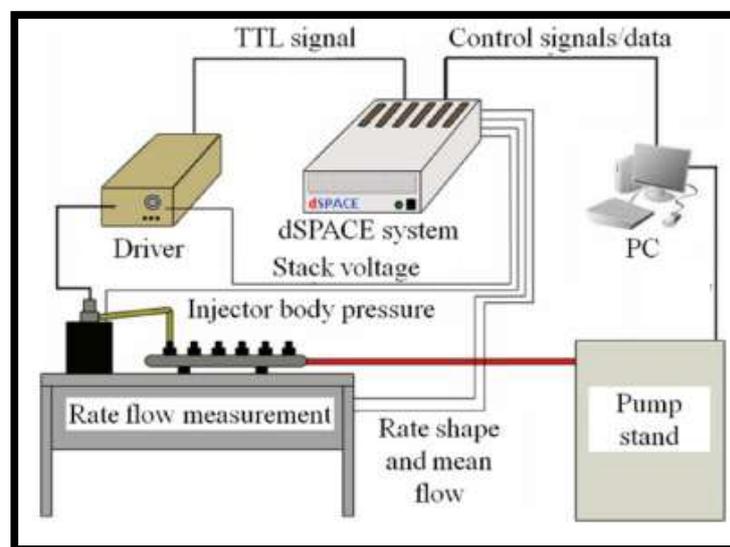
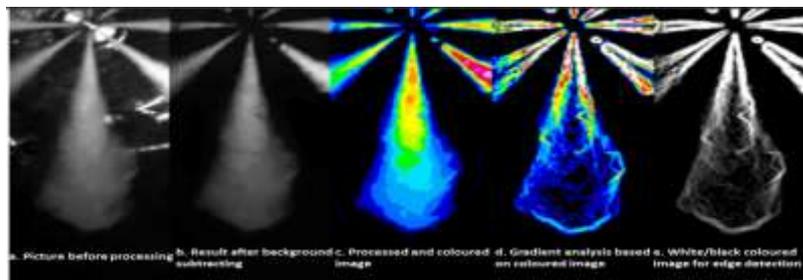


Figura 26: Funcionamiento electrónico esquemático del inyector piezoeléctrico.

Fuente: (Satoski, Ruikar, & Biggs, 2012)

### 2.13. Importancia de una buena pulverización del inyector Bosch.

En su libro (Bosch, Sistema de inyección Diésel por acumulador Common Rail, 2005) manifiesta que: Los requisitos de un menor consumo de combustible, menos cantidad de sustancias nocivas en los gases de escape y un funcionamiento más silencioso del motor someten a mayores exigencias al motor y al sistema de inyección. Estas exigencias pueden satisfacerse solo con un sistema de inyección capaz de trabajar con una elevada presión de inyección para conseguir una pulverización fina de combustible por los inyectores, de dosificar con gran exactitud el caudal de inyección y pos inyección. El sistema de inyección por acumulador common rail es capaz de satisfacer dichos requisitos.



**Figura 27: Inyección con varios orificios de pulverización**

Fuente: (Yu, y otros, 2016)

#### 2.13.1. Verificación y control de los inyectores

Los inyectores al igual que varios elementos que internamente contienen mecanismos que constantemente están en contacto o fricción tienen como consecuencia revisarlos para poder determinar si es necesario su reparación o sustitución.

Los típicos síntomas que presenta un inyector cuando está en mal funcionamiento son:

- Excesivas cantidades de humo negro en el escape.
- Pérdida de potencia en el motor.
- Ruidos elevados por golpeteo
- Aumento de consumo de combustible.
- Elevaciones de temperatura constantes.

### 2.13.2. Parámetros de funcionamiento del inyector piezoeléctrico.

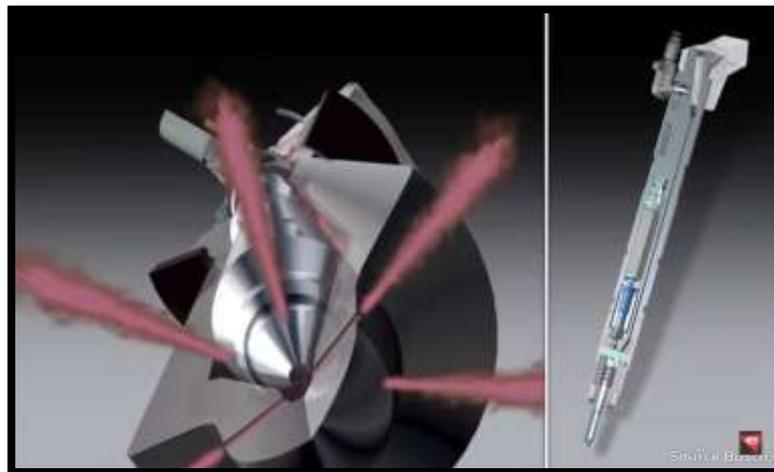
Estos inyectores han sido diseñados para cumplir con las exigencias que demandan los nuevos motores diésel y cumplir con las normativas de control de emisiones Euro 3&4, para ello, el inyector debe cumplir con las siguientes exigencias del mercado.

- Permitir múltiples inyecciones por cada ciclo (5min)
- Inyectar partículas de combustible mucho más pequeñas (0.5mg/cp)
- Presiones elevadas que superen los 1800 bar.
- Distribuir de forma homogénea en el cilindro.

Para poder cumplir con todas estas exigencias existen modificaciones ventajas como:

(DELPHI, 2007) informa que:

- Modificación del diámetro de estanqueidad del inyector.
- Aumento de número de orificios de pulverización.
- Agujeros de forma cónica los cuales ayudan a aumentar la presión y una mejor atomización del combustible.
- Inyectores conformados por material con altas prestaciones térmicas y mecánicas para soportar las altas temperaturas y presiones que se generan en la cámara de combustión.

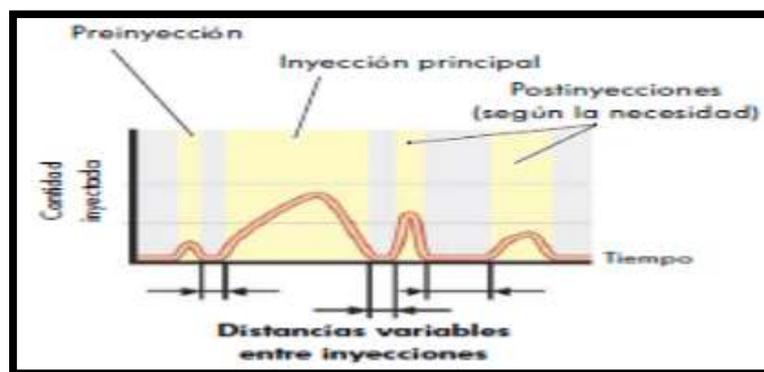


**Figura 28: Porta aguja del inyector crdi**

**Fuente:** (eautocommx, 2013)

## 2.14. Desarrollo del ciclo de la inyección.

(Barbadillo, 2014) comenta que: Cada fase de inyección plantea sus propias exigencias muy específicas a la presión que debe actuar. Por ejemplo, la preinyección necesita una baja presión, mientras que la inyección principal requiere una presión de inyección muy alta. Gracias a que se ha logrado ampliar el margen de las presiones de inyección (130 - 2.200 bares) se ha conseguido también aquí una mejora. Esto se traduce en un mejor comportamiento de las emisiones y la posibilidad de obtener una mayor potencia. (pág.1)



**Figura 29: Fases de la inyección de un inyector piezoeléctrico**

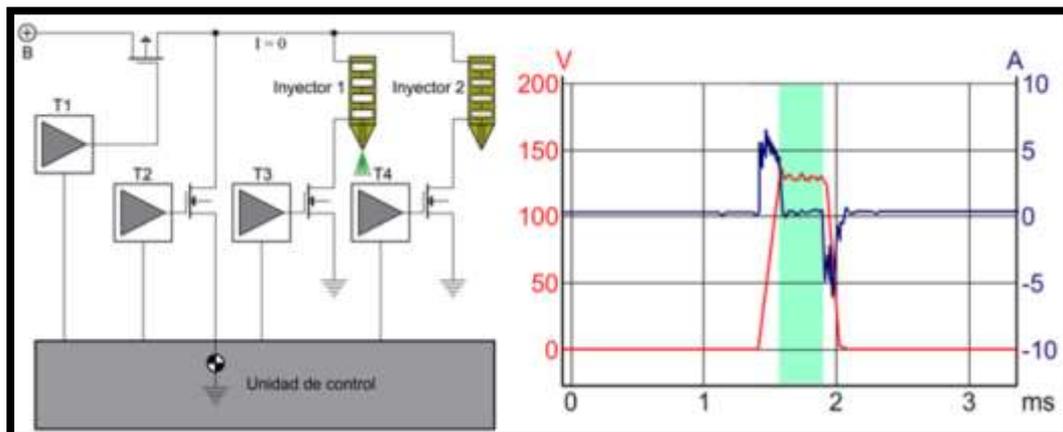
Fuente: (Barbadillo, 2014)

### 2.14.1. Gestión de la inyección.

(Barbadillo, 2014) indica que: Debido a que la nueva válvula piezoeléctrica tiene una velocidad de conmutación aproximadamente cuatro veces superior a la que tenía la válvula electromagnética, resulta posible cerrar y abrir nuevamente la válvula de conmutación para cada una de las fases de inyección. Esto permite gestionar de un modo más flexible y exacto las fases de inyección y las cantidades inyectadas. (pág.2)

#### 1) Inyector piezoeléctrico cerrador.

(Archilla, 2015) al no recibir excitación, el actuador piezoeléctrico se encuentra en estado de reposo y el inyector cerrado. Para iniciar la inyección, la unidad alimenta el actuador con positivo y negativo al recibir tensión y por efecto piezoeléctrico inverso, el actuador se dilata y abre el inyector. (pág. 2)

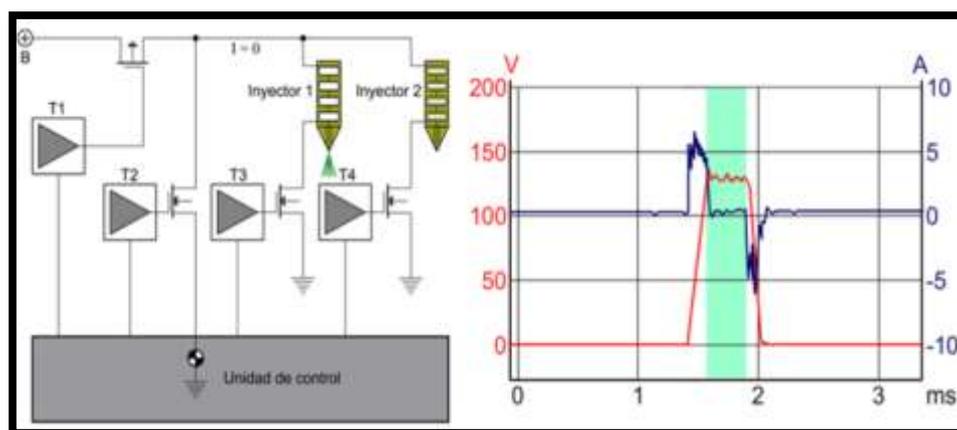


**Figura 30: Inyector cerrado**

Fuente: (Archilla, 2015)

## 2) Inyector piezoeléctrico abierto-Inyección.

(Archilla, 2015) Una vez abierto, deja de ser excitado. El actuador funciona como un condensador, reteniendo la carga eléctrica, permaneciendo dilatado y el inyector abierto. Por este motivo no se debe desconectar un inyector piezoeléctrico con el motor en marcha, puesto que pueda quedarse abierto produciendo graves daños al motor. (pág.2)



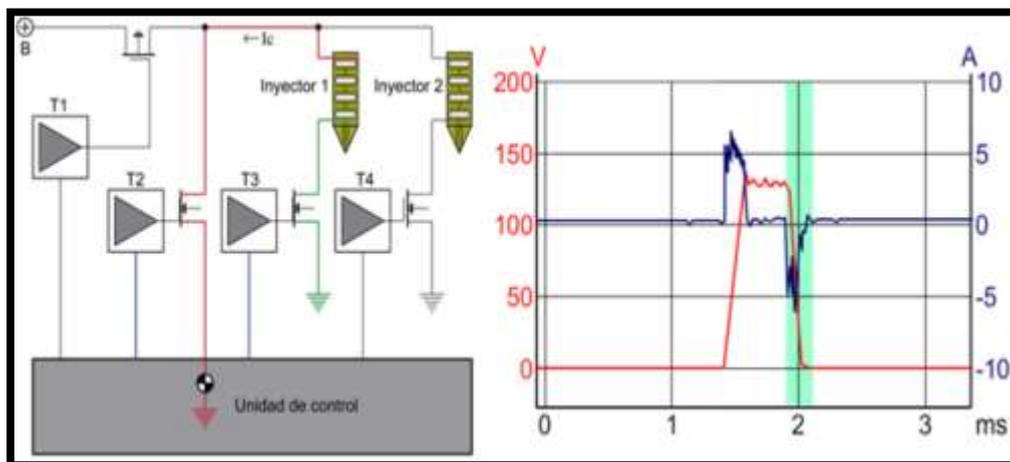
**Figura 31: Inyector abierto**

Fuente: (Archilla, 2015)

### 3) Inyector piezoeléctrico cerrado-final de la inyección.

(Archilla, 2015) “Para poder cerrar el inyector la unidad actúa como consumidor, descargando la tensión en el actuador comandada por la ECU”.

Una vez que se descarga por completo el sistema el inyector regresa a su estado de reposo.



**Figura 32: Final de la Inyección**

Fuente: (Archilla, 2015)

#### 2.15. Pruebas de funcionamiento de los inyectores Piezoeléctricos.

Para los inyectores piezoeléctricos se debe realizar otro tipo de pruebas, ya que como son accionados electrónicamente, no es posible realizarlo mediante equipos hidráulicos, es necesario disponer de un banco de pruebas especial para poder desarrollar el análisis de funcionamiento, las pruebas que se pueden realizar son;

- **Zumbido del inyector.**

(Granda & Montesdeoca, 2014) comentan que: En la fase de inyección la aguja debe oscilar a una frecuencia muy elevada, cuando el combustible llega al inyector se produce una variación de presión, durante el periodo comprendido de inicio y final de suministros. Esto hace que la aguja produzca un sonido por la oscilación de su válvula.

El sonido que produce el inyector al ser accionado nos da como referencia su estado y correcto funcionamiento.

- **Forma del chorro.**

Esta prueba en los inyectores piezoeléctricos solo se podrá realizar en un banco, ya que la activación del inyector se realiza por medio de una señal eléctrica y esto lo genera la ECU, contando con un banco se puede simular la situación real de funcionamiento, aplicando un tiempo de inyección y una presión adecuada se podrá verificar si el ángulo de inyección es el correcto o si posiblemente este sucio o averiado.

- **Goteo del inyector.**

Estas pruebas son muy comunes, ya que en estar en reposo el inyector no cierra completamente y deja pasar la alta presión del riel hacia la cámara de combustión, si tiene este defecto se debe limpiar la tobera y su válvula, si el problema persiste, es necesario llevar a un laboratorio especializado ya que el inyector puede haber quedado abierto o bloqueado durante el funcionamiento.

- **Prueba de resistencia del inyector.**

Es realmente necesario hacerlo en un banco especial para este tipo de inyectores, en la opción de prueba 1, se podrá verificar si la resistencia que genera nos refleja como infinita, esto nos indicara que el inyector está bien y es piezoeléctrico, ya que, si nos genera una resistencia, serán inyectores de bobina.



**Figura 33: Prueba de resistencia del inyector piezoeléctrico en el banco de pruebas V-3500 Bosch**

#### 2.16. Ventajas de los inyectores piezoeléctricos.

- (Satkoski, Ruikar, & Biggs, 2012) El actuador piezoeléctrico tiene un ancho de banda mayor y cuando se utiliza en un inyector puede crear la fuerza suficiente para directamente mover la aguja, esta mejora no solo permite la inyección de cadena de pulsos estrechamente espaciados, pero también acelera la abertura de la aguja.
- Conseguir presiones que superan los 2000 bar.
- Tiempos cortos de conmutación, las cuales pueden ser de 0,2 milisegundos máx.
- Inyecciones precisas.
- Debido a que se consigue varias pulsaciones en la ignición, permite reducir hasta en un 50% de emisiones de hollín sin NOx y el ruido de combustión inferior.
- Son más compactos y ligeros.
- Gran velocidad de inyección ya que tienen menos componentes internamente.

### **2.17. Desventajas de los inyectores piezoeléctricos.**

- La reparación de los inyectores piezoeléctrico actualmente es muy limitada debido a la escasa información, equipo tecnológico y a que todos sus componentes la casa Bosch los suministra únicamente como recambio.
- Son más delicados.
- Imposible su manipulación cuando están funcionando.
- Si, mientras está funcionando se queda abierto, provocara una gran avería en el motor.
- El costo del diagnóstico y la reparación son elevado.

## CAPÍTULO III

### 3. PROTOCOLO DE PRUEBAS

#### 3.1. Equipos

##### 3.1.1. Osciloscopio Hantek 1008c

El osciloscopio Hantek 1008c es completamente compatible con computadoras que posean Windows 7 por lo que hace muy fácil su instalación y de igual manera su uso, este osciloscopio automatizado tiene la capacidad de ver parámetros como la señal de inyección, periodo, frecuencia, amplitud de onda y los voltajes de tensión mínimos y máximos.

Cuenta con opciones que ayudan a la medición de valores (measure) que se miden en tiempo real y en planos bidimensionales tales como son el eje (X, Y), su uso es mucho más amigable y se puede usar para hacerlo de forma comparativa ya que este osciloscopio posee ocho canales facilitando el uso y la visualización comparativa de varias ondas al mismo tiempo.



Figura 34: Osciloscopio Hantek 1008C

Tabla 9

## Especificaciones técnicas del osciloscopio Hantek 1008c

Marca y Modelo		Hantek 1008c
<b>Vertical</b>	Canal analógico	8
	Impedancia de entrada	de Resistencia: 1mΩ
	Sensibilidad de entrada	de 10 mV / div a 5V / div
	Acoplamiento de entrada	de DC
<b>Horizontal</b>	Resolución	12bits
	Profundidad de memoria	de 4K
	Max. Entrada	400v (dc + CA pico)
	Frecuencia de muestreo en tiempo real	de 2.4msa / s
	Rango de base de tiempo	1ns / div a 20000S / div (1-2-5 secuencias)
	Base de tiempo de precisión	50ppm ±
<b>Desencadenar</b>	Fuente	CH1, CH2, CH3, CH4, CH5, CH6, CH7, CH8
	Modo	Borde
<b>Modo XY</b>	De entrada del eje X	CH1
	Entrada del eje Y	CH2
<b>Cursosores y medición</b>	Medición de la tensión	VPP, Empeine, v <sub>max</sub> , v <sub>min</sub> , V <sub>top</sub> , VMID, V <sub>base</sub> , V <sub>promedio</sub> , V <sub>rms</sub> , V <sub>crms</sub> , preimpulso, rebasamiento
	La medición del tiempo	Frecuencia, periodo, tiempo de subida, tiempo de caída, anchura positiva, anchura negativa, ciclo de trabajo
	Medición cursosores	Pista, modos de medición automática verticales, horizontales
<b>Proceso de señal de forma de onda</b>		+, -, X, ÷, FFT, invertido
<b>Rango de voltaje</b>		10mV a 5v / div @ x 1 sonda
		100mv a 50V / div @ x 10 sonda
		10v a 5000V / div @ x 1.000 sonda
		200mv a 100V / div @ 20: 1
<b>Alcance actual</b>		100mA a 50.0a / div @ cc65 (20a)
		1000ma para 500.0a / div @ cc65 (65a)
		1a a 100.0a / div @ CC650 (60a)
		10a a 1000.0a / div @ CC650 (650a)
		1a a 200.0a / div @ CC1100 (100a)
<b>Cursor</b>		Diferencia de frecuencia, diferencia de voltaje
<b>FFT</b>		Rectangular, Hamming, haming, ventana Blackman
<b>Mates</b>		Suma, resta, multiplicación, división
<b>Generador Programable</b>		
<b>Canal</b>		8
<b>Nivel de salida</b>		LVTTTL
<b>Rango de frecuencia</b>		0-250 khz
<b>Interfaz</b>		USB 2.0
<b>Poder</b>		No necesita fuente adicional

CONTINUA



<b>Medición</b>	Tamaño	185 x 150 x 27(mm)
	Peso	0.35 KG

Fuente: (Leon, 2017)

### 3.1.1. Banco de pruebas Tester CRDI V – 3500 VNP

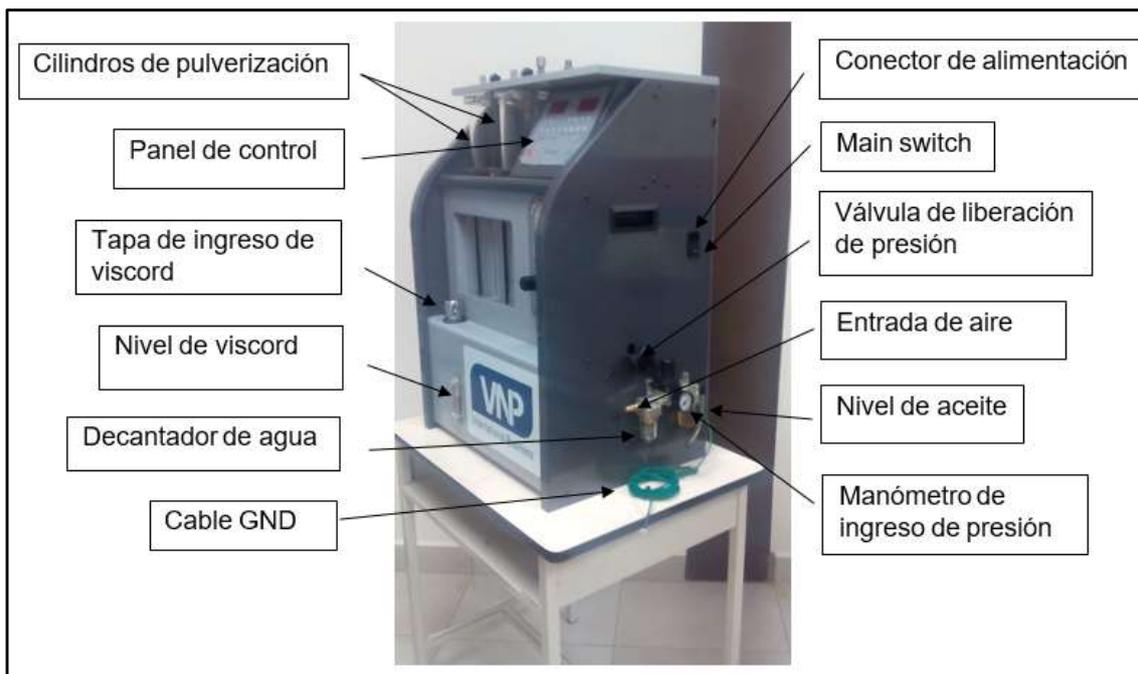
El Tester CRDi v-3500 es un banco de pruebas que nos ayuda al diagnóstico de los inyectores piezoeléctricos e inductivos ya sea de forma eléctrica y de igual manera en la parte hidráulica, todo esto se lleva a cabo ya que esté tester cuenta con un cambio consecutivo de los números de inyecciones, el tiempo de inyección y una variación de presión lo que hace que sea idóneo ya que trabaja a diferentes regímenes, los cuales se definirán posteriormente que parámetros se usaran.

El tester V-3500 posee una interfaz numérica digital y analógica que es fácilmente controlable mediante botones de pulsaciones que son los que ayudan al cambio de las funciones y de los ciclos de trabajos al que se le quiera someter al inyector, también consta de probetas donde es apreciable la cantidad de caudal producto de un tester realizado y cilindros donde se realizan la pulverización del viscor para ser observable el trabajo que realiza el inyector.

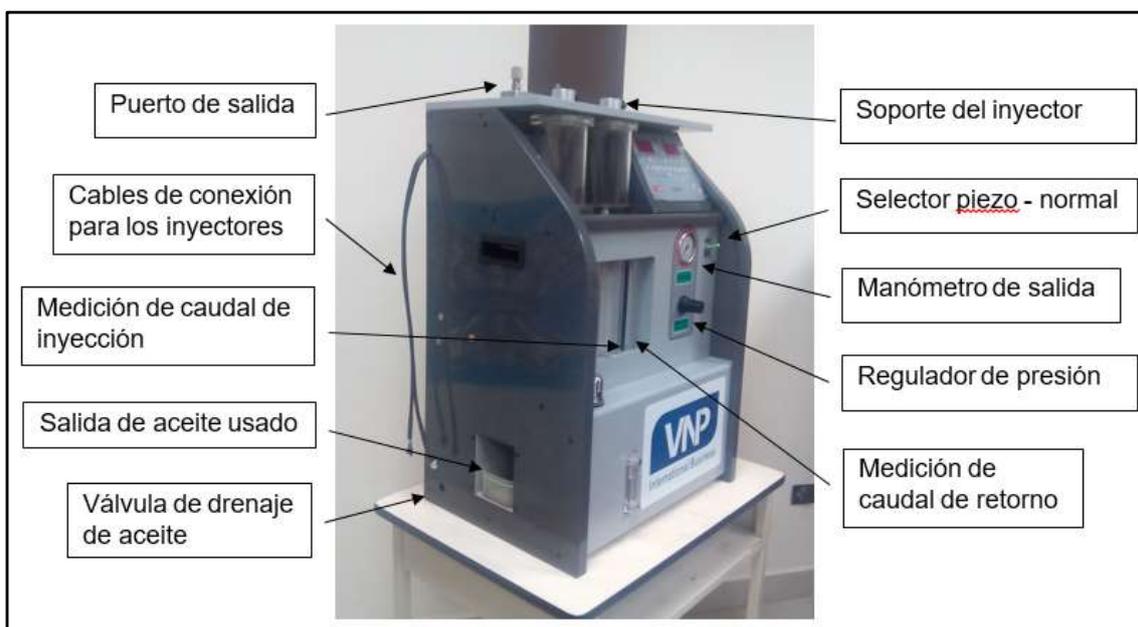
Tabla 10

Especificaciones del tester CRDI v – 5300 VNP

<b>Categoría</b>	<b>Especificación</b>
<b>Producto</b>	VNP Internatinal Business
<b>Modelo No.</b>	MT 3500
<b>Tipo de control</b>	Digital, Neumático
<b>CPU</b>	18.4 MHz
<b>Entrada</b>	AC 110, Max 300W
<b>Salida</b>	DC 0 – 12V, Max 200W
<b>Corriente de funcionamiento</b>	13A / Max 25A
<b>Entrada de presión</b>	8 bar
<b>Salida de presión Max.</b>	800 bar
<b>Temperatura</b>	5 – 40 `C
<b>Fusible</b>	110V 2 <sup>a</sup>
<b>Peso</b>	55Kg



**Figura 35: Tester V-3500, vista isométrica derecha**



**Figura 36: Tester V-3500, vista isométrica izquierda**

### 3.1.2. Pinza amperimétrica Brain Bee

En la medición de consumo de corriente se debe usar la pinza amperimétrica ya que esta nos permite una medición sin tener la necesidad de interrumpir el circuito o el flujo de corriente evitando la caída de tensión, solo se debe direccionar el flujo con la flecha marcada en la misma pinza.

La forma de medición de corriente del circuito está basada indirectamente sobre el flujo de corriente a través de un campo magnético generado por la misma, recibe el nombre de pinza amperimétrica ya que posee dicha forma un sensor que se abre y cierra en el cable cuya corriente se requiera medir.



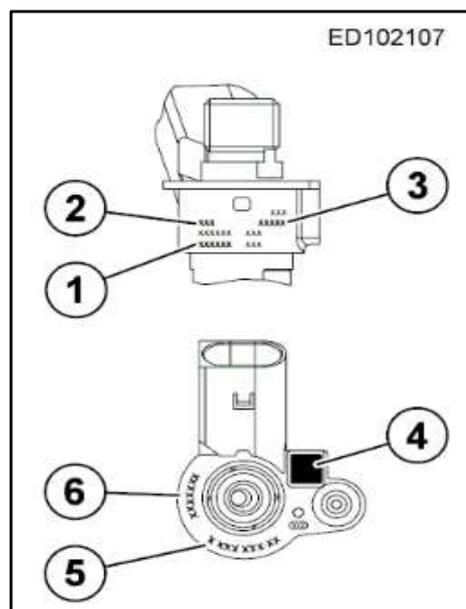
**Figura 37: Pinza Amperimétrica**

Tabla 11: Especificaciones de la pinza amperimétrica

<b>Pinza Amperimétrica</b>	
<b>Entrada</b>	60A Max AC/DC
<b>Salida</b>	10mV/A – 100mV/A
<b>Max voltaje</b>	240V – AC / 300V – DC

### 3.2. Especificaciones de los inyectores CRDI Bosch

#### 3.2.1. Inyector CRDI Bosch 0445115045

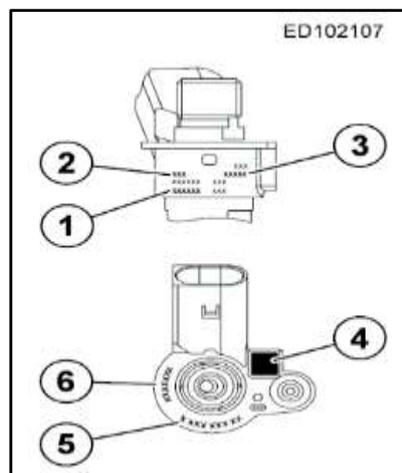


**Figura 38: Especificaciones del inyector Bosch 045**

La identificación de los componentes se explica a continuación:

1. Numero de pedido de Bosch (10 dígitos)  
0445 115... = CRI 3-16 (CRI 3.0) 1600 bar  
0445 116... = CRI 3-16 (CRI 3.2) 1800 bar  
0445 117... = CRI 3-16 (CRI 3.3) 2000 bar
2. Numero de inyector (5 dígitos)
3. Fecha de fabricación (día mes año, 2 cifras)
4. Código de matriz de datos.
5. Numero de pedido del fabricante del vehículo
6. Clasificación IMA/ISA.

### 3.2.2. Inyector CRDI Bosch 0445115028



**Figura 39: Especificaciones del inyector Bosch 028**

La identificación de los componentes se explica a continuación:

1. Numero de pedido de Bosch (10 dígitos)  
0445 115... = CRI 3-16 (CRI 3.0) 1600 bar  
0445 116... = CRI 3-16 (CRI 3.2) 1800 bar  
0445 117... = CRI 3-16 (CRI 3.3) 2000 bar
2. Numero de inyector (5 dígitos)
3. Fecha de fabricación (día mes año, 2 cifras)
4. Código de matriz de datos.
5. Numero de pedido del fabricante del vehículo
6. Clasificación IMA/ISA.

### 3.3. Protocolo de montaje e instalación de los componentes

#### 3.3.1. Inspección previa del tester v-3500

Una inspección rápida del banco de pruebas V-3500 garantiza el correcto funcionamiento del mismo y de tal manera hay q tener en consideración los componentes que influyen en su uso, para los cuales se cita los siguientes componentes a tomar en cuenta:

Tabla 12

Inspección del tester v-3500

N.-	Detalle	Ubicación
1	El nivel de viscor se debe encontrar en arriba de la parte media del medidor de nivel y x debajo de la zona máxima permitida.	
2	Verificar que el nivel de aceite este dentro del límite permitido y verificar que no haya agua o impurezas, esto afecta al sistema y debe ser purgado hasta eliminar completamente el agua.	
3	El liberador de presión debe encontrarse ajustado para poder realizar las pruebas en el tester V-3500 y debe aflojarse antes de retirar los inyectores.	

Figura 42: Liberador de presión

CONTINÚA



- 
- Las cañerías que se conectan desde el teste V-3500 a los
- 4** inyectores deben estar en muy buenas condiciones para soportar las presiones de funcionamiento.



Figura 43: Cañerías de acoplamiento

- 
- Las mangueras de conexión hacia el retorno deben calzar perfectamente en los inyectores y además deben estar en perfecto estado.
- 5**



Figura 44: Mangueras de retorno

- 
- Los conectores eléctricos para los inyectores no deben presentar irregularidades en los cables de conexión.
- 6**



Figura 45: Conectores eléctricos

- 
- Tener una conexión estable con la manguera de aire procedente del compresor hacia el tester V-3500 y estabilizarlo en 4 bares.
- 7**



Figura 46: Acoplador neumático



- 8 Conectar a una fuente de alimentación de 110V y accionar el interruptor de encendido (Deben estar montados los inyectores).



Figura 47: Conector de alimentación

### 3.3.2. Protocolo de montaje de los inyectores

En el montaje de los inyectores se deben tener cuidado con los componentes para instalarlos ya que su mal montaje genere daños irreversibles a los mismos. Para una correcta manipulación de los inyectores piezoeléctricos Bosch, se debe usar guantes de látex y el equipo de protección personal. El montaje de los inyectores en el tester V-3500 se procede de la siguiente manera:

Tabla 13

Montaje de inyectores

N.-	Detalle	Ubicación
1	Colocar el inyector la parte superior del tester V-3500 en conjunto con la cañería de tal manera que se acoplen manualmente sin uso de herramientas de apriete. (el inyector debe estar dentro del cilindro para poder visualizar su inyección)	
2	Con la ayuda de una llave boca fija (19mm) ajustar la cañería al tester V-3500, igualmente ajustar la cañería al inyector con la ayuda de dos llaves de boca fija (19mm y 14mm), realizarlo con precaución ya	



---

que se puede generar daños irreparables en el inyector.

---

- 3** Ajustar el fijador de los inyectores para evitar que haya recorrido vertical de los mismos



Figura 50: Fijador del inyector

- 4** Colocar las mangueras de retorno al tester V-3500 para poder medir el caudal de retorno.



Figura 51: Colocación de manguera de retorno

- 5** Ubicar los sockets a cada inyector asegurándose de que sea los correctos y en la posición adecuada.



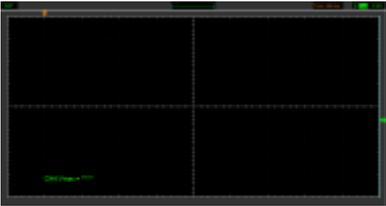
Figura 52: Conexión del socket

---

### 3.3.3. Protocolo de montaje del osciloscopio Hantek en los inyectores

El acoplamiento del osciloscopio Hantek a los inyectores requiere suma importancia ya que si esto no se conecta correctamente no puede observar ninguna grafica de algún tipo o en peor de los casos puede afectar el sistema del tester V-3500 de forma irreparable.

Tabla 14: Montaje del osciloscopio Hantek 1008c

N.-	Detalle	Ubicación
1	Insertar agujas en los cables de los sockets sin dañar los cables de tal manera que no se toquen las agujas.	 <p data-bbox="911 663 1297 734">Figura 53: Conexión de las agujas</p>
2	Mediante la utilización de lagartos conectar las agujas a los terminales de los cables del osciloscopio Hantek	 <p data-bbox="911 1131 1297 1202">Figura 54: Conexión de los lagartos</p>
3	El cable del osciloscopio se debe conectar en cualquier canal del mismo (este posee 8 canales).	 <p data-bbox="911 1570 1297 1641">Figura 55: Conexión al osciloscopio</p>
4	Verificar si las ondas de inyección se visualizan correctamente en la pantalla caso contrario ajustar el trigger para observar la curva de inyección.	 <p data-bbox="892 1951 1316 1986">Figura 56: Interfaz del Hantek</p>



5

Mediante la opción Measure se puede estabilizar y congelar la imagen de tal manera que sea visible y fácil la obtención de datos.



Figura 57: Curva de funcionamiento

### 3.3.4. Protocolo de instalación del osciloscopio Hantek 1008c

Para realizar la instalación del software propio del Hantek 1008c se debe contar de un CD-ROM de instalación que viene junto con el osciloscopio y posterior a este se procederá ingresar en la computadora para su instalación.

Tabla 15: Instalación del osciloscopio Hantek 1008c

N.-	Detalle	Ubicación
1	Ubicar el CD-ROM de instalación que se encuentra junto con el osciloscopio Hantek.	
2	Colocar el CD-ROM de instalación en la laptop para ejecutar el programa.	

Figura 58: Disco de instalación del Hantek

Figura 59: Insertar el disco en la laptop



- 
- 3 Ejecutar como administrador el programa a través de la laptop dentro de la unidad de CD-ROM de la misma. Presionar siguiente.



Figura 60: Ejecución de instalación

- 
- 4 Presione la opción siguiente



Figura 61: Ruta de instalación

- 
- 5 Presione la opción siguiente



Figura 62: confirmación de instalación

- 
- 6 Espere mientras el programa se instala (tardara un par de unos segundos)

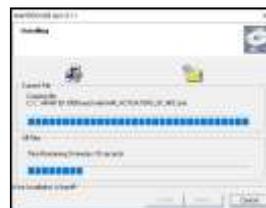


Figura 63: Instalación en proceso

- 
- 7 Presione la opción finalizar para dar por terminada la instalación.

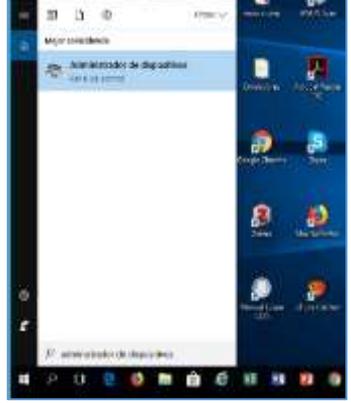
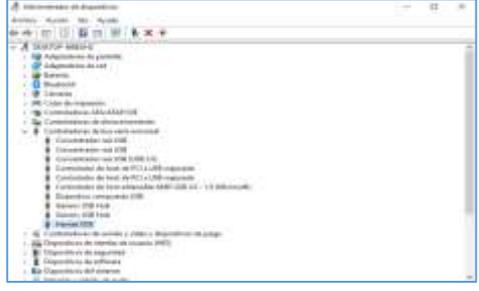


Figura 64: Final de instalación

---

### 3.3.5. Protocolo de instalación del USB-DRIVE

Tabla 16: Instalación del USB-DRIVE.

N.-	Detalle	Ubicación
1	Conectar el osciloscopio Hantek al puerto USB de la laptop	 <p data-bbox="901 907 1316 974">Figura 65: Conexión USB del Hantek</p>
2	Buscar administrador de dispositivos en el buscador de Windows	 <p data-bbox="933 1489 1284 1556">Figura 66: Búsqueda del dispositivo</p>
3	Ubicar el dispositivo USB seguido del osciloscopio Hantek, clic derecho y propiedades	 <p data-bbox="917 1960 1300 2027">Figura 67: Localización de dispositivo</p>



- 4 En la pestaña controlador, hacer clic en la pestaña controlador

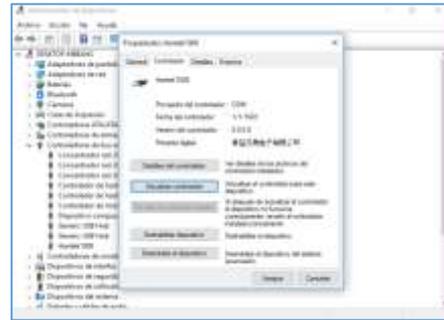


Figura 68: Propiedades de dispositivo

- 5 Hacer clic en buscar automáticamente el controlador



Figura 69: Actualización de dispositivo

- 6 Cerrar la actualización del controlador



Figura 70: Fin de actualización

- 7 Verificar la actualización del controlador en la pestaña detalle del dispositivo y presionar cerrar

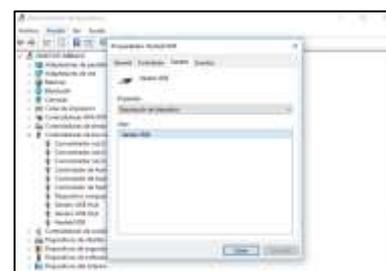


Figura 71: Comprobación de actualización

### 3.4. Protocolo de extracción de los inyectores

Dadas por terminadas las pruebas realizadas en el tester V-3500, lleve a cabo el siguiente procedimiento para la extracción de los inyectores.

Tabla 17: Extracción de inyectores.

N.-	Detalle	Ubicación
1	Vaciar las probetas y los cilindros donde se realizan las inyecciones de combustible.	
2	Presionar el botón de apagado del tester V-3500 para proceder a desmontar los inyectores	
3	Liberar la presión de los inyectores mediante la perilla mostrado a continuación en sentido anti horario.	

Figura 72: Cilindros y probetas del tester V-3500

Figura 73: Panel de control del tester V-3500

Figura 74: Liberador de presión

CONTINÚA



- 
- 4 Desconectar las puntas de las agujas que están conectadas en el socket del inyector.



Figura 75: Desconexión de agujas

- 
- 5 Desconectar los conectores eléctricos de los inyectores (sockets).



Figura 76: Desconexión del socket

- 
- 6 Retirar las mangueras de retorno realizando una ligera presión en las mismas.



Figura 77: Desconexión de manguera de retorno

- 
- 7 Aflojar las cañerías mediante la utilización de llaves (mencionadas en el protocolo de montaje) y el fijador vertical de sujeción igual manera.



Figura 78: Desacoplamiento del inyector



- 
- Extraer los inyectores retirando completamente las cañerías
- 8** teniendo en cuenta que no se produzcan ningún daño en lo absoluto.



Figura 79: Desacoplamiento con la cañería

- 
- Colocar la protección respectiva a
- 9** los inyectores y ubicar en su respectivo estuche.



Figura 80: Puesta de seguros

---

### 3.5. Pruebas mecánicas e hidráulicas – Inyectores Bosch

#### 3.5.1. Prueba de caudal de inyección

Las pruebas de caudal de inyección de van variando con respecto al tiempo de inyección, los números de pulsos (STRK) y la presión del sistema de tal manera que se obtenga veintisiete pruebas diferentes para apreciar los datos estadísticos de cada inyector, cuando este tiene cero horas de funcionamiento. Para el desarrollo de esta prueba se necesita contar con los siguientes componentes indispensables:

- Tester V-3500
- Inyectores Bosch
- Osciloscopio Hantek, Pinza amperimétrica.
- Computadora portátil instalada el programa Hantek para el osciloscopio
- Equipo de seguridad (Guantes, protección visual, mandil)

Tener presente los protocolos antes establecidos para el desarrollo experimental y no tener ningún daño de los componentes.

A continuación, se presenta los valores que se llevaran a cabo utilizar para el desarrollo de la investigación.

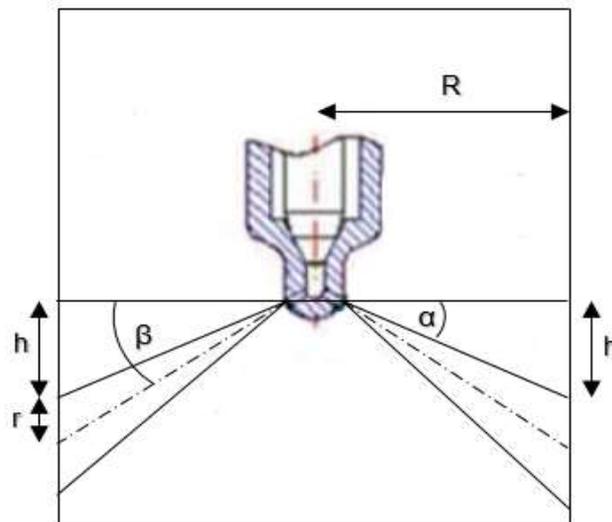
Tabla 18

Parámetros del caudal de inyección.

<b>Presión (Bar)</b>	<b>Numero de inyecciones (STRK)</b>	<b>Tiempo de inyección (ms)</b>
<b>300</b>	500	0.5 – 1.25 – 2
	700	0.5 – 1.25 – 2
	900	0.5 – 1.25 – 2
<b>400</b>	500	0.5 – 1.25 – 2
	700	0.5 – 1.25 – 2
	900	0.5 – 1.25 – 2
<b>500</b>	500	0.5 – 1.25 – 2
	700	0.5 – 1.25 – 2
	900	0.5 – 1.25 – 2

### **3.5.2. Prueba de ángulo de pulverización**

En el cálculo del Angulo de pulverización se debe tomar en cuenta datos del tester V-3500 tal es el diámetro interno y externo del cilindro, donde se realiza la inyección y de igual manera el cálculo se llevará a cabo de las siguientes formulas.



**Figura 81: Ángulo de pulverización**

- R= Radio del cilindro
- h= altura
- r= radio del chorro
- α= Angulo de disparo
- β= Angulo de dispersión

Donde la fórmula para calcular el ángulo de disparo y el ángulo de dispersión está dada de la siguiente manera:

**Ángulo de Disparo:**

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

**Ecuación 1: Angulo de dispersión**

**Ángulo de Dispersión:**

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

**Ecuación 2: Ángulo de Dispersión**

Se realiza los cálculos con las ecuaciones antes mencionadas y se procede a llenar la siguiente tabla por cada uno de los inyectores.

Tabla 19

Grados de disparo y dispersión

Tipo de Ángulo	Valor del Ángulo
Ángulo de Disparo	°
Ángulo de Dispersión	°

### 3.5.3. Prueba de caudal de retorno

Las pruebas de caudal de retorno se van variando con respecto al tiempo de inyección, los números de pulsos (STRK) y la presión del sistema de tal manera que se obtenga veintisiete pruebas diferentes para apreciar los datos estadísticos de cada inyector, cuando este tiene cero horas de funcionamiento. Para el desarrollo de esta prueba es necesario contar con los siguientes componentes:

- Tester V-3500
- Inyectores Bosch
- Osciloscopio Hantek, Pinza amperimétrica.
- Computadora portátil instalada el programa Hantek para el osciloscopio
- Equipo de seguridad (Guantes, protección visual, mandil)

A continuación, se presentan los valores que se llevaran a cabo utilizar para el desarrollo de la investigación.

Tabla 20

Parámetros de caudal de retorno

Presión (Bar)	Numero de inyecciones (STRK)	Tiempo de inyección (ms)
<b>300</b>	500	0.5 – 1.25 – 2
	700	0.5 – 1.25 – 2
	900	0.5 – 1.25 – 2
<b>400</b>	500	0.5 – 1.25 – 2

CONTINÚA



	700	0.5 – 1.25 – 2
	900	0.5 – 1.25 – 2
	500	0.5 – 1.25 – 2
<b>500</b>	700	0.5 – 1.25 – 2
	900	0.5 – 1.25 – 2

### 3.6. Pruebas eléctricas – inyectores Bosch

#### 3.6.1. Pruebas de corriente de activación del inyector

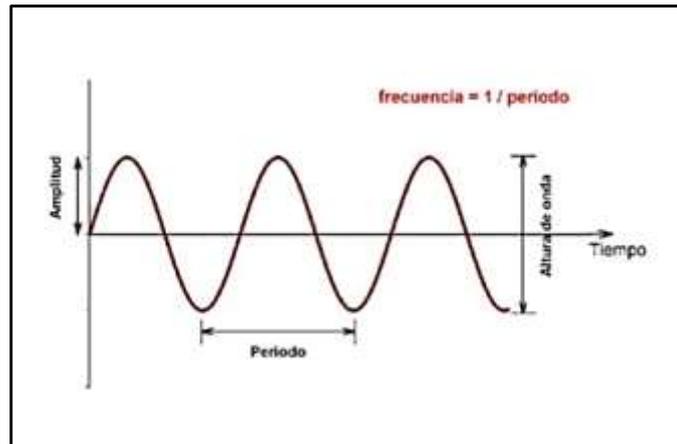
Las pruebas de corriente de activación se realizan con cada una de las pruebas expuestas en el caudal de inyección y todas estas deben ser medidas con la pinza amperimétrica y tabular cada uno de estos valores. Para la realización de la investigación se debe tener muy en cuenta los protocolos de montaje, instalación y medición para obtener resultados válidos y cuantificar los parámetros de funcionamiento de cada inyector.

#### 3.6.2. Prueba de voltaje de activación del inyector

#### 3.6.3. Grados de activación

Los grados de activación, son aquellos que están en función de giro del cigüeñal siendo directamente proporcional al tiempo de inyección cuando el inyector está en operación.

Para poder calcular los grados de activación es necesario tener presente datos que ofrece el osciloscopio Hantek.



**Figura 82: Periodo de una función.**

- $P =$  Periodo (ms)
- $\theta =$  Angulo de giro del cigüeñal =  $720^\circ$
- $N =$  Numero de cilindros

El periodo de 218 ms es total para los 6 cilindros por lo que necesario encontrar el periodo para cada uno de los inyectores.

- **Periodo individual**

$$P_i = \frac{P}{n}$$

**Ecuación 3: Periodo individual**

- **Angulo de giro individual**

$$\theta_i = \frac{\theta}{n}$$

**Ecuación 4: Ángulo de giro individual**

Para el cálculo de los grados de activación de debe usar la siguiente formula:

$$A^{\circ} = \frac{T_i + \theta_i}{P_i}$$

### Ecuación 5: Grados de activación

Donde:

- $A^{\circ}$  = Grados de activación
- $T_i$  = Tiempo de inyección
- $\theta_i$  = Angulo de giro individual
- $P_i$  = Periodo individual

#### 3.6.4. Protocolo para la medición de corriente de activación del inyector

La medición de corriente de consumo es de gran importancia para poder apreciar como varia su uso a medida que se varían parámetros como el tiempo de inyección.

Tabla 21: Medición de corriente

N.-	Detalle	Ubicación
1	Posicionar la escala de la pinza amperimétrica (La batería debe estar en perfectas condiciones)	

Figura 83: Escala de la pinza amperimétrica

CONTINUA



1

Colocar la pinza en el cable de alimentación del socket (verificar la dirección marcada en la pinza amperimétrica)



Figura 84: Montaje de la pinza amperimétrica

2

Calibrar el osciloscopio Hantek para la salida de onda que posee la pinza amperimétrica.



Figura 85: Conexión al osciloscopio

3

Registrar los valores medidos en el osciloscopio emitidos por la pinza amperimétrica.



Figura 86: Grafica de la corriente

## CAPÍTULO IV

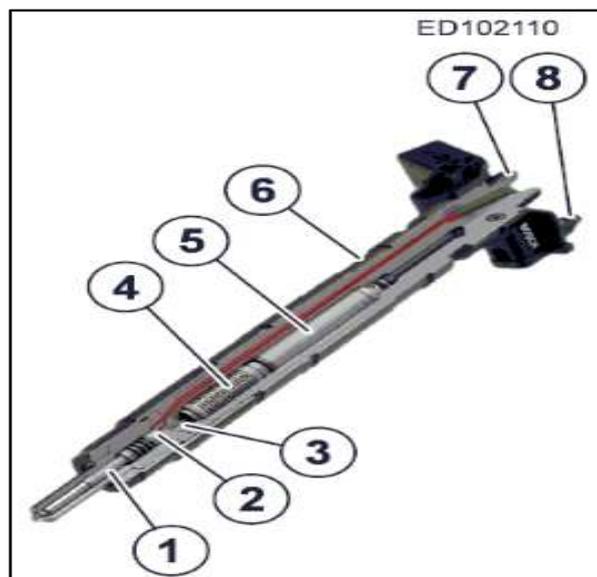
### 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS

#### 4.1. Introducción

La investigación se llevó a cabo con el tester V-3500 dentro del laboratorio de Autotrónica en esta prestigiosa universidad, para la realización de la misma se usaron los inyectores piezoeléctricos Bosch con numeración 0445115045 y 0445115028 pertenecientes a las marcas Volkswagen Crafter y Hyundai Veracruz respectivamente, cuyos protocolos se detallaron en el capítulo anterior y se efectuó la investigación con distintos parámetros previamente establecidos, en el presente capítulo se realiza la presentación y el análisis de los datos obtenidos con respecto a las presiones establecidas, el número de inyecciones y el tiempo de inyección.

#### 4.2. Enumeración de partes de los inyectores

##### 4.2.1. Inyector piezoeléctrico Diésel Hyundai Veracruz CRDI Bosch # 0445115 045



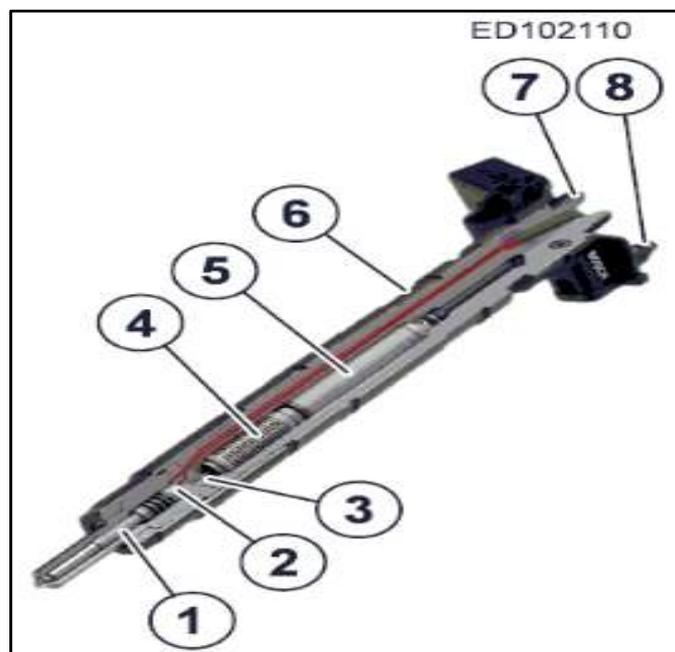
**Figura 87: Inyector piezoeléctrico Diésel CRDI Bosch # 0445115 045**

Fuente: (VSQ1, 2006)

A continuación se detalla los componentes principales del inyector piezoeléctrico bosch 0445115 045

1. Tobera
2. Placa de mariposa
3. Valvula de mando
4. Acoplador
5. Actuador
6. Cuerpo de sujeción
7. Conexión de alta presión
8. Conexión de retorno

#### 4.2.2. Inyector piezoeléctrico Volkswagen Crafter CRDI Bosch # 0445115 028



**Figura 88: Inyector piezoeléctrico CRDI Bosch # 0445115 028**

Fuente: (VSQ1, 2006)

A continuación se detalla los componentes principales del inyector piezoeléctrico bosch 0445115 028

1. Tobera
2. Placa de mariposa
3. Valvula de mando
4. Acoplador
5. Actuador
6. Cuerpo de sujeción
7. Conexión de alta presión
8. Conexión de retorno

### 4.3. Análisis de resultados de las pruebas mecánicas e hidráulicas

#### 4.3.1. Análisis de resultados a 300 bares de presión

En la siguiente tabla se presencia los valores del caudal de inyección y el caudal de retorno para el inyector Bosch 0445115 045 a una presión de 300bar.

Tabla 22

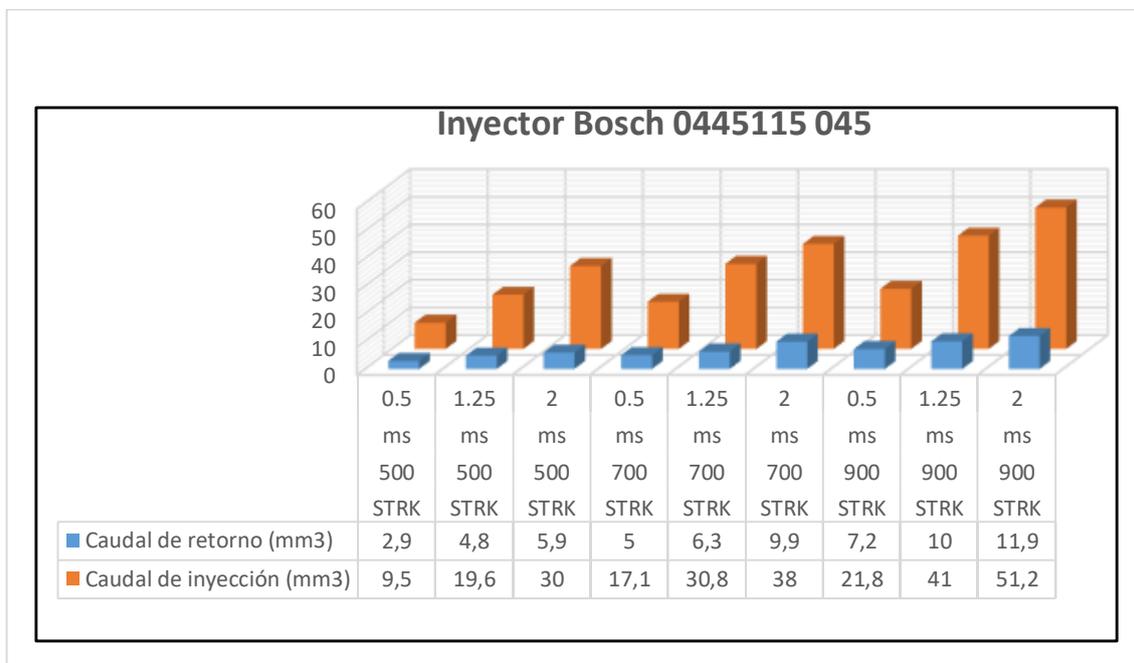
Caudal de inyección y retorno a 300bar del inyector #0445115 045

<b>Inyector piezoeléctrico Bosch 0445115 045</b>			
<b>Numero de inyecciones</b>	Tiempo de inyección	Caudal de inyección	Caudal de retorno
<b>STRK</b>	ms	(mm <sup>3</sup> )	(mm <sup>3</sup> )
<b>500</b>	0.5	9,5	2,9
<b>500</b>	1.25	19,6	5,5
<b>500</b>	2	30	7
<b>700</b>	0.5	17,1	5,1
<b>700</b>	1.25	30,8	8,5
<b>700</b>	2	38	10
<b>900</b>	0.5	21,8	7,2
<b>900</b>	1.25	41	10
<b>900</b>	2	51,2	12

En la tabla se puede observar la variación del número de inyecciones (STRK) y el tiempo de inyecciones para el inyector Bosch 0445115 045 en el cual se observa los caudales de inyección y retorno, donde su caudal de inyección mínimo es de 9,5 mm<sup>3</sup> y un máximo de 51,2 mm<sup>3</sup>, su caudal de retorno mínimo es de 2,9 mm<sup>3</sup> y máximo de 12 mm<sup>3</sup> a una presión constante de 300 bares.

Se muestra que el caudal va aumentando a medida que aumenta el tiempo de inyección y el número de inyección (STRK) creciendo en forma escalonada, por cada vez que se reinicie los tiempos de inyección el caudal va a ser menor que la última medición realizada y de la misma manera ocurre con el caudal de retorno.

En la figura se observa la representación gráfica del caudal de inyección y de retorno del inyector Bosch 0445115 045 con una presión constante de 300bar.



**Figura 89: Caudal de inyección y retorno del inyector Bosch #04451 045 a 300bar**

En la figura 89, se aprecia la variación del tiempo de inyección de 0.5, 1.25 y 2 milisegundos, el número de pulsos de 500, 700 y 900 STRK siendo visible mediante la gráfica de columnas el caudal de retorno crece de forma directa a medida que aumente el tiempo de inyección y el número de pulsos de inyección, obteniendo un caudal mínimo de 2.9 mm<sup>3</sup> a 0.5 ms de tiempo de inyección y 500 STRK; un caudal máximo de 11.9 mm<sup>3</sup> a 2 ms de tiempo de inyección y 900 STRK, también se observa un caudal de inyección mínimo de 9,5 mm<sup>3</sup> y un caudal máximo de 51,2 mm<sup>3</sup> a 500 STRK con 0.5 ms y 900 STRK con 2 ms de tiempo de inyección respectivamente.

Hay una apreciación del volumen de inyección a bajos números de STRK y bajo tiempo de inyección, provoca una total pulverización del caudal que se inyecta en la prueba, provocando una nube de viscos que no representa una desviación en los resultados significativamente.

En la siguiente tabla se presencia los valores del caudal de inyección y el caudal de retorno para el inyector Bosch 0445115 028 a una presión de 300bar.

Tabla 23

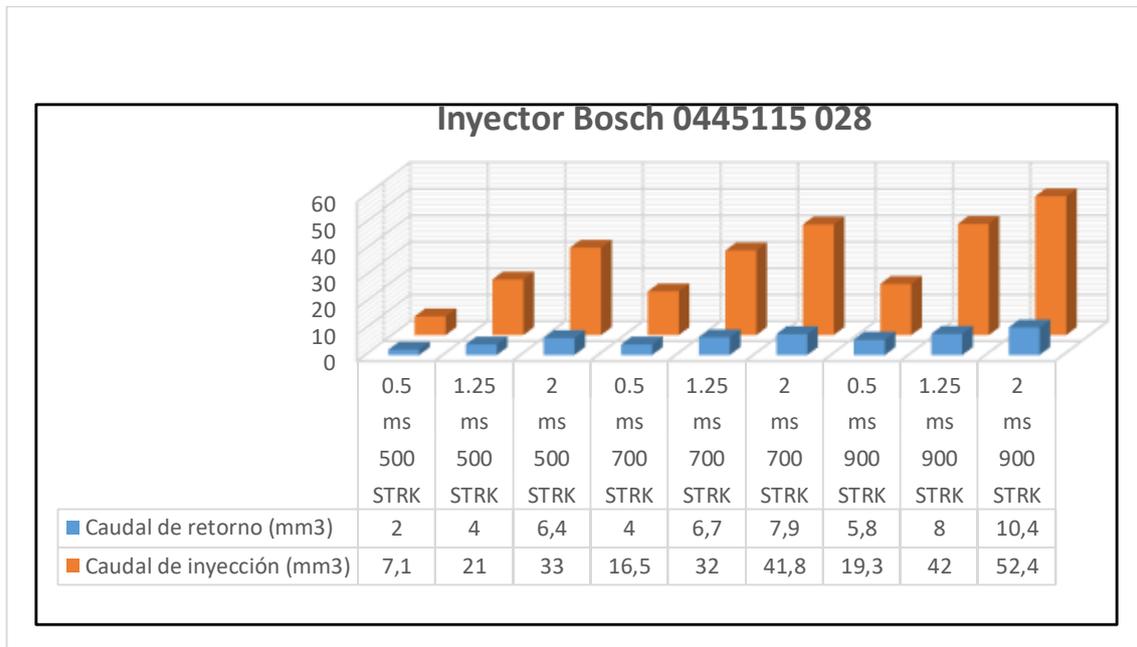
Caudal de inyección y retorno a 300bar del inyector #0445115 028

<b>Inyector piezoeléctrico Bosch 0445115 028</b>			
<b>Numero de inyecciones</b>	Tiempo de inyección	Caudal de inyección	Caudal de retorno
<b>STRK</b>	ms	(mm3)	(mm3)
<b>500</b>	0.5	7,1	2
<b>500</b>	1.25	21	4
<b>500</b>	2	33	6,4
<b>700</b>	0.5	16,5	4
<b>700</b>	1.25	32	6,7
<b>700</b>	2	41,8	7,9
<b>900</b>	0.5	19,3	5,8
<b>900</b>	1.25	42	8
<b>900</b>	2	52,4	10,4

En la tabla 23, se observar la variación del número de inyecciones (STRK) y el tiempo de inyecciones para el inyector Bosch 0445115 028 en el cual se observa los caudales de inyección y retorno, donde su caudal de inyección mínimo es de 7,1 mm<sup>3</sup> y un máximo de 52,4 mm<sup>3</sup>, su caudal de retorno mínimo es de 2 mm<sup>3</sup> y máximo de 10,4 mm<sup>3</sup> a una presión constante de 300 bares.

Se observa que el caudal va aumentando a medida que aumenta el tiempo de inyección y el número de inyección (STRK) creciendo en forma escalonar, por cada vez que se reinicie los tiempos de inyección el caudal va a ser menor que la última medición realizada y de la misma manera ocurre con el caudal de retorno aumentando a medida que aumenta el tiempo de inyección y los pulsos que se realizaron haciendo apreciable su cambio se lo grafica en diagramas para su posterior análisis.

En la figura 90, se observa la representación gráfica del caudal de inyección y de retorno del inyector Bosch 0445115 028 con una presión constante de 300bar.



**Figura 90: Caudal de inyección y retorno del inyector Bosch 028 a 300bar.**

En la figura se aprecia la variación del tiempo de inyección de 0.5, 1.25 y 2 milisegundos, el número de pulsos de 500, 700 y 900 STRK siendo visible mediante la gráfica de columnas el caudal de retorno crece de forma directa a medida que aumente el tiempo de inyección y el número de pulsos de inyección, obteniendo un caudal mínimo de 2 mm<sup>3</sup> a 0.5 ms de tiempo de inyección y 500 STRK; un caudal máximo de 10,4 mm<sup>3</sup> a 2 ms de tiempo de inyección y 900 STRK, también se observa un caudal de inyección mínimo de 7,1 mm<sup>3</sup> y un caudal máximo de 51,4 mm<sup>3</sup> a 500 STRK con 0.5 ms y 900 STRK con 2 ms de tiempo de inyección respectivamente.

Hay una apreciación del volumen de inyección a bajos números de STRK y bajo tiempo de inyección, provoca una total pulverización del caudal que se inyecta en la prueba, provocando una nube de viscos que no representa una desviación en los resultados significativamente.

#### 4.3.2. Análisis de resultados a 400 bares de presión

En la siguiente tabla se presencia los valores del caudal de inyección y el caudal de retorno para el inyector Bosch 0445115 045 a una presión de 400bar.

Tabla 24

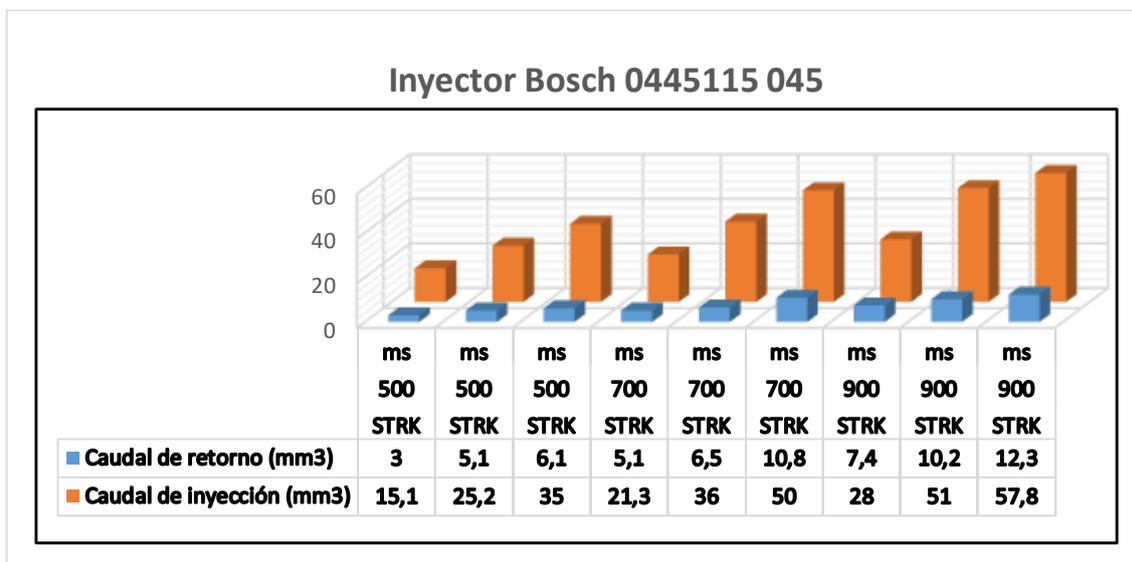
Caudal de inyección y retorno a 400bar del inyector #0445115 045

<b>Inyector piezoeléctrico Bosch 0445115 045</b>			
<b>Numero de inyecciones</b>	Tiempo de inyección	Caudal de inyección	Caudal de retorno
<b>STRK</b>	ms	(mm3)	(mm3)
<b>500</b>	0.5	15,1	3
<b>500</b>	1.25	25,2	5
<b>500</b>	2	35	5,9
<b>700</b>	0.5	21,3	5
<b>700</b>	1.25	36	6
<b>700</b>	2	50	9,6
<b>900</b>	0.5	28	7,4
<b>900</b>	1.25	51	10
<b>900</b>	2	57,8	12,2

En la tabla 24, se puede observar la variación del número de inyecciones (STRK) y el tiempo de inyecciones para el inyector Bosch 0445115 045 en el cual se observa los caudales de inyección y retorno, donde su caudal de inyección mínimo es de 15,1 mm<sup>3</sup> y un máximo de 57,8 mm<sup>3</sup>, su caudal de retorno mínimo es de 3 mm<sup>3</sup> y máximo de 12,2 mm<sup>3</sup> a una presión constante de 400 bares.

Se puede apreciar que el caudal va aumentando a medida que aumenta el tiempo de inyección y el número de inyección (STRK) creciendo en forma escalonar, por cada vez que se reinicie los tiempos de inyección el caudal va a ser menor que la última medición realizada y de la misma manera ocurre con el caudal de retorno aumentando a medida que aumenta el tiempo de inyección y los pulsos que se realizaron haciendo apreciable su cambio se lo grafica en diagramas para su posterior análisis.

En la figura 91, se observa la representación gráfica del caudal de inyección y de retorno del inyector Bosch 0445115 045 con una presión constante de 400bar.



**Figura 91: Caudal de inyección y retorno del inyector Bosch 045 a 400bar.**

En la figura se aprecia la variación del tiempo de inyección de 0.5, 1.25 y 2 milisegundos, el número de pulsos de 500, 700 y 900 STRK siendo visible mediante la gráfica de columnas el caudal de retorno crece de forma directa a medida que aumente el tiempo de inyección y el número de pulsos de inyección, obteniendo un caudal mínimo de 3 mm<sup>3</sup> a 0.5 ms de tiempo de inyección y 500 STRK; un caudal máximo de 12,3 mm<sup>3</sup> a 2 ms de tiempo de inyección y 900 STRK, también se observa un caudal de inyección mínimo de 9,5 mm<sup>3</sup> y un caudal máximo de 51,2 mm<sup>3</sup> a 500 STRK con 0.5 ms y 900 STRK con 2 ms de tiempo de inyección respectivamente.

Hay una apreciación del volumen de inyección a bajos números de STRK y bajo tiempo de inyección, provoca una total pulverización del caudal que se inyecta en la prueba, provocando una nube de viscor que no representa una desviación en los resultados significativamente.

En la tabla 25, se presencia los valores del caudal de inyección y el caudal de retorno para el inyector Bosch 0445115 028 a una presión de 400bar.

Tabla 25

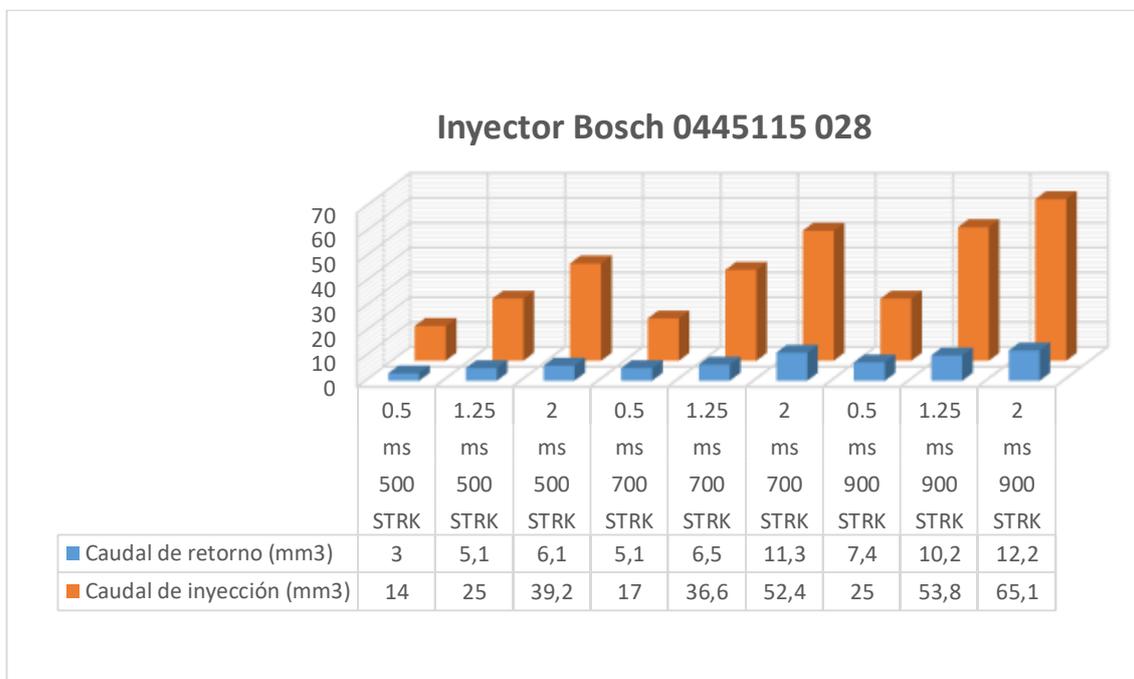
Caudal de inyección y retorno a 400bar del inyector #0445115 028

<b>Inyector piezoeléctrico Bosch 0445115 028</b>			
<b>Numero de inyecciones</b>	Tiempo de inyección	Caudal de inyección	Caudal de retorno
<b>STRK</b>	ms	(mm <sup>3</sup> )	(mm <sup>3</sup> )
<b>500</b>	0.5	14	2
<b>500</b>	1.25	25	4
<b>500</b>	2	39,2	6,4
<b>700</b>	0.5	17	4
<b>700</b>	1.25	36,6	6,9
<b>700</b>	2	52,4	7,8
<b>900</b>	0.5	25	5,8
<b>900</b>	1.25	53,8	8
<b>900</b>	2	65,1	10,4

En la tabla 25, se puede observar la variación del número de inyecciones (STRK) y el tiempo de inyecciones para el inyector Bosch 0445115 028 en el cual se observa los caudales de inyección y retorno, donde su caudal de inyección mínimo es de 14 mm<sup>3</sup> y un máximo de 65,1 mm<sup>3</sup>, su caudal de retorno mínimo es de 2 mm<sup>3</sup> y máximo de 10,4 mm<sup>3</sup> a una presión constante de 400 bares.

En la gráfica se observa que el caudal va aumentando a medida que aumenta el tiempo de inyección y el número de inyección (STRK) creciendo en forma escalonar, por cada vez que se reinicie los tiempos de inyección el caudal va a ser menor que la última medición realizada y de la misma manera ocurre con el caudal de retorno aumentando a medida que aumenta el tiempo de inyección y los pulsos que se realizaron haciendo apreciable su cambio se lo grafica en diagramas para su posterior análisis.

En la figura 92, se observa la representación gráfica del caudal de inyección y de retorno del inyector Bosch 0445115 028 con una presión constante de 400bar



**Figura 92: Caudal de inyección y retorno del inyector Bosch 028 a 400bar**

En la figura se aprecia la variación del tiempo de inyección de 0.5, 1.25 y 2 milisegundos, el número de pulsos de 500, 700 y 900 STRK siendo visible mediante la gráfica de columnas el caudal de retorno crece de forma directa a medida que aumente el tiempo de inyección y el número de pulsos de inyección, obteniendo un caudal mínimo de 3 mm<sup>3</sup> a 0.5 ms de tiempo de inyección y 500 STRK; un caudal máximo de 12,2 mm<sup>3</sup> a 2 ms de tiempo de inyección y 900 STRK, también se observa un caudal de inyección mínimo de 14 mm<sup>3</sup> y un caudal máximo de 65,1 mm<sup>3</sup> a 500 STRK con 0.5 ms y 900 STRK con 2 ms de tiempo de inyección respectivamente.

Hay una apreciación del volumen de inyección a bajos números de STRK y bajo tiempo de inyección, provoca una total pulverización del caudal que se inyecta en la prueba, provocando una nube de viscos que no representa una desviación en los resultados significativamente.

### 4.3.3. Análisis de resultados a 500 bares de presión

En la tabla 26. Se puede apreciar los valores del caudal de inyección y el caudal de retorno para el inyector Bosch 0445115 045 a una presión de 500bar.

Tabla 26

Caudal de inyección y retorno a 500bar del inyector #0445115 045

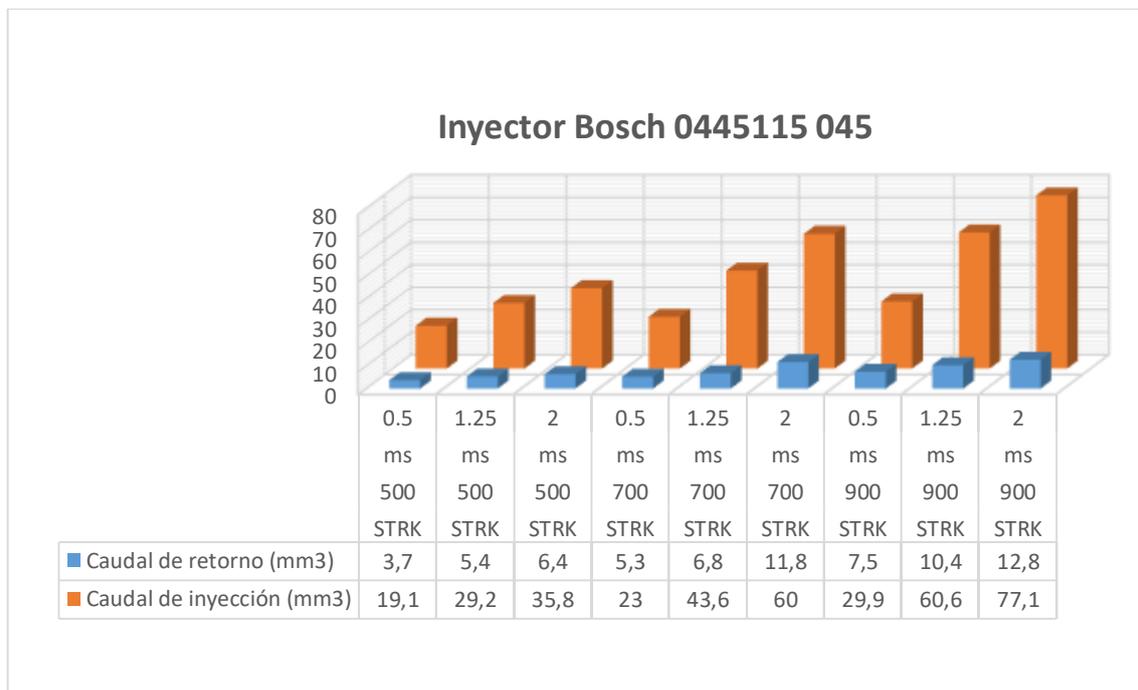
<b>Inyector piezoeléctrico Bosch 0445115 045</b>			
<b>Numero de inyecciones</b>	Tiempo de inyección	Caudal de inyección	Caudal de retorno
<b>STRK</b>	ms	(mm <sup>3</sup> )	(mm <sup>3</sup> )
<b>500</b>	0.5	19,1	3,7
<b>500</b>	1.25	29,2	4,8
<b>500</b>	2	35,8	6
<b>700</b>	0.5	23	5
<b>700</b>	1.25	43,6	6,8
<b>700</b>	2	60	12
<b>900</b>	0.5	29,9	7,5
<b>900</b>	1.25	60,6	10,4
<b>900</b>	2	77,1	11,6

En la tabla 26, se puede observar la variación del número de inyecciones (STRK) y el tiempo de inyecciones para el inyector Bosch 0445115 045 en el cual se observa los caudales de inyección y retorno, donde su caudal de inyección mínimo es de 19,1 mm<sup>3</sup> y un máximo de 77,1 mm<sup>3</sup>, su caudal de retorno mínimo es de 3,7 mm<sup>3</sup> y máximo de 11,6 mm<sup>3</sup> a una presión constante de 500 bares.

El caudal va aumentando a medida que aumenta el tiempo de inyección y el número de inyección (STRK) creciendo en forma escalonar, por cada vez que se reinicie los tiempos de inyección el caudal va a ser menor que la última medición realizada y de la misma manera ocurre con el caudal de retorno aumentando a medida que aumenta el tiempo de inyección y los pulsos que se

realizaron haciendo apreciable su cambio se lo grafica en diagramas para su posterior análisis.

En la figura se observa la representación gráfica del caudal de inyección y de retorno del inyector Bosch 0445115 045 con una presión constante de 500bar



**Figura 93: Caudal de inyección y retorno del inyector Bosch 045 a 500bar.**

En la figura 93, se aprecia la variación del tiempo de inyección de 0.5, 1.25 y 2 milisegundos, el número de pulsos de 500, 700 y 900 STRK siendo visible mediante la gráfica de columnas el caudal de retorno crece de forma directa a medida que aumente el tiempo de inyección y el número de pulsos de inyección, obteniendo un caudal mínimo de 3,7 mm<sup>3</sup> a 0.5 ms de tiempo de inyección y 500 STRK; un caudal máximo de 12,8 mm<sup>3</sup> a 2 ms de tiempo de inyección y 900 STRK, también se observa un caudal de inyección mínimo de 19,1 mm<sup>3</sup> y un caudal máximo de 77,1 mm<sup>3</sup> a 500 STRK con 0.5 ms y 900 STRK con 2 ms de tiempo de inyección respectivamente.

Hay una apreciación del volumen de inyección a bajos números de STRK y bajo tiempo de inyección, provoca una total pulverización del caudal que se

inyecto en la prueba, provocando una nube de viscor que no representa una desviación en los resultados significativamente.

En la siguiente tabla se presencia los valores del caudal de inyección y el caudal de retorno para el inyector Bosch 0445115 028 a una presión de 500bar.

Tabla 27

Caudal de inyección y retorno a 500bar del inyector #0445115 028

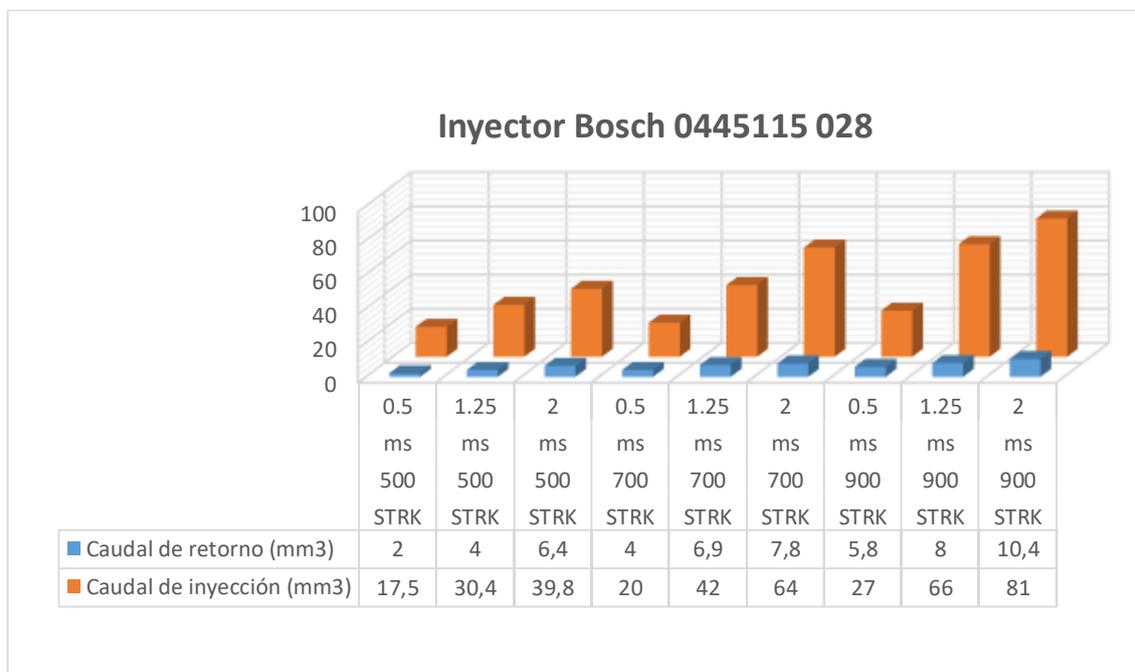
<b>Inyector piezoeléctrico Bosch 0445115 028</b>			
<b>Numero de inyecciones</b>	<b>Tiempo de inyección</b>	<b>Caudal de inyección</b>	<b>Caudal de retorno</b>
<b>STRK</b>	<b>ms</b>	<b>(mm3)</b>	<b>(mm3)</b>
<b>500</b>	0.5	17,5	3,1
<b>500</b>	1.25	30,4	5
<b>500</b>	2	39,8	5,9
<b>700</b>	0.5	20	4
<b>700</b>	1.25	42	6
<b>700</b>	2	64	11
<b>900</b>	0.5	27	7
<b>900</b>	1.25	66	10,4
<b>900</b>	2	81	12

En la tabla 27, se puede observar la variación del número de inyecciones (STRK) y el tiempo de inyecciones para el inyector Bosch 0445115 028 en el cual se observa los caudales de inyección y retorno, donde su caudal de inyección mínimo es de 17,5 mm<sup>3</sup> y un máximo de 81 mm<sup>3</sup>, su caudal de retorno mínimo es de 3,1 mm<sup>3</sup> y máximo de 12 mm<sup>3</sup> a una presión constante de 500 bares.

Se aprecia que el caudal va aumentando a medida que aumenta el tiempo de inyección y el número de inyección (STRK) creciendo en forma escalonar, por cada vez que se reinicie los tiempos de inyección el caudal va a ser menor que la última medición realizada y de la misma manera ocurre con el caudal de retorno aumentando a medida que aumenta el tiempo de inyección y los pulsos

que se realizaron haciendo apreciable su cambio se lo grafica en diagramas para su posterior análisis.

En la figura se observa la representación gráfica del caudal de inyección y de retorno del inyector Bosch 0445115 028 con una presión constante de 500bar.



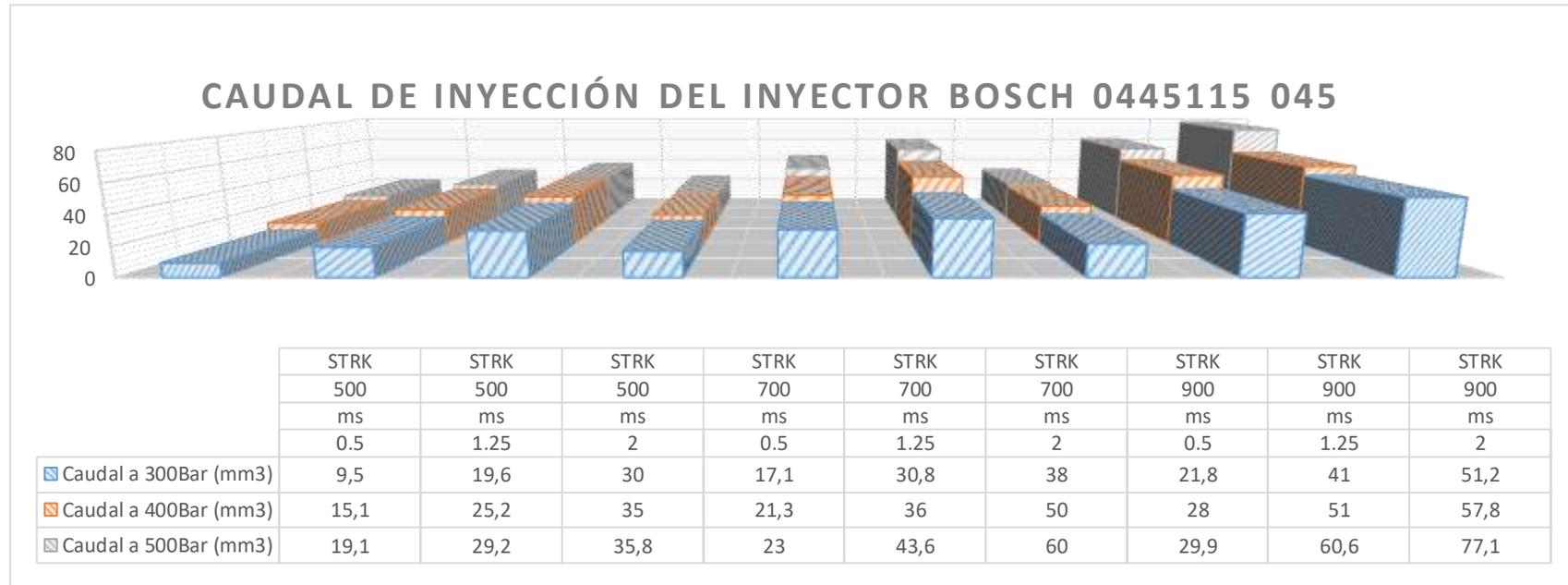
**Figura 94: Caudal de inyección y retorno del inyector Bosch 028 a 500bar**

En la figura 94, se aprecia la variación del tiempo de inyección de 0.5, 1.25 y 2 milisegundos, el número de pulsos de 500, 700 y 900 STRK siendo visible mediante la gráfica de columnas el caudal de retorno crece de forma directa a medida que aumente el tiempo de inyección y el número de pulsos de inyección, obteniendo un caudal mínimo de 2 mm<sup>3</sup> a 0.5 ms de tiempo de inyección y 500 STRK; un caudal máximo de 10,4 mm<sup>3</sup> a 2 ms de tiempo de inyección y 900 STRK, también se observa un caudal de inyección mínimo de 17,5 mm<sup>3</sup> y un caudal máximo de 81 mm<sup>3</sup> a 500 STRK con 0.5 ms y 900 STRK con 2 ms de tiempo de inyección respectivamente.

Hay una apreciación del volumen de inyección a bajos números de STRK y bajo tiempo de inyección, provoca una total pulverización del caudal que se inyecta en la prueba, provocando una nube de viscos que no representa una desviación en los resultados significativamente.

#### 4.3.4. Análisis de resultados - Caudal de inyección a 300, 400 y 500Bar

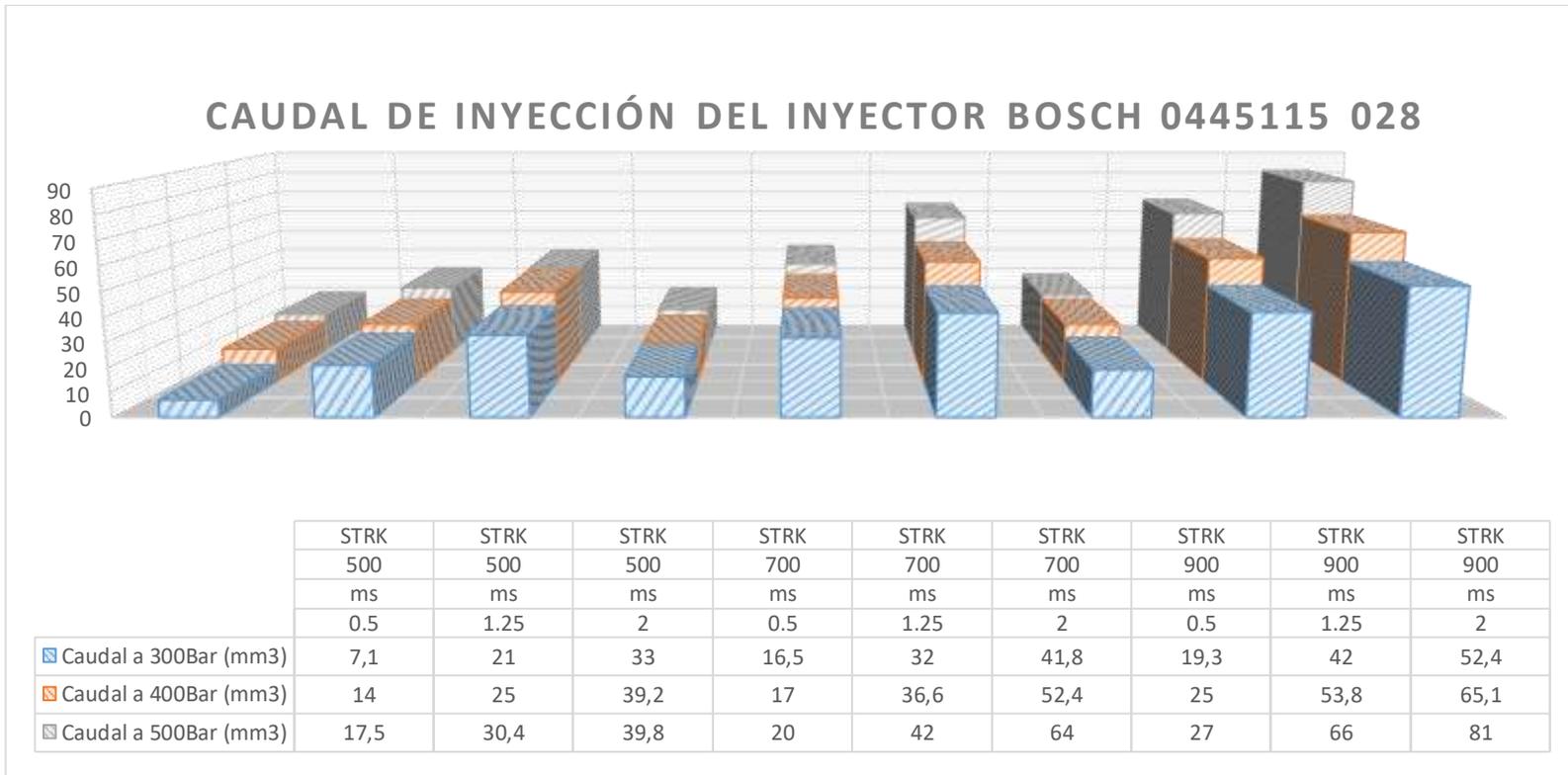
En la siguiente figura se observa la representación gráfica del caudal de la inyección del inyector Bosch 0445115 045 a una presión de 300, 400 y 500 bares de presión, 500, 700 y 900 STRK, 0.5, 0.125 y 2 ms de tiempo de inyección.



**Figura 95: Caudal de inyección del inyector Bosch #0445115 045 a 300, 400 y 500bar**

En la figura 95, se aprecia la variación del tiempo de inyección de (0.5-1.25-2) ms, el número de pulsos de (500-700-900) STRK siendo visible mediante la gráfica de columnas el caudal de inyección que crece al aumentar el tiempo de inyección.

En la siguiente figura se observa la representación gráfica del caudal de la inyección del inyector Bosch 0445115 028 a una presión de 300, 400 y 500 bares de presión, 500, 700 y 900 STRK, 0.5, 0.125 y 2 ms de tiempo de inyección.

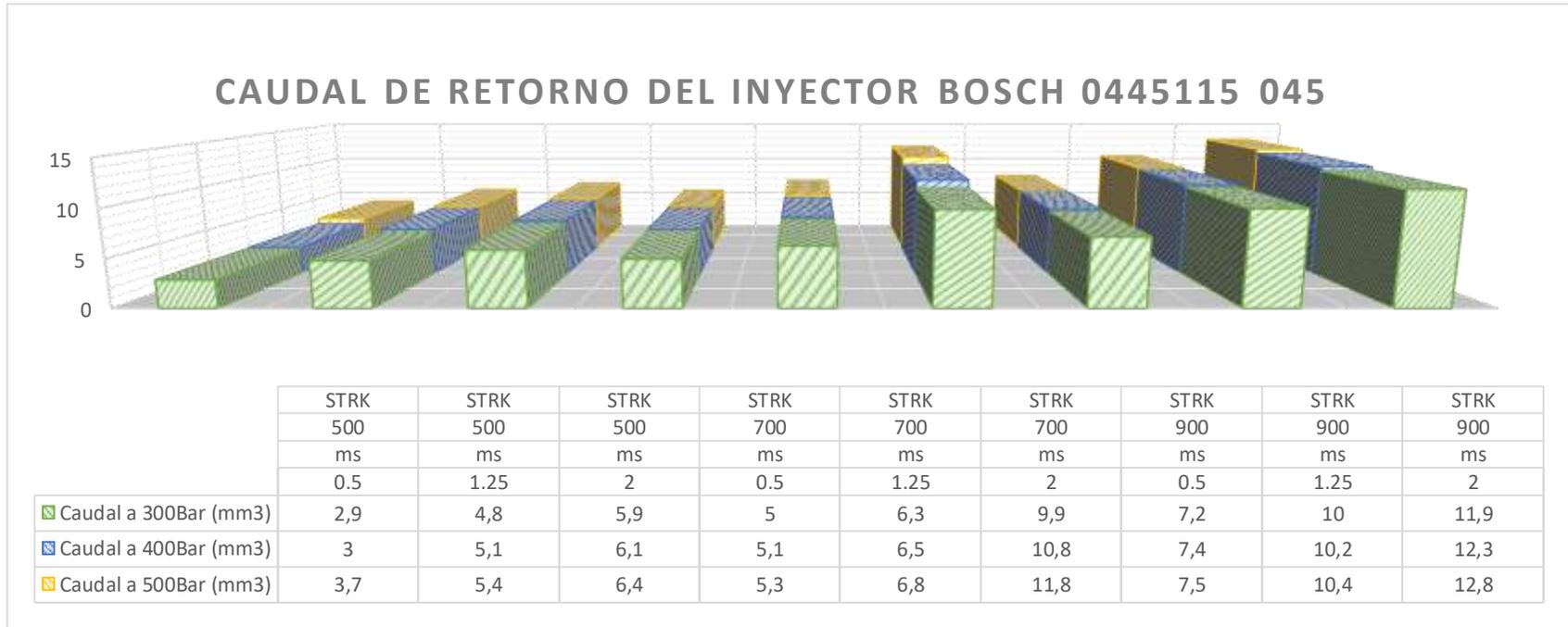


**Figura 96: Caudal de inyección del inyector Bosch #0445115 028 a 300, 400 y 500bar.**

En la figura se aprecia la variación del tiempo de inyección de (0.5-1.25-2) ms, el número de pulsos de (500-700-900) STRK siendo visible mediante la gráfica de columnas el caudal de inyección que crece al aumentar el tiempo de inyección.

**4.3.5. Análisis de resultados - Caudal de retorno a 300, 400 y 500Bar.**

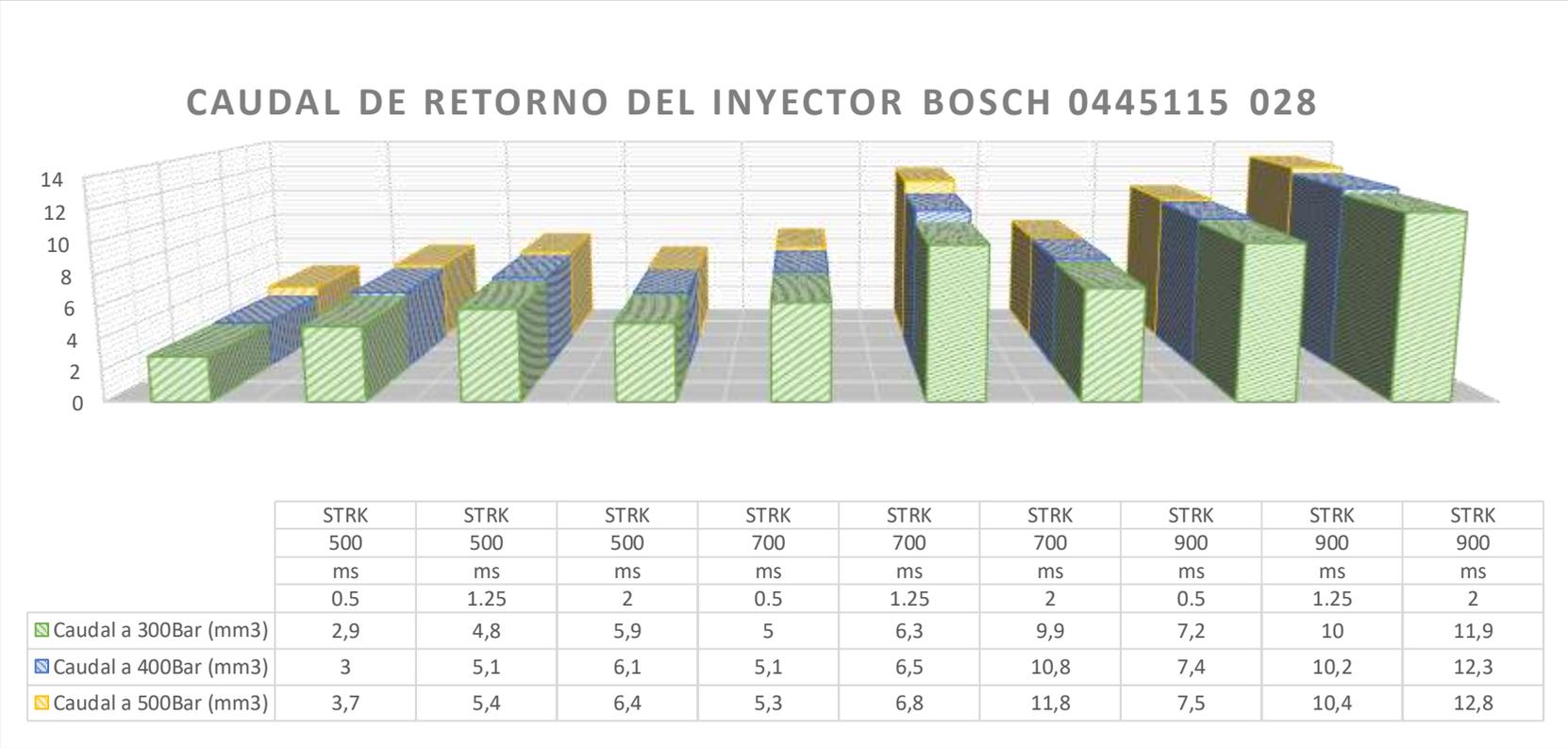
En la figura de observa la representación gráfica del caudal del retorno del inyector Bosch 0445115 045 a una presión de 300, 400 y 500 bares de presión, 500, 700 y 900 STRK, 0.5, 0.125 y 2 ms de tiempo de inyección.



**Figura 97: Caudal de retorno del inyector Bosch #0445115 045 a 300, 400 y 500bar.**

En la figura 97, se aprecia la variación del tiempo de inyección de (0.5-1.25-2) ms, el número de pulsos de (500-700-900) STRK siendo visible mediante la gráfica de columnas el caudal de inyección que crece al aumentar el tiempo de inyección.

En la figura de observa la representación gráfica del caudal de la inyección del inyector Bosch 0445115 028 a una presión de 300, 400 y 500 bares de presión, 500, 700 y 900 STRK, 0.5, 0.125 y 2 ms de tiempo de inyección.



**Figura 98: Caudal de retorno del inyector Bosch #0445115 028 a 300, 400 y 500bar**

En la figura 98, se aprecia la variación del tiempo de inyección de (0.5-1.25-2) ms, el número de pulsos de (500-700-900) STRK siendo visible mediante la gráfica de columnas el caudal de inyección que crece al aumentar el tiempo de inyección.

#### 4.3.6. Análisis de resultados - Ángulo de pulverización

##### 4.3.6.1. Inyector piezoeléctrico Bosch 0445115 045

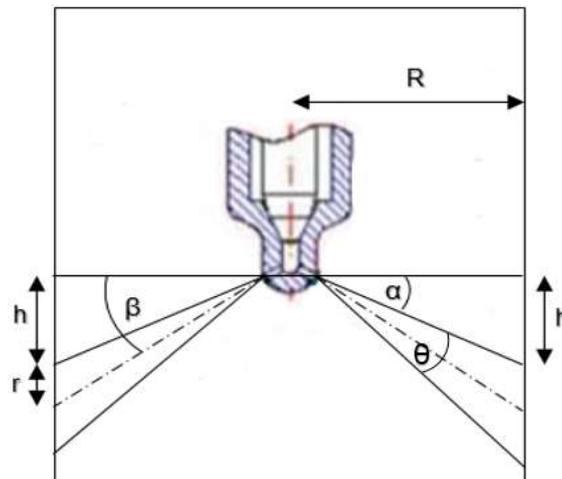


Figura 99: Ángulo de pulverización del inyector Bosch 045

#### Datos:

- R= Radio del cilindro = 40,53mm
- h= altura = 3,8mm
- r= radio del chorro = 4,5mm
- β= Angulo de disparo
- θ= Angulo de dispersión

Donde la fórmula para calcular el ángulo de disparo y el ángulo de dispersión está dada de la siguiente manera:

#### Ángulo de Disparo:

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

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{3,8+4,5}{40,53}\right)$$

$$\beta = 11,57^\circ$$

**Ángulo de Dispersión:**

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{h + 2 * r}{R}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{h}{R}\right)$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{3,8 + 9}{40,53}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{3,8}{40,53}\right)$$

$$\theta = 12,17^\circ$$

Una vez realizados los cálculos de las ecuaciones se realizó la tabulación, su apreciación en forma directa ya que este inyector posee simétricamente los siete agujeros del inyector.

Tabla 28

Ángulo de disparo y dispersión del inyector Bosch 0445115 045

Tipo de Ángulo	Valor del Ángulo
Ángulo de Disparo	11,57°
Ángulo de Dispersión	12,17°

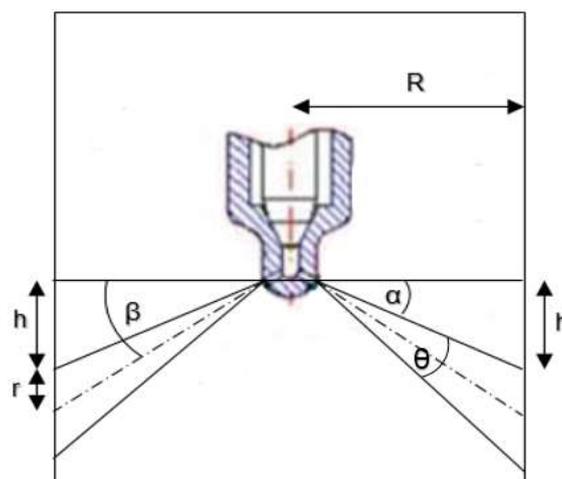
**4.3.6.2. Inyector piezoeléctrico Bosch 0445115 028**

Figura 100: Ángulo de pulverización del inyector Bosch 028

**Datos:**

- R= Radio del cilindro = 40,53mm
- h= altura = 1; 2; 3; 3; 14; 17; 23 mm

- $r$  = radio del chorro = 5,5mm
- $\beta$  = Angulo de disparo
- $\theta$  = Angulo de dispersión

Donde la fórmula para calcular el ángulo de disparo por cada agujero y el ángulo de dispersión está dada de la siguiente manera:

#### Ángulo de Disparo:

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

$$\beta = \tan^{-1} \left( \frac{1 + 5,5}{40,53} \right)$$

$$\beta = 9,11^\circ$$

#### Ángulo de Dispersión:

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{h + 2 * r}{R} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{h}{R} \right)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{1 + 11}{40,53} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{1}{40,53} \right)$$

$$\theta = 15,08^\circ$$

Una vez realizados los cálculos de las ecuaciones se realizó la siguiente tabla, tomando en cuenta que son siete agujeros del inyector y todos disparan a direcciones diferentes pero el ángulo de dispersión no cambia debido a que cada agujero tiene la misma dimensión de fabricación.

Tabla 29

Ángulo de disparo y dispersión del inyector Bosch 0445115 028

Tipo de Ángulo	Valor del Ángulo
Ángulo de Disparo 1	9,11°
Ángulo de Disparo 2	10,48°
Ángulo de Disparo 3	11,84°
Ángulo de Disparo 4	11,84°
Ángulo de Disparo 5	25,69°
Ángulo de Disparo 6	29,04°

CONTINUA



<b>Ángulo de Disparo 7</b>	35,12°
<b>Ángulo de Dispersión</b>	15,08°

#### 4.4. Análisis de resultados de las pruebas eléctricas.

##### 4.4.1. Corriente de activación de los inyectores.

En la siguiente tabla se presencia los valores de los tiempos de disparo, el tiempo de retención y la corriente de activación para el inyector Bosch 0445115 045.

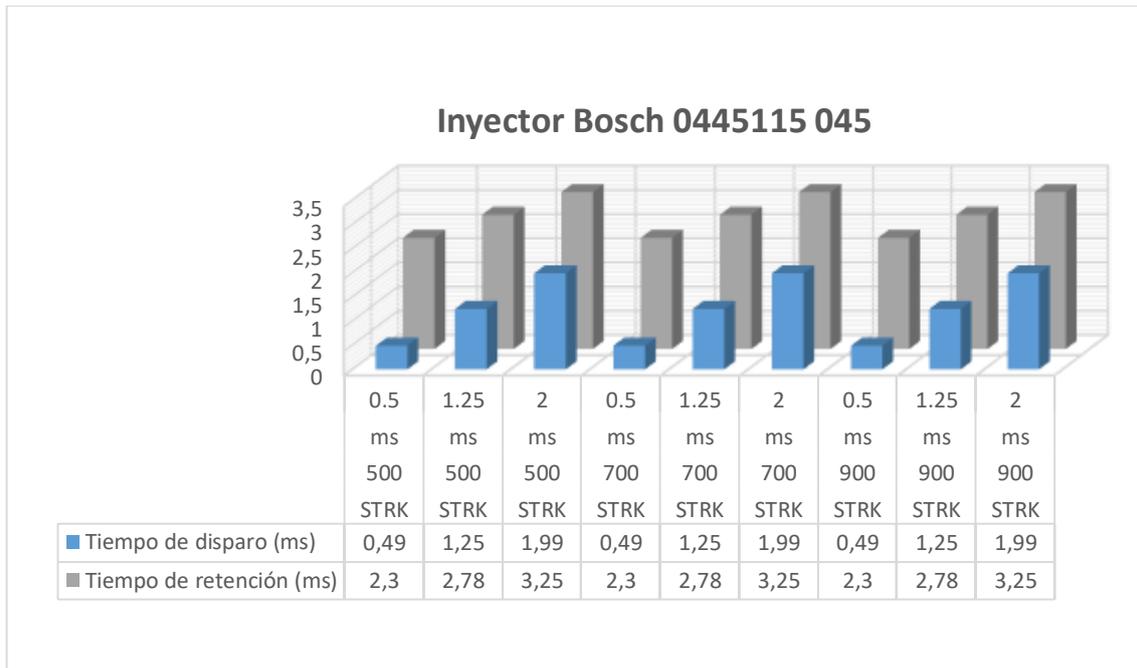
Tabla 30

Tiempo de disparo, retención y corriente del inyector 045.

<b>Inyector piezoeléctrico Bosch 0445115 045</b>				
<b>Numero de inyecciones</b>	Tiempo de inyección	Tiempo de disparo	Tiempo de retención	Corriente de activación
<b>STRK</b>	ms	(ms)	(ms)	(A)
<b>500</b>	0.5	0,49	2,3	18,2
<b>500</b>	1.25	1,25	2,78	18
<b>500</b>	2	1,99	3,25	18,1
<b>700</b>	0.5	0,49	2,3	18,3
<b>700</b>	1.25	1,25	2,78	18,1
<b>700</b>	2	1,99	3,25	18,4
<b>900</b>	0.5	0,49	2,3	18,2
<b>900</b>	1.25	1,25	2,78	18,3
<b>900</b>	2	1,99	3,25	18,1

En la tabla se observa los tiempos de disparo que son los mismos del tiempo de inyección y de la misma manera el tiempo de retención va aumentando a medida que se aumente el tiempo de inyección teniendo valores mínimos desde 2,3 ms hasta un máximo de 3,25 ms, pero esto no ocurre con la corriente de activación ya que esta se mantiene oscilando en los valores de 18 a 18,4 Amperios.

En la siguiente figura se observa la representación gráfica del tiempo de disparo y de tiempo de retención Bosch 0445115 045 independientemente de la presión que se encuentre en el sistema.



**Figura 101: Tiempo de disparo y de retención del inyector Bosch 045**

En la figura 101, se aprecia la variación del tiempo de inyección de 0.5, 1.25 y 2 milisegundos, el número de pulsos de 500, 700 y 900 STRK siendo visible mediante la gráfica de columnas el caudal de retorno crece de forma directa a medida que aumente el tiempo de inyección y el número de pulsos de inyección, obteniendo un tiempo de disparo mínimo de 0,49 milisegundos y un máximo de 1,99 milisegundos a 500 STRK con 0.5 ms y 900 STRK con 2 ms de tiempo de inyección respectivamente. Y también se obtuvo un tiempo de retención mínimo de 2,3 milisegundos y un máximo de 3,25 milisegundos a 500 STRK con 0.5 ms y 900 STRK con 2 ms de tiempo de inyección respectivamente.

Hay una apreciación del tiempo de disparo que aumenta a medida que aumenta el tiempo de inyección, pero no hay aumento a medida que se aumente la presión o que se intercambie el número de STRK, de igual manera ocurre con el tiempo de retención donde crece solo y únicamente cuando se varía el tiempo de inyección.

En la siguiente tabla se presencia los valores de los tiempos de disparo, el tiempo de retención y la corriente de activación para el inyector Bosch 0445115 028.

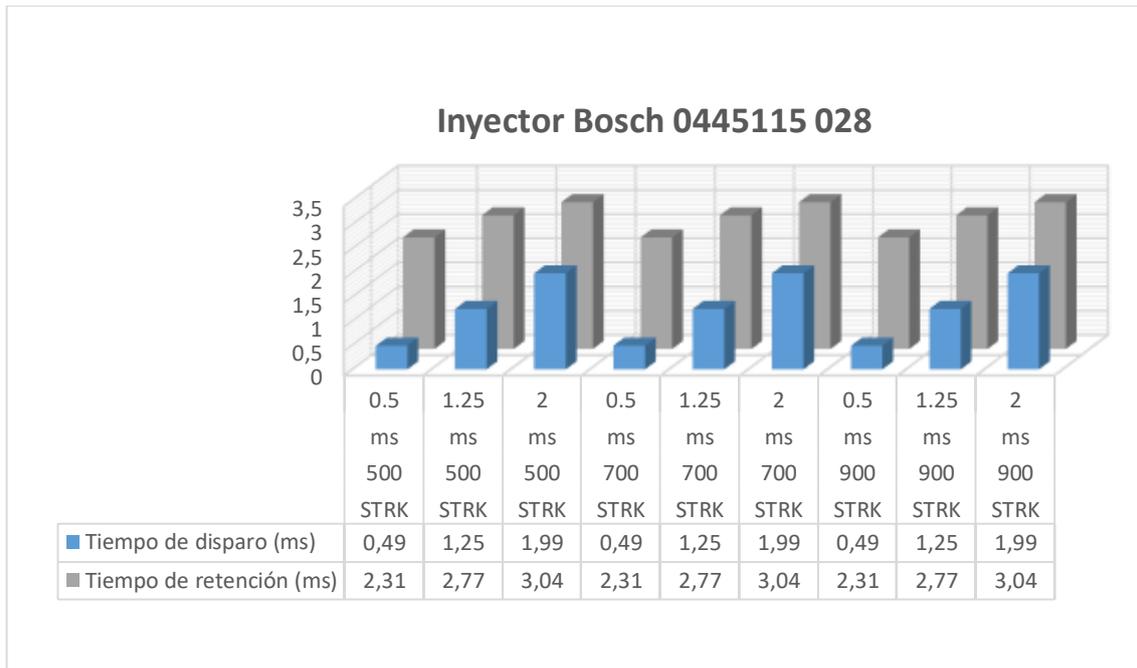
Tabla 31

Tiempo de disparo, retención y corriente del inyector 028.

<b>Inyector piezoeléctrico Bosch 0445115 028</b>				
<b>Numero de inyecciones</b>	Tiempo de inyección	Tiempo de disparo	Tiempo de retención	Corriente de activación
<b>STRK</b>	ms	(ms)	(ms)	(A)
<b>500</b>	0.5	0,49	2.31	17,2
<b>500</b>	1.25	1,25	2,77	17,9
<b>500</b>	2	1,99	3,04	17,8
<b>700</b>	0.5	0,49	2.31	17,3
<b>700</b>	1.25	1,25	2,77	17,4
<b>700</b>	2	1,99	3,04	17,6
<b>900</b>	0.5	0,49	2.31	17,3
<b>900</b>	1.25	1,25	2,77	17,2
<b>900</b>	2	1,99	3,04	17,7

En la tabla 31, se observa los tiempos de disparo que son los mismos del tiempo de inyección y de la misma manera el tiempo de retención va aumentando a medida que se aumente el tiempo de inyección teniendo valores mínimos desde 2,31 ms hasta un máximo de 3,04 ms, pero esto no ocurre con la corriente de activación ya que esta se mantiene oscilando en los valores de 17,2 hasta 17,9 Amperios.

En la siguiente figura se observa la representación gráfica del tiempo de disparo y de tiempo de retención Bosch 0445115 028 independientemente de la presión que se encuentre en el sistema.



**Figura 102: Tiempo de disparo y de retención del inyector Bosch 028**

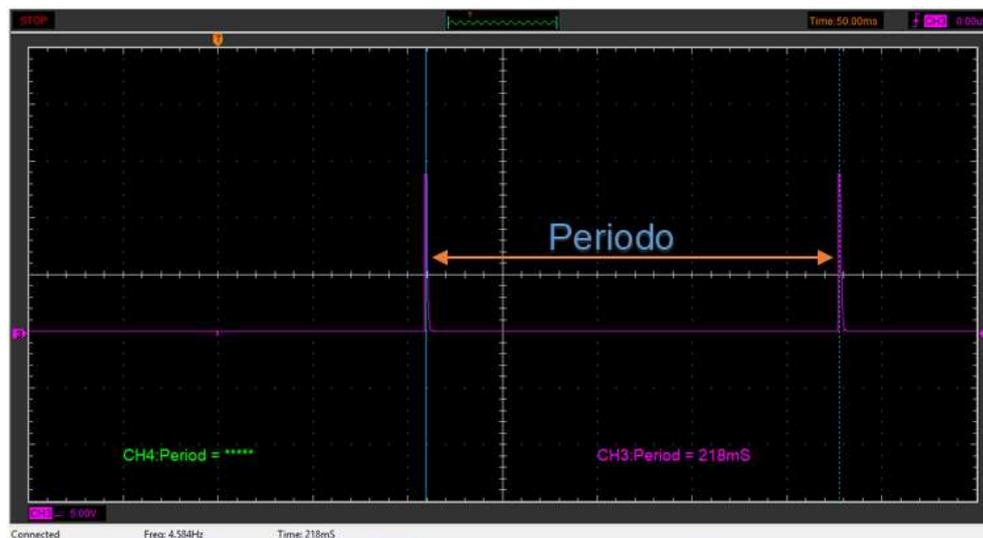
En la figura 102. se aprecia la variación del tiempo de inyección de 0.5, 1.25 y 2 milisegundos, el número de pulsos de 500, 700 y 900 STRK siendo visible mediante la gráfica de columnas el caudal de retorno crece de forma directa a medida que aumente el tiempo de inyección y el número de pulsos de inyección, obteniendo un tiempo de disparo mínimo de 0,49 milisegundos y un máximo de 1,99 milisegundos a 500 STRK con 0.5 ms y 900 STRK con 2 ms de tiempo de inyección respectivamente. Y también se obtuvo un tiempo de retención mínimo de 2,3 milisegundos y un máximo de 3,25 milisegundos a 500 STRK con 0.5 ms y 900 STRK con 2 ms de tiempo de inyección respectivamente.

Hay una apreciación del tiempo de disparo que aumenta a medida que aumenta el tiempo de inyección, pero no hay aumento a medida que se aumente la presión o que se intercambie el número de STRK, de igual manera ocurre con el tiempo de retención donde crece solo y únicamente cuando se varía el tiempo de inyección.

#### 4.4.2. Grados de activación del inyector Bosch 0445115 045.

Los grados de activación, son aquellos que están en función de giro del cigüeñal siendo directamente proporcional al tiempo de inyección cuando el inyector está en operación.

Para poder calcular los grados de activación es necesario tener presente datos que ofrece el osciloscopio Hantek.



**Figura 103: Periodo del inyector Bosch 045**

- Periodo  $P=218$  ms
- Ángulo de giro del cigüeñal  $\theta=720^\circ$
- Número de cilindros  $n=6$

El periodo de 218 ms es total para los 6 cilindros por lo que necesario encontrar el periodo para cada uno de los inyectores.

- **Periodo individual**

$$P_i = \frac{P}{n}$$

$$P_i = \frac{218}{6}$$

$$P_i = 36,33 \text{ ms}$$

- **Angulo de giro individual**

$$\theta_i = \frac{\theta}{n}$$

$$\theta_i = \frac{720}{6}$$

$$\theta_i = 120^\circ$$

Para el cálculo de los grados de activación de debe usar la siguiente formula:

$$A^\circ = \frac{T_i * \theta_i}{P_i}$$

Donde:

- $A^\circ$  = Grados de activación
- $T_i$  = Tiempo de inyección
- $\theta_i$  = Angulo de giro individual
- $P_i$  = Periodo individual

- **Grados de activación para un  $T_i = 0,5$  ms**

$$A^\circ = \frac{T_i * \theta_i}{P_i}$$

$$A^\circ = \frac{0,5 * 120}{36,33}$$

$$A^\circ = 1,651^\circ$$

- **Grados de activación para un  $T_i = 1,25$  ms**

$$A^\circ = \frac{T_i * \theta_i}{P_i}$$

$$A^\circ = \frac{1,25 * 120}{36,33}$$

$$A^\circ = 4,129^\circ$$

- **Grados de activación para un  $T_i = 2$  ms**

$$A^\circ = \frac{T_i * \theta_i}{P_i}$$

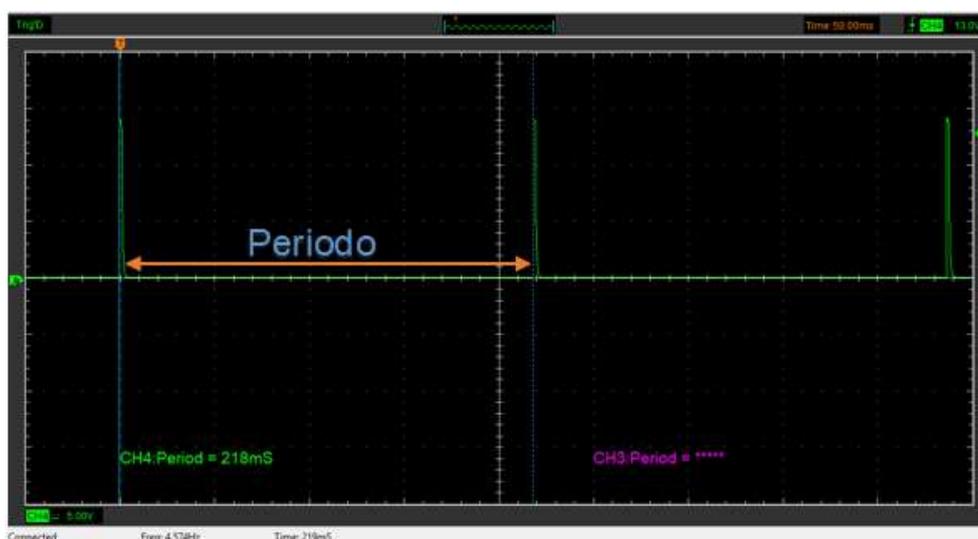
$$A^\circ = \frac{2 * 120}{36,33}$$

$$A^\circ = 6,6^\circ$$

#### 4.4.3. Grados de activación del inyector Bosch 0445115 028

Los grados de activación, son aquellos que están en función de giro del cigüeñal siendo directamente proporcional al tiempo de inyección cuando el inyector está en operación.

Para poder calcular los grados de activación es necesario tener presente datos que ofrece el osciloscopio Hantek.



**Figura 104: Periodo del inyector Bosch 028**

- Periodo P=218 ms
- Angulo de giro del cigüeñal  $\theta=720^\circ$
- Numero de cilindros n=4

El periodo de 218 ms es total para los 6 cilindros por lo que necesario encontrar el periodo para cada uno de los inyectores.

- **Periodo individual**

$$P_i = \frac{P}{n}$$

$$P_i = \frac{218}{6}$$

$$P_i = 54,5 \text{ ms}$$

- **Angulo de giro individual**

$$\theta_i = \frac{\theta}{n}$$

$$\theta_i = \frac{720}{6}$$

$$\theta_i = 180^\circ$$

Para el cálculo de los grados de activación de debe usar la siguiente formula:

$$A^\circ = \frac{T_i * \theta_i}{P_i}$$

Donde:

- $A^\circ$  = Grados de activación
- $T_i$  = Tiempo de inyección
- $\theta_i$  = Angulo de giro individual
- $P_i$  = Periodo individual
- **Grados de activación para un  $T_i = 0,5$  ms**

$$A^\circ = \frac{T_i * \theta_i}{P_i}$$

$$A^\circ = \frac{0,5 * 180}{54,5}$$

$$A^\circ = 1,651^\circ$$

- **Grados de activación para un  $T_i = 1,25$  ms**

$$A^\circ = \frac{T_i * \theta_i}{P_i}$$

$$A^\circ = \frac{0,5 * 180}{54,5}$$

$$A^\circ = 4,12^\circ$$

- **Grados de activación para un  $T_i = 2$  ms**

$$A^\circ = \frac{T_i * \theta_i}{P_i}$$

$$A^\circ = \frac{0,5 * 180}{54,5}$$

$$A^\circ = 6,61^\circ$$

#### 4.4.4. Voltaje de activación de los inyectores

En la siguiente tabla se presencia los valores del voltaje de activación, el voltaje de retención y los grados de activación para el inyector Bosch 0445115 045.

Tabla 32

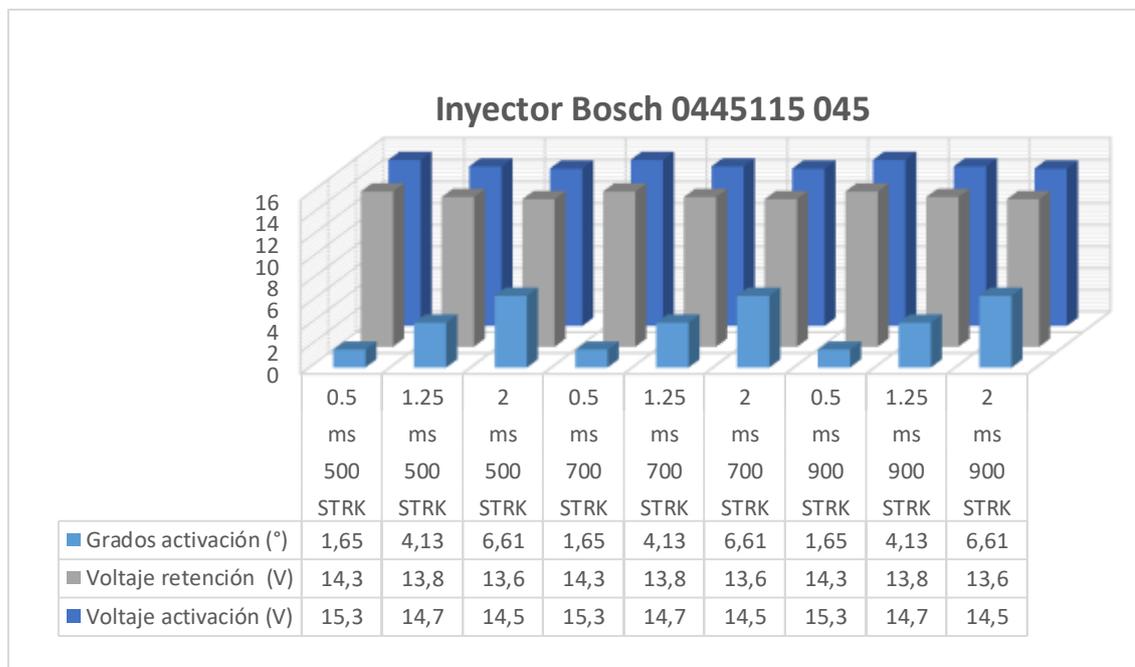
Voltaje de activación, retención y grados de activación del inyector 045

<b>Inyector piezoeléctrico Bosch 0445115 045</b>				
<b>Numero de inyecciones</b>	Tiempo de inyección	Voltaje de activación	Voltaje de retención	Grados de activación
<b>STRK</b>	ms	(V)	(V)	(°)
<b>500</b>	0.5	15,3	14,3	1,65
<b>500</b>	1.25	14,7	13,8	4,13
<b>500</b>	2	14,5	13,6	6,61
<b>700</b>	0.5	15,3	14,3	1,65
<b>700</b>	1.25	14,7	13,8	4,13
<b>700</b>	2	14,5	13,6	6,61
<b>900</b>	0.5	15,3	14,3	1,65
<b>900</b>	1.25	14,7	13,8	4,13
<b>900</b>	2	14,5	13,6	6,61

En la tabla 32, se observa el voltaje de activación por cada tiempo de inyección el cual no varía, o fluctúa entre 14,5 y 15,3 voltios, el voltaje de retención decrece a medida que aumenta el tiempo de inyección y oscila entre los

valores de 13,6 y 14,3. Los grados de activación del inyector Bosch 045 comienzan en 1,65° y termina en 6,61°.

En la siguiente figura se observa la representación gráfica de los grados de activación, voltaje de retención y el voltaje de activación del Bosch 0445115 045 independientemente de la presión que se encuentre en el sistema.



**Figura 105: Voltaje de activación, voltaje de retención y grados de activación del inyector Bosch #0445115 045**

En la figura 105, se aprecia la variación del tiempo de inyección de 0.5, 1.25 y 2 milisegundos, el número de pulsos de 500, 700 y 900 STRK siendo visible mediante la gráfica de columnas el caudal de retorno crece de forma directa a medida que aumente el tiempo de inyección y el número de pulsos de inyección, obteniendo un grados de activación mínimo de 1,65 grados y un máximo de 6,61 grados a 500 STRK con 0.5 ms y 900 STRK con 2 ms de tiempo de inyección respectivamente, también se obtuvo un voltaje de retención mínimo de 14,3 voltios y un máximo de 13,6 voltios a 500 STRK con 0.5 ms y 900 STRK con 2 ms de tiempo de inyección respectivamente y también se obtuvo un voltaje de activación mínimo de 15,3 voltios y un máximo de 14,5 voltios a 500 STRK con 0.5 ms y 900 STRK con 2 ms de tiempo de inyección respectivamente.

Hay una apreciación de los grados de activación que aumenta a medida que aumenta el tiempo de inyección, pero no hay aumento a medida que se aumente la presión o que se intercambie el número de STRK, de manera opuesta ocurre con el voltaje de retención y el voltaje de activación donde decrecen solo y únicamente cuando se varía el tiempo de inyección.

En tabla 33. se presencia los valores del voltaje de activación, el voltaje de retención y los grados de activación para el inyector Bosch 0445115 028.

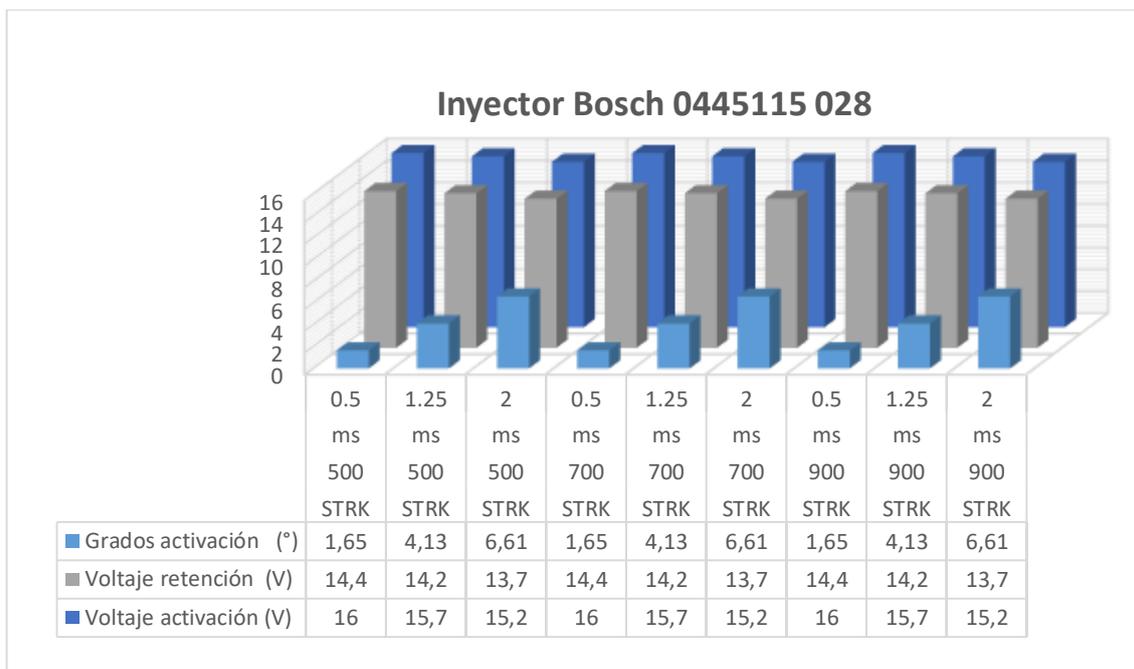
Tabla 33

Voltaje de activación, retención y grados de activación del inyector 028.

<b>Inyector piezoeléctrico Bosch 0445115 028</b>				
<b>Numero de inyecciones</b>	Tiempo de inyección	Voltaje de activación	Voltaje de retención	Grados de activación
<b>STRK</b>	ms	(mm3)	(mm3)	(°)
<b>500</b>	0.5	16	14,4	1,65
<b>500</b>	1.25	15,7	14,2	4,13
<b>500</b>	2	15,2	13,7	6,61
<b>700</b>	0.5	16	14,4	1,65
<b>700</b>	1.25	15,7	14,2	4,13
<b>700</b>	2	15,2	13,7	6,61
<b>900</b>	0.5	16	14,4	1,65
<b>900</b>	1.25	15,7	14,2	4,13
<b>900</b>	2	15,2	13,7	6,61

En la tabla se observa el voltaje de activación por cada tiempo de inyección el cual no varía entre 15,2 y 16 voltios, el voltaje de retención decrece a medida que aumenta el tiempo de inyección y oscila entre los valores de 13,7 y 14,4. Los grados de activación del inyector Bosch 045 comienzan en 1,65° y termina en 6,61°.

En la siguiente figura se observa la representación gráfica de los grados de activación, voltaje de retención y el voltaje de activación del Bosch 0445115 045 independientemente de la presión que se encuentre en el sistema.

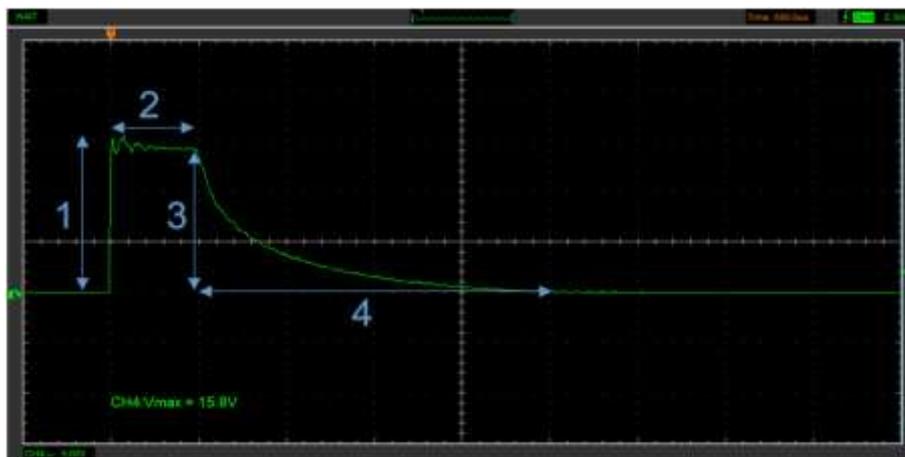


**Figura 106: Voltaje de activación, Voltaje de retención y grados de activación del inyector Bosch #0445115 045.**

En la figura se aprecia la variación del tiempo de inyección de 0.5, 1.25 y 2 milisegundos, el número de pulsos de 500, 700 y 900 STRK siendo visible mediante la gráfica de columnas el caudal de retorno crece de forma directa a medida que aumente el tiempo de inyección y el número de pulsos de inyección, obteniendo un grados de activación mínimo de 1,65 grados y un máximo de 6,61 grados a 500 STRK con 0.5 ms y 900 STRK con 2 ms de tiempo de inyección respectivamente, también se obtuvo un voltaje de retención mínimo de 14,4 voltios y un máximo de 13,7 voltios a 500 STRK con 0.5 ms y 900 STRK con 2 ms de tiempo de inyección respectivamente y también se obtuvo un voltaje de activación mínimo de 16 voltios y un máximo de 15,2 voltios a 500 STRK con 0.5 ms y 900 STRK con 2 ms de tiempo de inyección respectivamente.

#### 4.4.5. Análisis de diagramas del inyector Bosch 0445115 045.

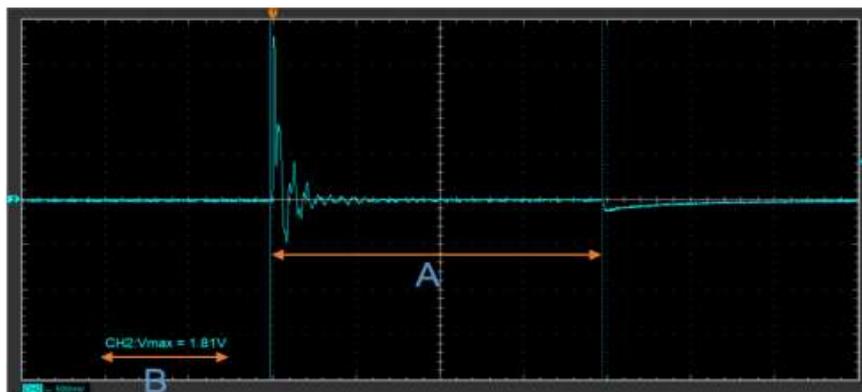
El voltaje de activación va en dependencia del tiempo de inyección que se realice la prueba, a medida que aumente este el voltaje de activación disminuye progresivamente y de la misma manera el voltaje de retención.



**Figura 107: Detalle del oscilograma de voltaje.**

En la figura se especifica su nomenclatura para cada numeración mencionada de la siguiente forma: (1) voltaje de activación, que se puede activar mediante la opción measure, (2) tiempo de activación el cual es el mismo que el tiempo de inyección, (3) voltaje de retención que decrece a medida que se aumente el tiempo de inyección, (4) es el tiempo de retención de la onda medido desde el final del tiempo de activación.

El siguiente oscilograma describe las partes del oscilograma de consumo de corriente que se origina en el mismo instante que el oscilograma del voltaje de activación.

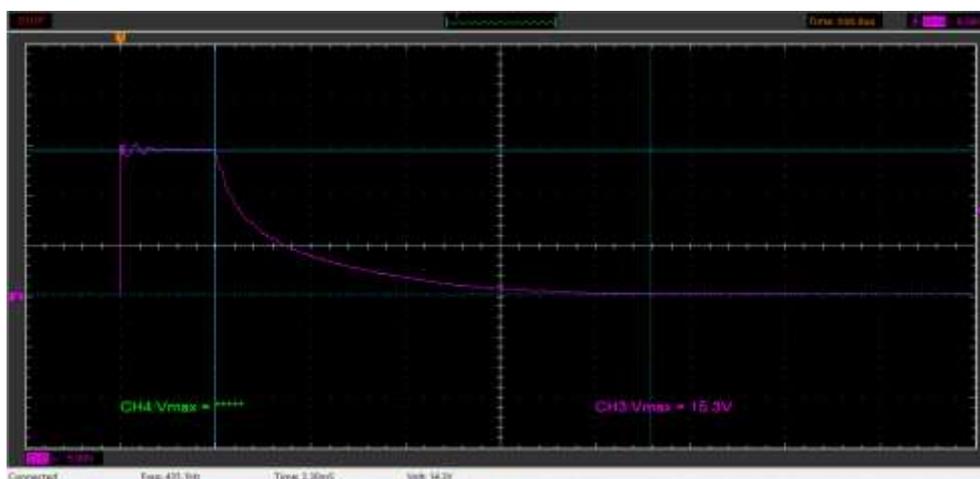


**Figura 108: Detalle del oscilograma de corriente**

En la figura 108, se detalla el significado de las letras de la siguiente manera: (A) es el tiempo de disparo en el oscilograma de corriente (B) es el valor de activación de corriente, este oscilograma es emitido por la pinza amperimétrica y se puede convertir a amperios con la conversión 10V es igual a 1A.

#### **4.4.5.1. Análisis de resultados a 0.5 ms de inyección**

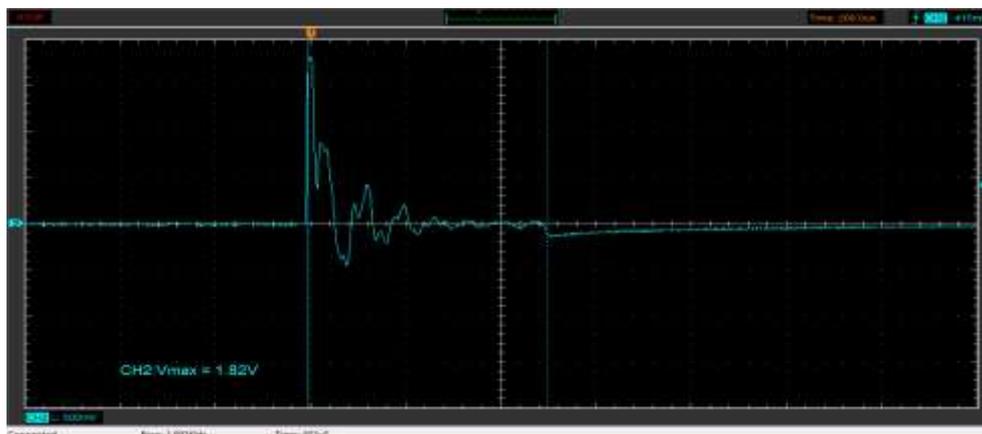
En la siguiente figura se observa el oscilograma de activación del inyector Bosch 0445115 045 con un tiempo de inyección de 0.5 milisegundos.



**Figura 109: Oscilograma de voltaje a 0.5ms del inyector 045.**

En la figura 109, se observa el oscilograma de activación del inyector 0445115 045, donde se obtiene un voltaje máximo de 15.3 V, un voltaje de retención de 13.4V y un tiempo de retención de 2.3ms para un tiempo de inyección de 0.5ms.

En la siguiente figura se observa el oscilograma de consumo de corriente Bosch 0445115 045 con un tiempo de inyección de 0.5 milisegundos.

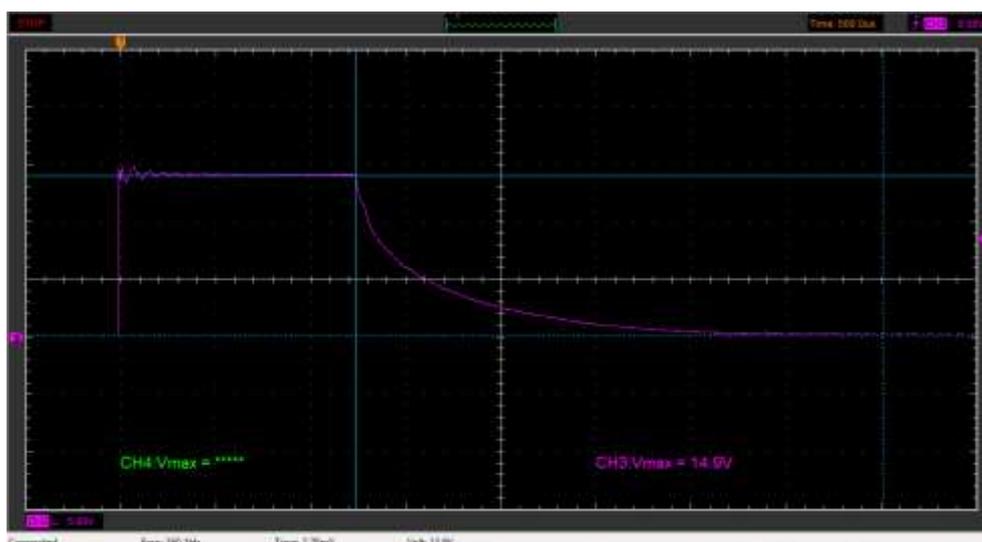


**Figura 110: Oscilograma de corriente a 0.5ms del inyector 045.**

En la figura 110, se observa que el oscilograma de consumo de corriente necesaria para activar el inyector, la cual tiene un pico máximo de 1,82V donde su equivalente en amperios es 18,2A.

#### 4.4.5.2. Análisis de resultados a 1.25 ms de inyección

En la figura 111. se observa el oscilograma de activacion del inyector Bosch 0445115 045 con un tiempo de inyección de 1.25 milisegundos.

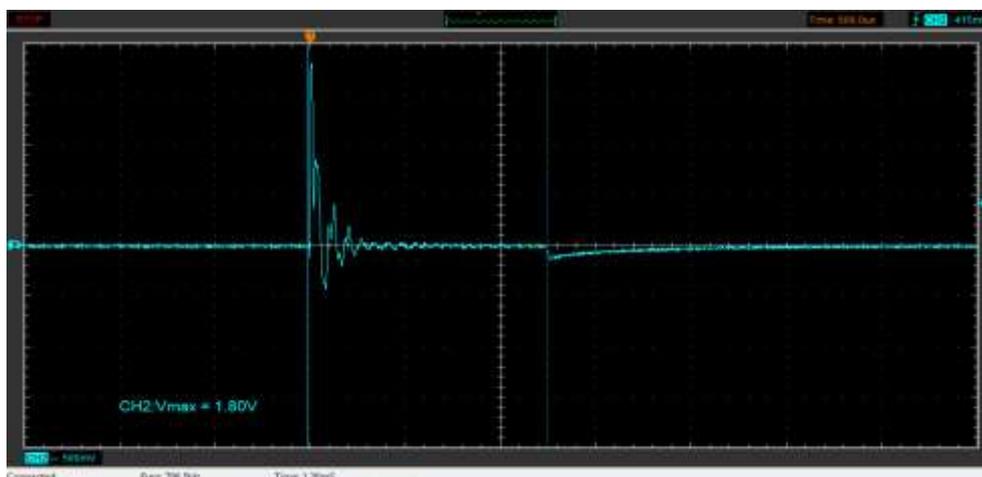


**Figura 111: Oscilograma de voltaje a 1.25ms del inyector 045**

En la figura se observa el oscilograma de activación del inyector 0445115 045, donde se obtiene un voltaje máximo de 14.9 V, un voltaje de retención de

13.9V y un tiempo de retención de 2.78ms para un tiempo de inyección de 1.25ms.

En la siguiente figura se observa el oscilograma de consumo de corriente Bosch 0445115 045 con un tiempo de inyección de 1.25 milisegundos.

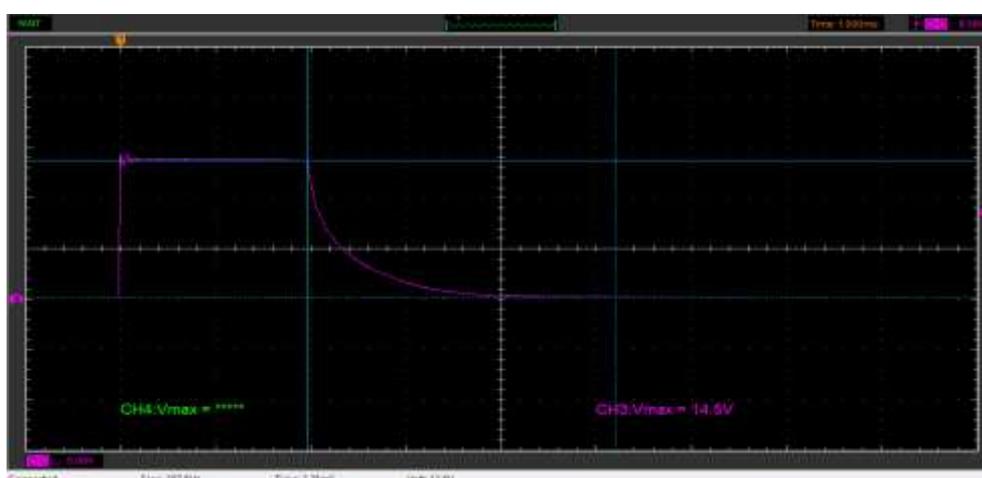


**Figura 112: Oscilograma de voltaje a 1.25ms del inyector 028**

En la figura se observa que el oscilograma de consumo de corriente necesaria para activar el inyector, la cual tiene un pico máximo de 1,80V donde su equivalente en amperios es 18A.

#### 4.4.5.3. Análisis de resultados a 2 ms de inyección

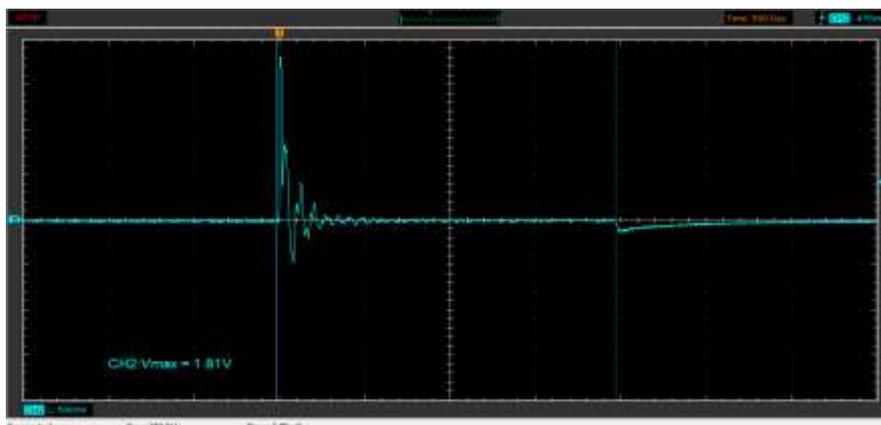
En la siguiente figura se observa el oscilograma de activación del inyector Bosch 0445115 045 con un tiempo de inyección de 2 milisegundos.



**Figura 113: Oscilograma de voltaje a 2ms del inyector 045.**

En la figura se observa el oscilograma de activación del inyector 0445115 045, donde se obtiene un voltaje máximo de 14.5V, un voltaje de retención de 13.6V y un tiempo de retención de 3.25ms para un tiempo de inyección de 0.5ms.

En la siguiente figura se observa el oscilograma de consumo de corriente Bosch 0445115 045 con un tiempo de inyección de 2 milisegundos.

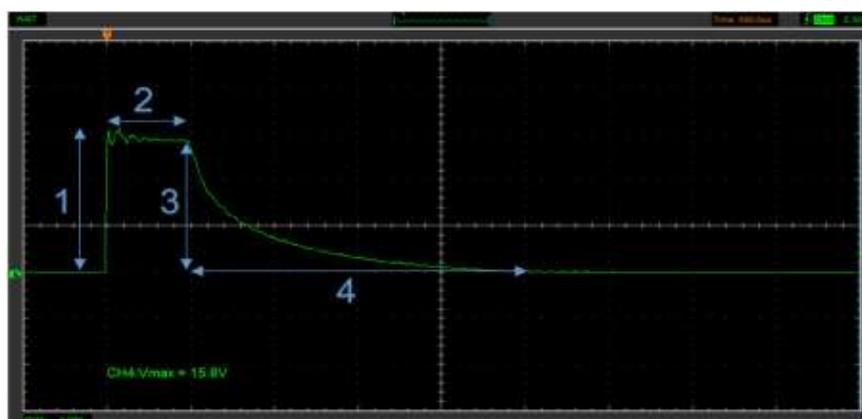


**Figura 114: Oscilograma de corriente a 2ms del inyector 045**

En la figura se observa que el oscilograma de consumo de corriente necesaria para activar el inyector, la cual tiene un pico máximo de 1,81V donde su equivalente en amperios es 18,1A.

#### 4.4.6. Análisis de diagramas del inyector Bosch 0445115 028.

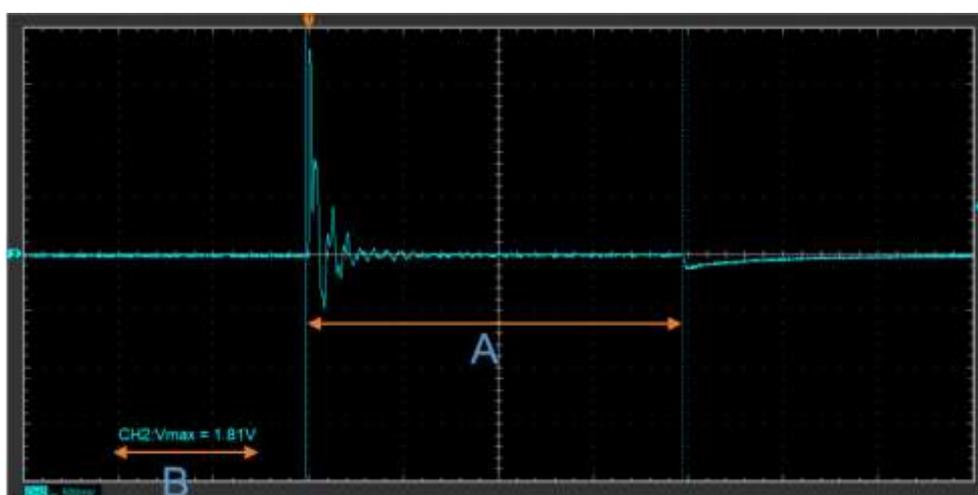
El voltaje de activación va en dependencia del tiempo de inyección que se realice la prueba, a medida que aumente este el voltaje de activación disminuye progresivamente y de la misma manera el voltaje de retención.



**Figura 115: Detalle de oscilograma de voltaje**

En la figura 115, se especifica su nomenclatura para cada numeración mencionada de la siguiente forma: (1) voltaje de activación, que se puede activar mediante la opción measure, (2) tiempo de activación el cual es el mismo que el tiempo de inyección, (3) voltaje de retención que decrece a medida que se aumente el tiempo de inyección, (4) es el tiempo de retención de la onda medido desde el final del tiempo de activación.

El siguiente oscilograma describe las partes del oscilograma de consumo de corriente que se origina en el mismo instante que el oscilograma del voltaje de activación.

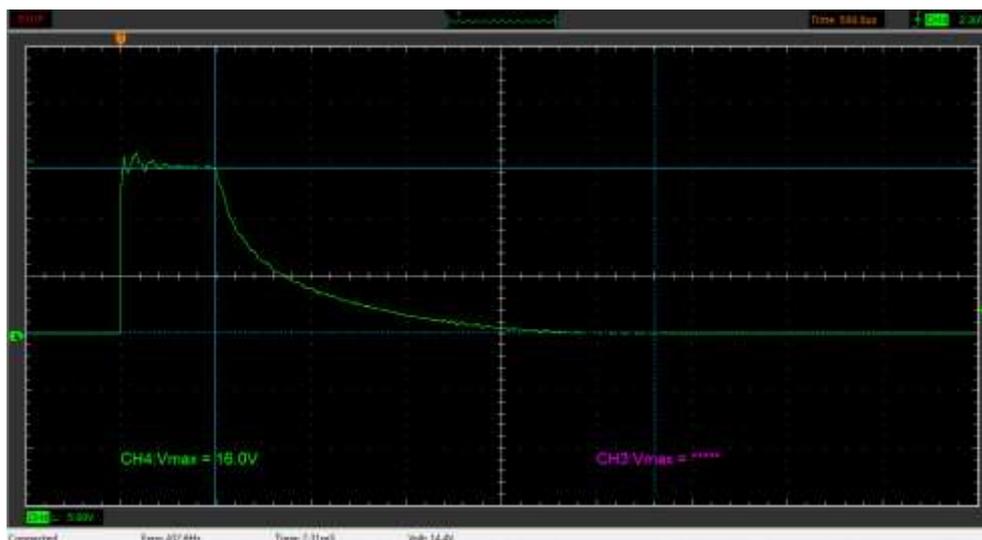


**Figura 116: Detalle del oscilograma de corriente.**

En la figura 116, se detalla el significado de las letras de la siguiente manera: (A) es el tiempo de disparo en el oscilograma de corriente (B) es el valor de activación de corriente, este oscilograma es emitido por la pinza amperimétrica y se puede convertir a amperios con la conversión 10V es igual a 1A.

#### **4.4.6.1. Análisis de resultados a 0.5 ms de inyección**

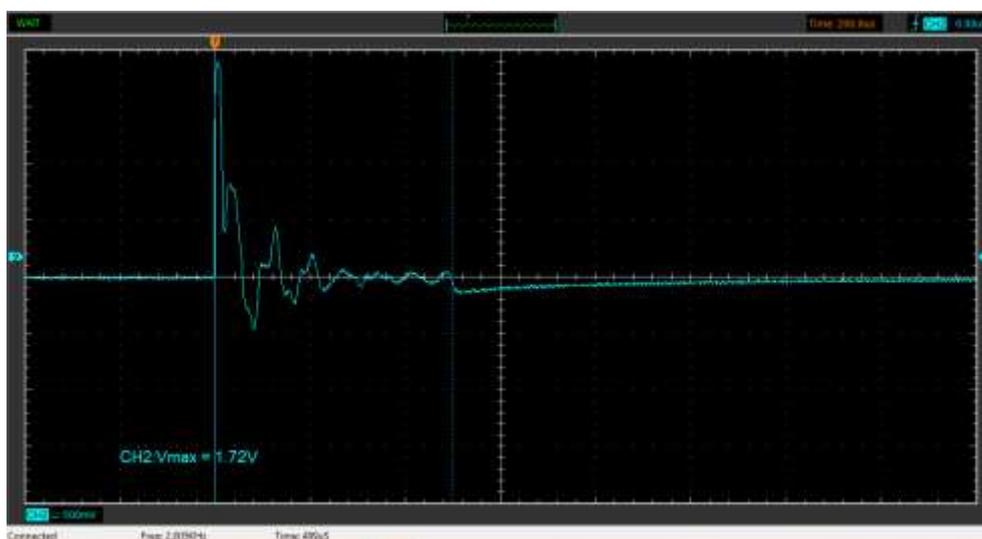
En la siguiente figura se observa el oscilograma de activación del inyector Bosch 0445115 028 con un tiempo de inyección de 0.5 milisegundos.



**Figura 117: Oscilograma de voltaje a 0.5ms del inyector 028**

En la figura se observa el oscilograma de activación del inyector 0445115 028 donde se obtiene un voltaje máximo de 16 V, un voltaje de retención de 14.4V y un tiempo de retención de 2.31ms para un tiempo de inyección de 0.5ms.

En la siguiente figura se observa el oscilograma de consumo de corriente Bosch 0445115 028 con un tiempo de inyección de 0.5 milisegundos.

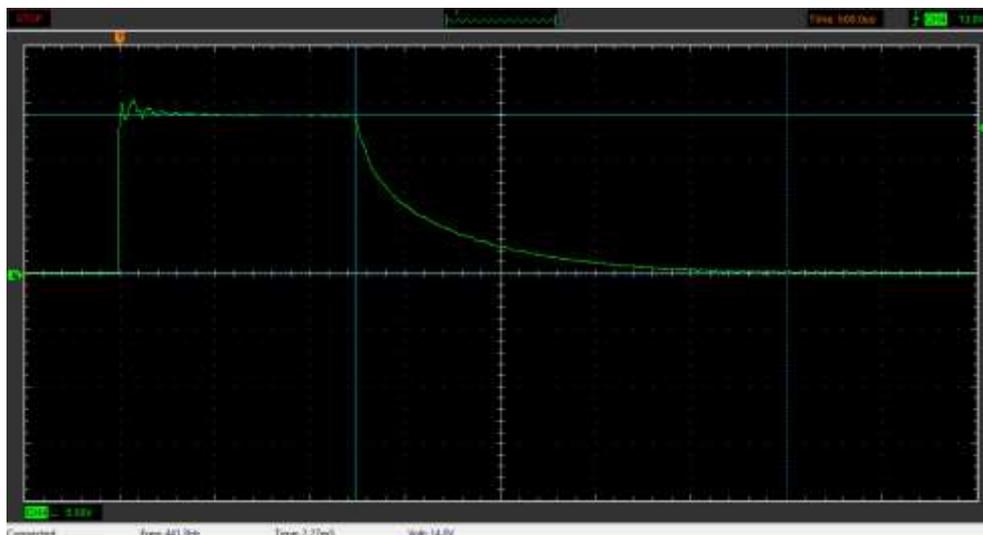


**Figura 118: Oscilograma de corriente a 0.5ms del inyector 028**

En la figura 118, se observa que el oscilograma de consumo de corriente necesaria para activar el inyector, la cual tiene un pico máximo de 1,72V donde su equivalente en amperios es 17,2A.

#### 4.4.6.2. Análisis de resultados a 1.25 ms de inyección

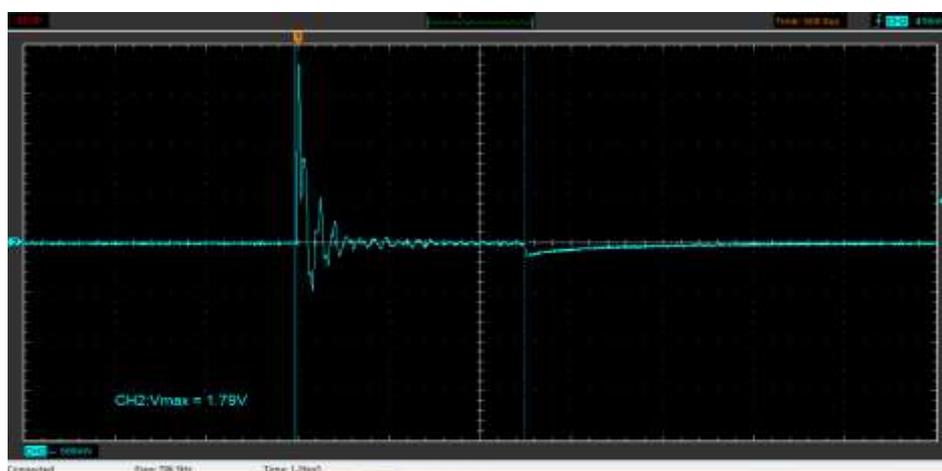
En la siguiente figura se observa el oscilograma de activación del inyector Bosch 0445115 028 con un tiempo de inyección de 1.25 milisegundos.



**Figura 119: Oscilograma de voltaje a 1.25ms del inyector 028.**

En la figura se observa el oscilograma de activación del inyector 0445115 028 donde se obtiene un voltaje máximo de 15.2 V, un voltaje de retención de 14V y un tiempo de retención de 2.27ms para un tiempo de inyección de 1.25ms.

En la siguiente figura se observa el oscilograma de consumo de corriente Bosch 0445115 028 con un tiempo de inyección de 1.25 milisegundos.

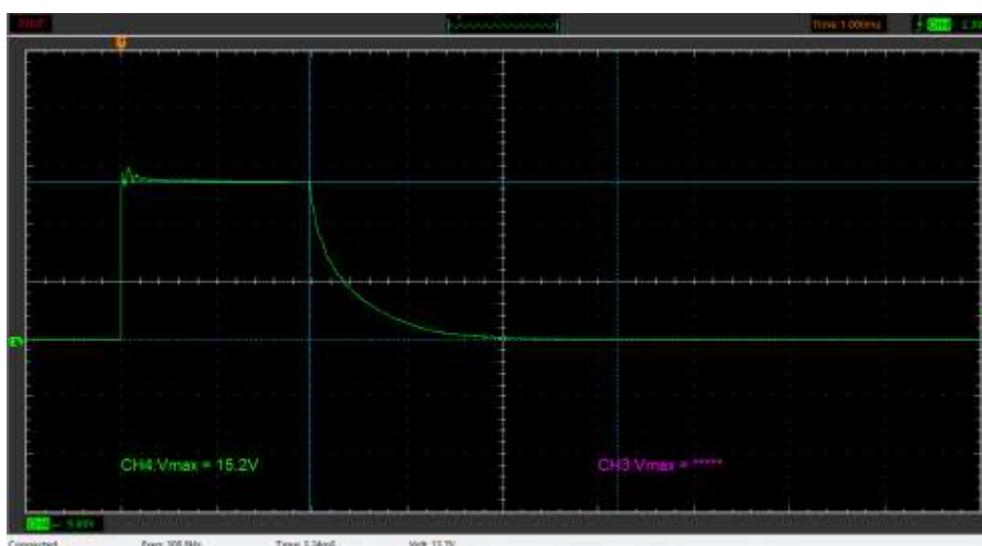


**Figura 120: Oscilograma de corriente a 1.25ms del inyector 028.**

En la figura 120. se observa que el oscilograma de consumo de corriente necesaria para activar el inyector, la cual tiene un pico máximo de 1,79V donde su equivalente en amperios es 17,9A.

#### 4.4.6.3. Análisis de resultados a 2 ms de inyección

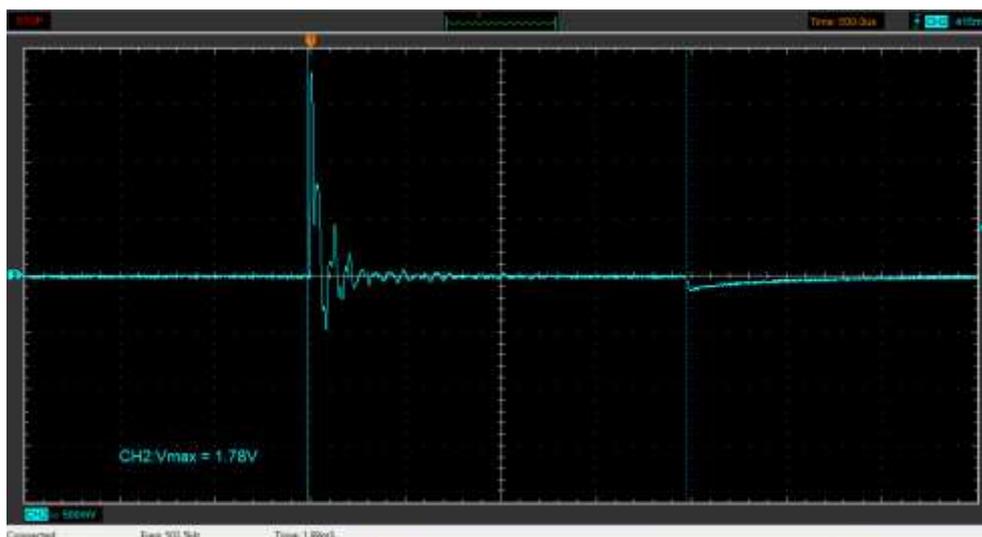
En la siguiente figura se observa el oscilograma de activación del inyector Bosch 0445115 028 con un tiempo de inyección de 2 milisegundos.



**Figura 121: Oscilograma de voltaje a 2ms del inyector 028**

En la figura 121, se observa el oscilograma de activación del inyector 0445115 028, donde se obtiene un voltaje máximo de 15.2 V, un voltaje de retención de 13.7V y un tiempo de retención de 3.24ms para un tiempo de inyección de 2ms.

En la siguiente figura se observa el oscilograma de consumo de corriente Bosch 0445115 028 con un tiempo de inyección de 2 milisegundos.



**Figura 122: Oscilograma de corriente a 2ms del inyector 028**

En la figura 122, se observa que el oscilograma de consumo de corriente necesaria para activar el inyector, la cual tiene un pico máximo de 1,78V donde su equivalente en amperios es 17,8A.

## CAPÍTULO V

### 5. MARCO ADMINISTRATIVO

#### 5.1. Recursos

En la realización de esta investigación, para darle validación técnica se tomó en cuenta varios parámetros que ayuden a realizar los objetivos y metas que se plantearon en este trabajo.

En este capítulo se utilizó recursos que fueron indispensables para que se lleve a cabo la investigación y proporcionar una orientación idónea a la misma, estos recursos tales como: humanos, físicos, tecnológicos, materiales y financieros fueron los que dieron una veracidad a esta investigación durante el desarrollo.

##### 5.1.1. Recursos humanos

Este tipo de recurso es el pilar fundamental en la ejecución de la investigación ya que de estos se establece los parámetros a considerar los cuales se presentaron en los objetivos.

Por lo cual la investigación **“INVESTIGACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y ELECTRÓNICO DE LOS INYECTORES PIEZOELÉCTRICOS BOSCH DEL SISTEMA DE INYECCIÓN CRDI (COMMON RAIL DIESEL INJECTION) DE LOS VEHÍCULOS VOLKSWAGEN CRAFTER 2.5 TDI HYUNDAI VERACRUZ IX55 3.0”** fue desarrollada por las siguientes personas:

Tabla 34

Recursos humanos

<b>Recursos Humanos</b>	
<b>Director</b>	Ing. Luis Mena
<b>Docente</b>	Ing. German Erazo
	Álvaro Sarabia
<b>Investigadores</b>	Flavio Robayo

### 5.1.2. Recursos físicos

La infraestructura y los espacios físicos usados en esta investigación tienen un gran impacto en este proyecto de titulación ya que esto afecta de forma directa e indirectamente, también en su eficiencia y el tiempo que este fue realizado, viéndose reflejado en el proceso y los resultados obtenidos al final de esta investigación.

Tabla 35

Recursos físicos

<b>Recursos Físicos</b>	
<b>Laboratorio de laboratorio</b>	Laboratorio de Autotrónica
	Banco de pruebas V – 3500
<b>Desarrollo tecnológico</b>	Biblioteca de la universidad de las Fuerzas Armadas ESPE

### 5.1.3. Recursos tecnológicos

En el desarrollo de la investigación se utiliza equipos tecnológicos específicos para el desarrollo de la investigación ya que estos son los que definen la orientación de la misma, es indispensable los recursos tecnológicos ya que estos permiten orientar la metodología y el desarrollo teórico de esta investigación.

Tabla 36

Recursos tecnológicos

<b>Recursos tecnológicos</b>	
<b>Pruebas de laboratorio</b>	Testar VNP – 3500 CRDI
	Osciloscopio Hantek 1008c
	Pinza amperimétrica Brean Bee
<b>Desarrollo teórico</b>	Internet
	Computadora
	Impresora

#### 5.1.4. Recursos materiales

La utilización de materiales específicamente de protección personal es de gran importancia ya que permiten salvaguardar la integridad y la seguridad de los investigadores.

Tabla 37

Recursos materiales.

<b>Recursos Materiales</b>	
<b>Pruebas de laboratorio</b>	Equipo de seguridad personal
	Herramientas automotrices
	Batería de 9V
	Papel milimétrico
	Compresor de aire de 4HP
<b>Desarrollo tecnológico</b>	Libros Automotrices
	Hoja de papel
	Esfero / Calculadora

#### 5.1.5. Recursos financieros

La investigación realizada, en proceso de su desarrollo se utilizó instrumentos, materiales y equipos varios que tienen un costo económico representativo que es asumido por los investigadores del proyecto.

Los recursos financieros que representan gasto económico que se llevó a cabo en esta investigación y su desarrollo se detalla en a continuación.

Tabla 38

Recursos financieros.

<b>N.-</b>	<b>Cat.</b>	<b>Unidad</b>	<b>Detalle</b>	<b>Unitario</b>	<b>Total</b>
1	1	Gal.	Viscor	80	80
2	2	Unid.	Equipos de seguridad personal	5	10

CONTINÚA 

3	1	Juego	Herramientas	160	160
4	1	Unid.	Manuales	120	120
5	7	Unid.	Guaipe	1	7
6	1	\$	Alquiler tester V – 3500	500	500
7	1	\$	Alquiler osciloscopio Hantek	240	240
8	1	\$	Alquiler pinza amperimétrica	120	120
9	1	\$	Inyector Bosch 0445115045	460	460
10	1	\$	Inyector Bosch 0445115028	540	540
11	1	\$	Trasporte	200	200
12	500	Unid.	Papel Bond	0.02	10
13	500	Unid.	Impresiones	0.15	75
14	1	\$	Gastos extras	160	160
<b>TOTAL GASTOS</b>					2682

## 5.2. Análisis del costo del proyecto

Debido a la utilización de equipos sofisticados para la ejecución de esta investigación los parámetros estadísticos que se obtuvieron del mismo están sujetos a la credibilidad que se manipulo y se ejecutó este proyecto con inyector con cero horas de funcionamiento y de igual manera con un tester con muy pocas horas de funcionamiento lo que hace que esta investigación tenga un costo elevado.

La ejecución del proyector es limitada al tiempo en el que se efectúe los análisis ya que al aumentar este la base estadística estaría limitada a su uso y entre más se utilice los datos estadísticos correspondientes a los iniciales van a variar totalmente.

## 5.3. Análisis de costo – beneficio

En el análisis de la viabilidad de la investigación se debe tomar en consideración que es una ejecución técnica con equipos de alta tecnología en

calibraciones y mediciones que permitió constituir una información confiable y veraz.

La información obtenida luego de distintos pasos sucesivos de desarrollo en las pruebas y en la parte teórica permiten fijar los parámetros bases de cada inyector como son para el Volkswagen Crafter y Hyundai Veracruz mismos motivos de análisis los cuales ayudan a futuras reparaciones de este tipo de inyectores para estas marcas en específico. Esto también está sustentado por la universidad en el aporte nuevo de información a la ya existente tiene una gran relevancia.

5.4. Cronograma

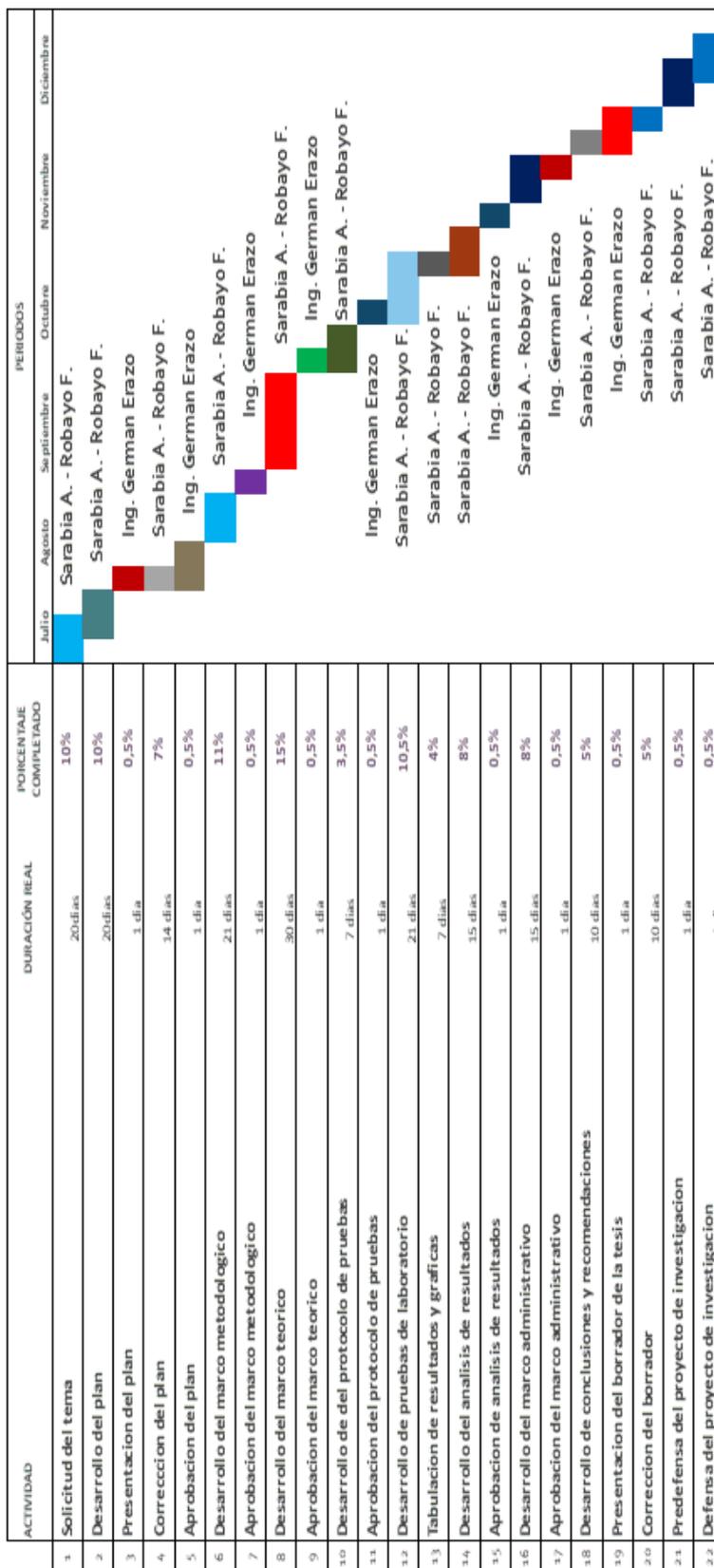


Figura 123: Cronograma

## CONCLUSIONES

- En el presente trabajo se realizó una investigación exhaustiva de fuentes confiables que poseen importante información teórica, la cual permitió el estudio, desarrollo y ejecución del trabajo de investigación propuesto.
- Se pudo determinar que los vehículos que utilizan los inyectores piezoeléctricos en el Ecuador son: Volkswagen Crafter 2.5 TBI, Volkswagen Amarok 2.0, Hyundai Veracruz 3.0 ix V6, Land Rover Freelander II
- Se determinó el método de operación de los inyectores piezoeléctrico y cuáles son las características mecánicas y eléctricas que presenta en su funcionamiento.
- Se desarrolló el trabajo con inyectores piezoeléctricos Bosch con cero horas de uso, para poder implementar una base de datos comparativa confiable, en base a los parámetros establecidos en los protocolos de investigación.
- Se realizaron pruebas mecánicas en el banco V-3500 de accionamiento electrónico para poder determinar los parámetros de funcionamiento de los inyectores Bosch piezoeléctrico, variando las condiciones de operación.
- Se realizó en el banco V-3500 pruebas eléctricas de activación de voltaje máximo de activación, corriente de activación de los inyectores piezoeléctricos Bosch.
- Se comprobó que los inyectores piezoeléctricos poseen una resistencia interna especial, la cual no puede ser medida con un multímetro convencional.
- Se realizó pruebas mecánicas para poder determinar la cantidad de inyección en la cámara de combustión, la cantidad de retorno que existe y el ángulo de inyección que poseen los inyectores piezoeléctricos variando las condiciones de trabajo.
- Se realizó un análisis comparativo con los resultados obtenidos en las diferentes pruebas, los cuales fueron reflejados en tabla de resultados de cada uno de los protocolos de pruebas.

- Se clasifico el equipo específico que permitan poder desarrollar este trabajo de investigación con precisión y éxito total.
- Su pudo determinar que la información con respecto a los inyectores piezoeléctricos Bosch es escasa y la existente, no permite determinar el buen desempeño.
- Los cuadros estadísticos obtenidos con inyectores nuevos permitir realizar comparaciones para determinar si las condiciones de trabajo son adecuadas.
- Las pruebas que se realizan aportaran de gran utilidad en las comparaciones futuras, que se puedan realizar con inyectores que presente excesivo consumo de combustible y una pérdida de potencia considerable.
- Durante las pruebas realizadas se pudo constatar que el periodo o activación del inyector es constante en todas las pruebas independientemente de la variación de la presión, el tiempo de activación y los strock.
- A media que aumenta el tiempo de activación del inyector piezoeléctrico, el voltaje de activación va disminuyendo.
- Se comprobó que el voltaje de retención es inversamente proporcional al tiempo de activación, a mayor tiempo menor voltaje.
- En los cálculos realizados de los grados de activación, se comprobó que aumentan a medida que incrementa el tiempo de activación del inyector piezoeléctrico.
- El caudal de retorno de los inyectores piezoeléctricos aumenta en volumen cuando se incrementa la presión de inyección.
- Se verifico que el voltaje de activación del inyector piezoeléctrico no depende de la presión hidráulica a la que esté sometido el sistema, no obstante, sucede con la parte hidráulica, que sí, es dependiente del voltaje de activación.
- Se comprobó que el volumen de inyección del inyector 0445115045 es de  $9.2\text{mm}^3$  cuando se le aplica los parámetros mínimos del protocolo de pruebas que son; 0.5ms de tiempo de activación, 500 STROCK Y 300 bar de presión.

- El caudal máximo de inyección del inyector 0445115045 es de  $77.1\text{mm}^3$ , cuando se aplica los parámetros máximos del protocolo de pruebas que son; 2ms de tiempo de activación, 900 STROCK, y 500 bar de presión.
- Se comprobó que el volumen de inyección del inyector 0445115028 es de  $9.5\text{mm}^3$ , cuando se le aplica los parámetros mínimos del protocolo de pruebas que son; 0.5ms de tiempo de activación, 500 STROCK Y 300 bar de presión.
- El caudal máximo de inyección del inyector 0445115045 es de  $81\text{mm}^3$ , cuando se aplica los parámetros máximos del protocolo de pruebas que son; 2ms de tiempo de activación, 900 STROCK, y 500 bar de presión.

## RECOMENDACIONES

Una vez concluido el trabajo de investigación se recomienda lo siguiente:

- Se aconseja tener una inducción de funcionamiento, manipulación y operación de los equipos a utilizar, ya que podrían ser dañados sino se cuenta con la información y la supervisión de una persona especializada.
- Debido a las grandes presiones que se generan en el banco de pruebas VNP-3500, se aconseja utilizar el equipo de protección personal adecuado.
- Antes de la manipulación del banco VNP-3500 se recomienda leer el instructivo de uso de la máquina.
- Todos los instrumentos de medición deben ser verificados y calibrados correctamente para su operación.
- El compresor de aire a presión, debe ser purgado en las mañanas o antes de conectar a las líneas de transferencia de la máquina VNP-3500, ya que la presencia de agua en el sistema podría averiar considerablemente el banco, de utilizar el banco por periodos largos, se recomienda purgar cada dos horas.
- Por precaución de funcionamiento el banco de pruebas dispone de una trampa de agua que debe ser purgado constantemente.
- El banco también dispone de un sistema de lubricación externo el cual debe ser revisado, y si el mismo contiene aceite en los niveles establecidos, a su vez comprobar visualmente si se encuentra proporcionando lubricación al sistema, de no ser así, revisar la válvula de paso.
- Se aconseja contar con implementos de aseo en caso de derrame de fluidos.
- Verificar y seleccionar toda la herramienta a utilizar durante el desarrollo de pruebas.
- Inspeccionar que los cilindros del banco de pruebas este sin impurezas, ya que las mismas podrían obstruir el paso a los tubos de medición y alterar los resultados.

- En el montaje de los inyectores a trabajar se aconseja realizar los ajustes pertinentes, ya que las grandes presiones podrían ocasionar derrames en la máquina y área de trabajo.
- Una vez conectados los inyectores, es necesario realizar la prueba de medición de resistencia y asegurar si los inyectores son piezoeléctricos o de inducción.
- Una vez finalizado el trabajo por medio de la válvula de lado derecho liberar la alta presión del sistema para poder desconectar todas las líneas de alimentación.
- Si la máquina va a estar en reposo por largos periodos de tiempo se recomienda extraer el viscor y almacenarlo en un depósito adecuado y limpio.
- Se aconseja a docentes y estudiantes realizar más trabajos de investigación en nuevos modelos de inyectores.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Archilla , F. (8 de Octubre de 2015). *¿Cómo funciona un inyector piezoeléctrico?*. Recuperado el 01 de 12 de 2017. Obtenido de <http://www.blogmecanicos.com/2015/10/como-funciona-un-inyector-piezoelctrico.html>

Archilla, F. (jueves de Agosto de 2015). <http://www.blogmecanicos.com>. Recuperado el 15 de 12 de 2017. Obtenido de <http://www.blogmecanicos.com/2015/10/como-funciona-un-inyector-piezoelctrico.html>

Augeri , F. (2010). *Cise Electrónica*. Recuperado el 20 de 12 de 2017.

Augeri, F. (11 de Septiembre de 2010). <http://www.cise.com>. Recuperado el 01 de 25 de 2017. Obtenido de <http://www.cise.com/portal/notas-tecnicas/item/140-funcionamiento-de-inyectores-piezoelctricos.html>

Autodiagnosis, A. (12 de mayo de 2017). *Inyector piezoeléctrico common rail*. Recuperado el 01 de 12 de 2017. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=iSwrV7xkXJM>

Automotriz.ORG, M. (21 de Julio de 2016). <https://www.mecanicoautomotriz.org>. Recuperado el 05 de 12 de 2017. Obtenido de <https://www.mecanicoautomotriz.org/1629-manual-sistema-inyeccion-electronica-common-rail-motores-diesel>

Barbadillo. (2014). <http://fbelectronica.com>. Recuperado el 23 de 12 de 2017. Obtenido de <http://fbelectronica.com/Infosistemas/Sistemas%20Diesel/Inyector%20piezoelctrico.html>

Barbadillo, F. (1 de Enero de 1999). [fbelectronica.com](http://fbelectronica.com) . Recuperado el 01 de 11 de 2017. Obtenido de <http://fbelectronica.com/Infosistemas/Sistemas%20Diesel/Inyector%20piezoelctrico.html>

- Barros Fajardo, L. F., & Pulla Morocho, C. O. (7 de Abril de 2016). *bibdigital.epn.edu.ec*. Recuperado el 11 de 11 de 2017. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/15360>
- Barros, & Morocho. (Enero de 2016). *DSpace*. Recuperado el 15 de 12 de 2017. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/15360>
- Bepmale. (10 de junio de 2012). <https://es.slideshare.net>. Recuperado el 27 de 12 de 2017. Obtenido de [https://es.slideshare.net/alejandrobepmale/sistemas-de-inyeccion-diesel?qid=ed9ba36f-2085-44cd-a6c2-1037f4620acd&v=&b=&from\\_search=26](https://es.slideshare.net/alejandrobepmale/sistemas-de-inyeccion-diesel?qid=ed9ba36f-2085-44cd-a6c2-1037f4620acd&v=&b=&from_search=26)
- BOSCH. (1999). *Sistema de inyección de acumulador Common Rail, Diesel*. Recuperado el 03 de 01 de 2018.
- Bosch. (2005). *Sistema de inyección Diésel por acumulador Common Rail*. Reverte. Recuperado el 04 de 01 de 2018. Obtenido de [https://books.google.com.ec/books?id=3Jll1hs3QiMC&printsec=frontcover&dq=motores+diesel+common+rail+alonso+2001&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwil3\\_Pq18fZAhWhwVkkHS3VCBMQ6AEIPjAE#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=3Jll1hs3QiMC&printsec=frontcover&dq=motores+diesel+common+rail+alonso+2001&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwil3_Pq18fZAhWhwVkkHS3VCBMQ6AEIPjAE#v=onepage&q&f=false)
- Bosch. (12 de marzo de 2015). [www.bosch-mobility-solutions.com](http://www.bosch-mobility-solutions.com). Obtenido de Productos y servicios: Recuperado el 10 de 01 de 2018. [http://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/powertrain-systems/common-rail-system-\(piezo\)/](http://www.bosch-mobility-solutions.com/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/powertrain-systems/common-rail-system-(piezo)/)
- Bosch. (2015). [www.MECANICOAUTOMOTRIZ.org](http://www.MECANICOAUTOMOTRIZ.org). Recuperado el 15 de 01 de 2018. Obtenido de <file:///C:/Users/User/Downloads/manual-sistemas-inyeccion-diesel-bosch-crs-common-rail-ups-uis-bombas-pf-inyectoras-productos-componentes.pdf>
- Bosch, R. (2005). *Sistema de inyección Diésel por acumulador Common Rail*. Recuperado el 17 de 01 de 2018.
- Bosch, R. (10 de enero de 2005). *Sistema de inyección Diesel por acumulador Common Rail*. Recuperado el 20 de 01 de 2018. Obtenido de

[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=3Jll1hs3QiMC&oi=fnd&pg=PA4&dq=inyectores+piezoel%C3%A9ctricos+bosch&ots=rv84M\\_3GhA&sig=yMW4wjPSxynjrx7pXKS6llkQgk#v=onepage&q=inyectores%20piezoel%C3%A9ctricos%20bosch&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=3Jll1hs3QiMC&oi=fnd&pg=PA4&dq=inyectores+piezoel%C3%A9ctricos+bosch&ots=rv84M_3GhA&sig=yMW4wjPSxynjrx7pXKS6llkQgk#v=onepage&q=inyectores%20piezoel%C3%A9ctricos%20bosch&f=false)

Casanova Jiménez, A., Mena, L., & Erazo, G. (8 de Agosto de 2014) Recuperado el 25 de 01 de 2018. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec>. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8832/1/AC-ESPEL-MAI-0475.pdf>

Castillo , A. (Abril de 2017). <http://repositorio.uide.edu.ec>. Recuperado el 26 de 01 de 2018. Obtenido de <http://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/1974>

Coral C, F. (28 de Noviembre de 2013). [dspace.esPOCH.edu.ec](https://www.dspace.esPOCH.edu.ec). Recuperado el 21 de 01 de 2018. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2963>

Coral C, F. (28 de Noviembre de 2013). [dspace.esPOCH.edu.ec](https://www.dspace.esPOCH.edu.ec). Recuperado el 09 de 01 de 2018. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2963>

DELPHI. (Septiembre de 2007). *MANUAL COMMON RAIL* (1 ed.). Recuperado el 03 de 01 de 2018. Obtenido de <http://automotrizenvideo.com/wp-content/sp-resources/forum-file-uploads/lisandro/2014/10/MANUAL-COMMON-RAIL-delphi.pdf>

e-auto.com.mx. (1999). Recuperado el 15 de 01 de 2018. Obtenido de <http://www.e-auto.com.mx/engew/index.php/85-boletines-tecnicos/6682-common-rail-10-sensor-de-temperatura-del-combustible-g81>

eautocommx. (12 de enero de 2013). Audi inyector piezoeléctrico. Recuperado el 28 de febrero de 2018, de <https://www.youtube.com/watch?v=hKBgM76P6Ck>

Ferrer, Á. (28 de marzo de 2015). *autonoción.com*. Recuperado el 02 de 02 de 2018. Obtenido de <https://www.autonocion.com/inyeccion-diesel-motor/>

- Figard. (24 de Junio de 2011). *es.scribd.com*. Recuperado el 03 de 02 de 2018. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/47767937/371-Motor-de-la-Crfter-2-5-TDI-Common-Rail-2>
- Granda , & Montesdeoca. (2014). Recuperado el 05 de 02 de 2018 Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/4200/1/05%20FECYT%202109%20TESIS.pdf>
- Guarella, Heredia, Rodríguez, & Bagatto. (28 de septiembre de 2011). Recuperado el 07 de 02 de 2018 Obtenido de <file:///C:/Users/User/Downloads/APUNTE%20SENSORES%20Y%20ACTUADORES.pdf>
- Jiménez. (12 de 11 de 2010). BVT\_MATERIALES\_N3. *Vilgilacia tecnológica*, 12. Recuperado el 11 de 02 de 2018.
- jose. (12 de septiembre de 235). *google*. Recuperado el 06 de 02 de 2018. Obtenido de [www.gob.ec](http://www.gob.ec)
- kia. (21 de octubre de 2016). <https://es.slideshare.net>. Recuperado el 22 de 02 de 2018. Obtenido de <https://es.slideshare.net/jorgeprofguillen/kia-diesel-manual>
- Lara , & Monteros. (9 de diciembre de 2016). *repositorio.espe.edu.ec*. Recuperado el 23 de 02 de 2018. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/11843>
- Lara Sánchez, C. J. (s.f.).
- Leon, C. (30 de diciembre de 2017). *AutoExacto*. Recuperado el 25 de 02 de 2018. Obtenido de <https://www.diagnostico-automotriz.com/osciloscopio-8-canales-hantek-1008c.html>
- Navas Vinces , D., & Durango Pérez, Á. M. (Abril de 2017). *repositorio.uide.edu.ec*. Recuperado el 01 de 02 de 2018. Obtenido de <http://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/1974>
- Rodríguez Melchor , J. (Junio de 2012). <http://ezp1.espe.edu.ec>. Recuperado el 26 de 02 de 2018 Obtenido de

[http://ezp1.espe.edu.ec:2050/lib/espesp/reader.action?docID=10692801  
&ppg=179](http://ezp1.espe.edu.ec:2050/lib/espesp/reader.action?docID=10692801&ppg=179)

- Salinas , D., & Villavicencio , J. (10 de Diciembre de 2013). <http://repositorio.espe.edu.ec>. Recuperado el 27 de 02 de 2018. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/7217>
- Santader, R. (2003). *Técnico en macánica y Electrónica Automotriz* (Vol. 1). (R. Paredes Guevara , Ed.) Colombia: Diseli.
- Satkoski, Ruikar, & Biggs. (November de 2012). Piezoelectric fuel injection: Cycle-to-cycle control of tightly spaced injections. *Energy Conversion and Management*, 20. Recuperado el 20 de 02 de 2018. Obtenido de <http://sci-hub.tw/10.1016/j.conengprac.2012.06.002>
- Vera. (Julio de 2013). Recuperado el 25 de 02 de 2018. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/22512>
- Viera J, A. (Julio de 2013). [upcommons.upc.edu](https://upcommons.upc.edu). Recuperado el 02 de 02 de 2018. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/22512>
- VSQ1. (24 de Octubre de 2006). Recuperado el 01 de 03 de 2018. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/47767922/371-Motor-de-la-Crfter-2-5-TDI-Common-Rail-1>
- VSQ1. (24 de Octubre de 2006). Recuperado el 02 de 03 de 2018. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/47767922/371-Motor-de-la-Crfter-2-5-TDI-Common-Rail-1>
- Yu, Yang, Tay, Mohan, Zhao, & Zhang. (September de 2016). Macroscopic spray characteristics of kerosene and diesel based on two different piezoelectric and solenoid injectors. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 76, 23. Recuperado el 01 de 03 de 2018. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0894177716300462>

# ANEXOS



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

**CERTIFICACIÓN**

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores: **FLAVIO DANIEL ROBAYO CABRERA** y **ÁLVARO SAMUEL SARABIA GUEVARA**

En la ciudad de Latacunga a los 12 días del mes de marzo del 2018

Ing. Luis Meña Navarrete  
**DIRECTOR DEL PROYECTO**

Aprobado por:



Ing. Danilo Zambrano  
**DIRECTOR DE CARRERA**

Dr. Freddy Jaramillo  
**SECRETARIO ACADÉMICO**