



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
AMAROK 2.0 Y LAND ROVER FREELANDER II 2.2”**

**AUTORES: HJALMAR FABRICIO BUSTILLOS CHICAIZA
FABIÁN DAVID SIMBAÑA QUINSASAMÍN**

DIRECTOR: ING. GERMÁN ERAZO

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 DIESEL INJECTION) DE LOS VEHÍCULOS VOLKSWAGEN AMAROK 2.0 Y LAND ROVER FREELANDER II 2.2”** realizado por los señores **HJALMAR FABRICIO BUSTILLOS CHICAIZA y FABIÁN DAVID SIMBAÑA QUINSASAMÍN**, 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 acreditar y autorizar a los señores **HJALMAR FABRICIO BUSTILLOS CHICAIZA y FABIÁN DAVID SIMBAÑA QUINSASAMÍN** para que lo sustenten públicamente.

Latacunga, 09 de febrero del 2018



WASHINGTON GERMÁN ERAZO LAVERDE
DIRECTOR



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

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **HJALMAR FABRICIO BUSTILLOS CHICAIZA**, con cédula de ciudadanía N° 050345588-3 y **FABIÁN DAVID SIMBAÑA QUINSASAMÍN** con cédula de ciudadanía N° 172552162-7, declaramos que este trabajo de titulación **INVESTIGACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y ELECTRÓNICO DE LOS INYECTORES PIEZOELÉCTRICOS BOSCH DEL SISTEMA DE INYECCIÓN CRDI (COMMON RAIL DIESEL INJECTION) DE LOS VEHÍCULOS VOLKSWAGEN AMAROK 2.0 Y LAND ROVER FREELANDER II 2.2"** 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 declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ellos nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 09 de febrero del 2018

Hjalmar Fabricio Bustillos Chicaiza
C.C.: 0503455883

Fabián David Simbaña Quinsasamín
C.C.:1725521627



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

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **HJALMAR FABRICIO BUSTILLOS CHICAIZA** y **FABIÁN DAVID SIMBAÑA QUINSASAMÍN** 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 DIESEL INJECTION) DE LOS VEHÍCULOS VOLKSWAGEN AMAROK 2.0 Y LAND ROVER FREELANDER II 2.2"** cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga, 09 de febrero del 2018

Hjalmar Fabricio Bustillos Chicaiza
C.C.: 0503455883

Fabián David Simbaña Quinsasamín
C.C.:1725521627

DEDICATORIA

Esta investigación la dedico a toda mi amada familia Bustillos Chicaiza. A mis padres que son mi vida entera Fernando Bustillos y Susana Chicaiza porque con su esfuerzo y amor infinito hicieron de mí una persona preparada y con ganas de día a día luchar por ser mejor humano y un gran profesional.

A mis hermanos Edison, Soledad y Dannes Bustillos Chicaiza por su apoyo incondicional, compañía, consejos y confianza en mí. Mis cuñados Maribel Bustillos, Paúl Almachi, mis pequeños sobrinos y tíos que me enseñaron a que con trabajo y sacrificio todo es posible.

A mis abuelitos paternos Teresa Chancusig (+) y Huberto Bustillos (+) que desde el cielo me envían sus bendiciones y me protegen siempre de toda adversidad. A mis abuelitos maternos Rosa Chicaiza y Antonio Chicaiza que con sus consejos y su humildad me enseñaron a ser una mejor persona.

A mi novia Gabriela Banda por estar junto a mí y ser el apoyo incondicional durante esta larga y hermosa carrera. Por cada sonrisa por cada momento compartido juntos.

A mis amigos que estuvieron conmigo en las buenas en las malas y en las peores, porque los amigos son la familia que uno escoge.

Hjalmar Fabricio Bustillos Chicaiza

DEDICATORIA

La presente investigación está dedicada a mi familia, especialmente a mis padres Flavio Simbaña y Rosa Quinsasamín que me apoyaron incondicionalmente a lo largo de mi carrera universitaria y a pesar de la distancia siempre estuvieron pendientes de mí, motivándome y alentándome para seguir adelante.

A mis hermanos y hermanas que siempre me desean lo mejor, a mis sobrinos mi cuñado y a mi novia por ser mi inspiración para cumplir mis metas.

Fabián David Simbaña Quinsasamín

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por guiarme por el sendero correcto, por la vida y la de mi familia que tanto amo.

Un agradecimiento enorme a los docentes: Ing. Germán Erazo e Ing. José Quiroz por sus conocimientos brindados a lo largo de la carrera universitaria, la ayuda brindada para lograr desarrollar la presente investigación, el tiempo y el apoyo y sobretodo su amistad que se fortaleció.

A mis padres Fernando Bustillos y Susana Chicaiza por cada uno de sus consejos, por enseñarme a aprender de mi errores y no cometerlos nuevamente a futuro.

A mis hermanos Edison, Soledad y Dannes Bustillos Chicaiza, cuñados Maribel Bustillos, Paúl Almachi por la convivencia diaria compartiendo momentos inolvidables y dándome la oportunidad de ser una mejor persona en todo ámbito.

A mis abuelitos paternos Teresa Chancusig (+) y Huberto Bustillos (+) que cuando estuvieron junto a mí me brindaron consejos para superarme; mis abuelitos maternos Rosa Chicaiza y Antonio Chicaiza que siempre creyeron en su humilde nieto.

A mi novia Gabriela Banda agradecerle por cada momento compartido, por su apoyo incondicional y por ayudarme a no rendirme en mis momentos más difíciles y así seguir en constante lucha.

A la familia que uno escoge, mis amigos porque junto a ellos superamos y dimos lucha a cada paso complicado.

Hjalmar Fabricio Bustillos Chicaiza

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme una familia ejemplar, por llenar mi vida de bendiciones y siempre guiarme por el camino del bien.

A mi padre Flavio Simbaña por enseñarme que con esfuerzo y sacrificio nada es imposible, a mi madre Rosa Quinsasamín por llenar mi vida de ese amor que solo una madre puede brindar.

A mis hermanas María Fernanda y Carolina por los consejos impartidos para ser mejor persona y nunca decaer en los momentos difíciles, a mis hermanos gemelos Santiago y Carlos que siempre estuvieron en los buenos y malos momentos, a mi cuñado Javier por los buenos deseos y las enseñanzas, a mis sobrinos Cristopher y Lenin que con sus sonrisas y ocurrencias alegran nuestro hogar.

A mi novia Stephanie por estar conmigo en todo momento, apoyándome y dándome su amor incondicional.

A mi tutor de tesis el ingeniero Germán Erazo por la paciencia y las enseñanzas impartidas para el desarrollo de la presente investigación.

Gracias a mis amigos y todos quienes fueron parte de ese sueño que con dedicación, perseverancia y el apoyo de mis padres pude cumplir el objetivo de ser Ingeniero Automotriz.

Fabián David Simbaña Quinsasamín

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA.....	1
CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE TABLAS.....	xx
ÍNDICE DE ECUACIONES	xxiii
RESUMEN	xxiv
ABSTRACT	xxv

CAPÍTULO I

1. MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
1.1 Antecedentes investigativos	1
1.1 Planteamiento del problema	2
1.2 Descripción resumida del proyecto.....	4
1.3 Justificación e importancia	5
1.4 Objetivos	6
1.4.1 Objetivo general.....	6
1.4.2 Objetivos específicos	6
1.5 Metas	6
1.6 Hipótesis.....	7
1.7 Variables de investigación	7
1.7.1 Variable Independiente:.....	7
1.7.2 Variable Dependiente:	7
1.8 Operacionalización de variables.....	7
1.9 Metodología de la investigación.	9

CAPÍTULO II

2. SISTEMA DE INYECCIÓN CRDI	14
2.1 Funcionamiento:	14

2.2	Ventajas del sistema Common Rail	15
2.3	Sistema CRDI Bosch	16
2.4	Estructura del sistema Bosch	16
2.5	Sistema de baja presión.....	17
2.5.1	Bomba de combustible del tanque	17
2.5.2	Tanque de combustible.....	17
2.5.3	Filtro de combustible	18
2.5.4	Bomba de alimentación.....	18
2.6	Sistema de alta presión.....	19
2.6.1	Bomba de alta presión.....	19
2.6.2	Riel.....	20
2.6.3	Válvula reguladora de presión.	21
2.7	Inyectores.....	22
2.8	Inyectores con tecnología Bosch	22
2.9	Inyectores electromagnéticos.....	22
2.10	Inyectores piezoeléctricos	22
2.10.1	Funcionamiento	23
2.10.2	Partes del inyector piezoeléctrico	24
2.10.3	Características de los Inyectores piezoeléctricos Bosch.....	24
2.10.4	Ventajas del uso de Inyectores piezoeléctricos Bosch	25
2.10.5	Comparación inyectores (Inductivo - Piezoeléctrico).....	25
2.10.6	Principio piezoeléctrico.....	26
2.10.7	Principio piezoeléctrico inverso	27
2.11	Parámetros de inyección	27
2.11.1	Inicio de la inyección	27
2.11.2	Curva de la inyección.....	29
2.11.3	Inyector cerrado – inicio de inyección.....	29
2.11.4	Inyector abierto – inyección	30
2.11.5	Inyector cerrado – final de la inyección.....	31
2.11.6	Patrones de inyección	31
2.12	Geometría de los orificios de la tobera.....	32
2.12.1	Ángulo de pulverización	33
2.12.2	Condición de pulverización	34
2.13	Verificaciones del inyector.....	35

2.13.1	Verificación y control de inyecciones	35
2.13.2	Verificación de la pulverización y dirección del chorro	36
2.13.3	Verificación de la estanqueidad.....	38
2.13.4	Verificación de fuga de retorno.....	38
2.13.5	Verificación de goteo.....	39

CAPÍTULO III

3.	PROTOCOLO DE PRUEBAS	41
3.1	Equipos.....	41
3.1.1	Banco de pruebas tester CRDI V 3500 VNP	41
3.1.2	Pinza amperimétrica Brain Bee.....	43
3.1.3	Osciloscopio Hantek 1008c.....	43
3.1.4	Compresor MZB.....	45
3.2	Especificaciones de los inyectores piezoeléctricos Bosch	45
3.2.1	Inyector piezoeléctrico Bosch 0445116034 Volkswagen Amarok	45
3.2.2	Inyector piezoeléctrico Bosch 0445115042 Land Rover Freelander	47
3.3	Revisión y puesta a punto del Banco de pruebas tester CRDI V 3500VNP.....	48
3.4	Procedimiento de instalación de los inyectores piezoeléctrico	51
3.5	Instalación del osciloscopio Hantek 1008.....	55
3.5.1	Instalación del software del osciloscopio Hantek 1008c	55
3.5.2	Conexión del osciloscopio a los inyectores piezoeléctricos	57
3.6	Instalación de la pinza amperimétrica Brain Bee	60
3.6.1	Conexión de la pinza amperimétrica a los inyectores.....	60
3.7	Procedimiento de pruebas del inyector piezoeléctrico	62
3.7.1	Pruebas hidráulicas-mecánicas	62
3.7.2	Grados de pulverización.....	63
3.7.3	Pruebas eléctricas.....	67
3.7.4	Parámetros de los inyectores	70
3.8	Procedimiento de desinstalación de los inyectores	70

CAPÍTULO IV

4.	ANÁLISIS DE DATOS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y ELECTRÓNICO DE LOS INYECTORES PIEZOELÉCTRICOS BOSCH DEL SISTEMA DE INYECCIÓN CRDI (COMMON RAIL DIESEL INJECTION) DE LOS VEHÍCULOS VOLKSWAGEN AMAROK 2.0 Y LAND ROVER FREELANDER II 2.2	76
4.1	Introducción.....	76
4.2	Pruebas mecánicas	76
4.3	Pruebas eléctricas.....	76
4.4	Procedimiento para calcular el ángulo de pulverización	77
4.4.1	Ángulos de pulverización Land Rover Freelander 0445115042	77
4.4.2	Ángulos de pulverización Volkswagen Amarok 0445116034	81
4.4.3	Procedimiento para calcular los grados de activación de los inyectores piezoeléctricos Volkswagen Amarok y Land Rover Freelander	83
4.5	Grados de activación.....	84
4.5.1	Land Rover Freelander 0445115042	84
4.5.2	Volkswagen Amarok 0445116034	86
4.6	Inyector piezoeléctrico Bosch 0445115042.....	88
4.6.1	Resultados obtenidos a 200 bar de presión de trabajo	89
4.6.2	Resultados obtenidos a 400 bar de presión de trabajo	92
4.6.3	Resultados obtenidos a 550 bar de presión de trabajo	95
4.6.4	Tiempo de inyección, tiempo de disparo, tiempo de retención	98
4.6.5	Voltaje de activación y descarga	99
4.6.6	Análisis global de caudal de inyección	100
4.6.7	Análisis global de caudal de retorno.....	102
4.7	Inyector piezoeléctrico Bosch 0445116034.....	103
4.7.1	Resultados obtenidos a 200 bar de presión de trabajo	104
4.7.2	Resultados obtenidos a 400 bar de presión de trabajo	107
4.7.3	Resultados obtenidos a 550 bar de presión de trabajo	110
4.7.4	Tiempo de inyección, tiempo de disparo, tiempo de retención ...	113
4.7.5	Voltaje de activación y descarga	114
4.7.5	Análisis global del caudal de inyección	115
4.7.6	Análisis global del caudal de retorno.	117

4.8	Oscilogramas de voltaje y corriente del inyector piezoeléctrico	118
4.9	Oscilogramas de voltaje y corriente del inyector piezoeléctrico Land Rover Freelander 0445115042	120
4.9.1	Oscilogramas de voltaje y corriente del inyector Land Rover Freelander 0445115042 con un tiempo de inyección de 0,5 ms.	120
4.9.2	Oscilogramas de voltaje y corriente del inyector Land Rover Freelander 0445115042 con un tiempo de inyección de 1 ms.	123
4.9.3	Oscilogramas de voltaje y corriente del inyector Land Rover Freelander 0445115042 con un tiempo de inyección de 2 ms.	125
4.10	Oscilogramas de voltaje y corriente del inyector piezoeléctrico Volkswagen Amarok 0445116034	128
4.10.1	Oscilogramas de voltaje y corriente del inyector Volkswagen Amarok 0445116034 con un tiempo de inyección de 0,5 ms.....	128
4.10.2	Oscilogramas de voltaje y corriente del inyector Volkswagen Amarok 0445116034 con un tiempo de inyección de 1 ms.	131
4.10.3	Oscilogramas de voltaje y corriente del inyector Volkswagen Amarok 0445116034 con un tiempo de inyección de 2 ms.	133

CAPÍTULO V

5.	MARCO ADMINISTRATIVO.....	136
5.1	Recursos	136
5.2	Recursos humanos	136
5.3	Recursos Físicos	136
5.4	Recursos materiales.....	137
5.5	Recursos tecnológicos.....	138
5.6	Recursos financieros.....	138
5.7	Análisis del costo del proyecto	139
5.8	Análisis costo-beneficio	139
5.9	Cronograma	141
	CONCLUSIONES	142
	RECOMENDACIONES.....	145
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	146

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Árbol de problemas.....	4
Figura 2	Esquema básico del sistema de inyección CRDI.....	15
Figura 3	Tanque de combustible.....	17
Figura 4	Filtro de combustible.....	18
Figura 5	Bomba de alimentación o transferencia.....	19
Figura 6	Bomba de alimentación o transferencia.....	19
Figura 7	Funcionamiento de la bomba de alta presión	20
Figura 8	Riel de inyectores	21
Figura 9	Válvula reguladora de presión	21
Figura 10	Partes del inyector piezoeléctrico	24
Figura 11	Principio piezoeléctrico	26
Figura 12	Elemento piezoeléctrico.....	26
Figura 13	Elemento piezoeléctrico.....	27
Figura 14	Principio piezoeléctrico inverso.....	27
Figura 15	Secuencia de activación de una inyección delinyector piezoeléctrico.....	28
Figura 16	Curvas de inyección.....	29
Figura 17	Curvas de voltaje y corriente cuando un inyector piezoeléctrico inicia la inyección.....	30
Figura 18	Curvas de voltaje y corriente cuando un inyector piezoeléctrico está abierto.....	30
Figura 19	Curvas de voltaje y corriente cuando un inyector piezoeléctrico finaliza la inyección.....	31
Figura 20	Patrón de inyección sistema Common Rail.....	32
Figura 21	Caracterización geométrica de los orificios de la tobera.....	32
Figura 22	Patrón de rociado del inyector common rail.....	34
Figura 23	Amplitud de pulverización	35
Figura 24	Patrón de pulverización.....	37
Figura 25	Patrones de pulverización.....	37
Figura 26	Tipos de chorro de inyección A. Chorro ideal. B. Chorro incorrecto.....	38

Figura 27	Goteo del inyector	40
Figura 28	Banco de pruebas VNP V-3500	41
Figura 29	Componentes del banco de prueba VNP V-3500	42
Figura 30	Pinza amperimétrica Brain Bee.....	43
Figura 31	Osciloscopio Hantek 1008c.....	44
Figura 32	Compresor MZB.....	45
Figura 33	Inyector piezoeléctrico 0445116034	45
Figura 34	Volkswagen Amarok 2.0	46
Figura 35	Inyector piezoeléctrico 0445115042	47
Figura 36	Land Rover Freelander II TD4 2.2	47
Figura 37	Cable de poder	48
Figura 38	Cable de poder conectado a una fuente de 110v	48
Figura 39	Botón de encendido	48
Figura 40	Indicador de viscor	49
Figura 41	Válvula de alivio de presión	49
Figura 42	Depósito de lubricante	49
Figura 43	Trampa de agua.....	49
Figura 44	Cilindros	50
Figura 45	Cañerías de conexión	50
Figura 46	Mangueras de retorno.....	50
Figura 47	Sockets de conexión.....	50
Figura 48	Manguera de aire del compresor	51
Figura 49	Interruptor de control.....	51
Figura 50	Botón de encendido	51
Figura 51	Inyectores piezoeléctricos.....	52
Figura 52	Cañerías de conexión	52
Figura 53	Enrosque de cañerías a los inyectores	52
Figura 54	Enrosque y puesta de inyectores en el banco	53
Figura 55	Conexión de mangueras de retorno.....	53
Figura 56	Ajuste del inyector.....	53
Figura 57	Ajuste de la cañería al banco.....	54
Figura 58	Ajuste del inyector.....	54
Figura 59	Ajuste de las mariposas de sujeción.....	54
Figura 60	Sockets de conexión.....	55

Figura 61	Conexión de los sockets a los inyectores	55
Figura 62	Inspección general del montaje de inyectores	55
Figura 63	Instalación Software Hantek	56
Figura 64	Instalación software Hantek	56
Figura 65	Instalación software Hantek	56
Figura 66	Instalación software Hantek	57
Figura 67	Instalación del software Hantek	57
Figura 68	Instalación del software Hantek	57
Figura 69	Conexión cable USB de osciloscopio	58
Figura 70	Conexión de las puntas de osciloscopio	58
Figura 71	Cables de conexión	58
Figura 72	Insertar las puntas de los cables en el socket de inyector	59
Figura 73	Conexión de la punta del osciloscopio a los cables.	59
Figura 74	Onda del inyector piezoeléctrico	59
Figura 75	Opciones del software del osciloscopio	60
Figura 76	Batería de 9v.....	60
Figura 77	Conexión del cable de la pinza amperimétrica.....	60
Figura 78	Conexión de la pinza amperimétrica	61
Figura 79	Disposición de la pinza amperimétrica.....	61
Figura 80	Seleccionar escala a utilizar.....	61
Figura 81	Curva de corriente del inyector	62
Figura 82	Opciones del software Hantek	62
Figura 83	Geometría de pulverización	63
Figura 84	Medición de la punta del inyector a los orificios	64
Figura 85	Medida de referencia del inyector	64
Figura 86	Traslación de la medida referencial al cilindro	64
Figura 87	Diámetro del chorro de pulverización.....	65
Figura 88	Referencia de medidas en el cilindro	65
Figura 89	Referencia de medidas en el cilindro	65
Figura 90	Geometría de pulverización.	66
Figura 91	Finalización de las pruebas.....	71
Figura 92	Succionar los cilindros	71
Figura 93	Drenar las probetas de caudales	71
Figura 94	Apagar el banco.....	72

Figura 95	Aliviar la presión del banco	72
Figura 96	Retirar la manguera de aire	72
Figura 97	Desconectar sockets.....	73
Figura 98	Retirar mangueras de retorno	73
Figura 99	Aflojar inyector piezoeléctrico Land Rover Freelander.....	73
Figura 100	Aflojar inyector piezoeléctrico Volkswagen Amarok.....	74
Figura 101	Aflojar mariposas de sujeción de inyectores	74
Figura 102	Retirar los inyectores del banco de pruebas	74
Figura 103	Desenroscar cañerías de los inyectores	75
Figura 104	Limpieza de inyectores	75
Figura 105	Sellar los inyectores	75
Figura 106	Geometría de pulverización.	77
Figura 107	Geometría de pulverización.	81
Figura 108	Curva del inyector piezoeléctrico Land Rover Freelander	84
Figura 109	Curva de un inyector piezoeléctrico Volkswagen Amarok	86
Figura 110	Grados de activación en función del tiempo de inyección.....	88
Figura 111	Caudal de inyección y retorno obtenidos a 200 bar.	91
Figura 112	Caudal de inyección y retorno obtenidos a 400 bar	94
Figura 113	Caudal de inyección y retorno obtenidos a 550 bar	97
Figura 114	Tiempo de inyección disparo y retención a 200,400 y 550 bar.....	98
Figura 115	Voltaje de activación y descarga a 200,400 y550 bar	99
Figura 116	Caudal de inyección obtenidos del inyector piezoeléctrico (Land Rover Freelander) a 200, 400 y 550 bar variando el número de strk y tiempo de activación.	101
Figura 117	Caudal de retorno obtenidos del inyector piezoeléctrico (Land Rover Freelander) a 200, 400 y 550 bar variando el número de strk y tiempo de activación.....	103
Figura 118	Caudal de inyección y retorno obtenidos a 200 bar.	106
Figura 119	Caudal de inyección y retorno obtenidos a 400 bar.	109
Figura 120	Caudal de inyección y retorno obtenidos a 550 bar.	112
Figura 121	Tiempo de inyección disparo y retención a 200,400 y 550 bar.....	113
Figura 122	Voltaje de activación y descarga a 200,400 y550 bar	114

Figura 123	Caudal de inyección obtenidos del inyector piezoeléctrico (Volkswagen Amarok) a 200, 400 y 550 bar variando el número de strk y tiempo de activación.....	116
Figura 124	Caudal de retorno obtenidos del inyector piezoeléctrico (Volkswagen Amarok) a 200, 400 y 550 bar variando el número de strk y tiempo de activación.....	118
Figura 125	Oscilograma de voltaje del inyector piezoeléctrico	118
Figura 126	Oscilograma de corriente del inyector piezoeléctrico	119
Figura 127	Oscilograma de voltaje para un tiempo de inyección de 0,5 ms	120
Figura 128	Oscilograma de voltaje para un tiempo de inyección de 0,5 ms	121
Figura 129	Oscilograma de voltaje para un tiempo de inyección de 0,5 ms	121
Figura 130	Oscilograma de corriente para un tiempo de inyección de 0,5 ms	122
Figura 131	Oscilograma de voltaje y corriente para un tiempo de inyección de 0,5 ms	122
Figura 132	Oscilograma de voltaje para un tiempo de inyección de 1 ms	123
Figura 133	Oscilograma de voltaje para un tiempo de inyección de 1 ms	123
Figura 134	Oscilograma de voltaje para un tiempo de inyección de 1 ms	124
Figura 135	Oscilograma de corriente para un tiempo de inyección de 1 ms	124
Figura 136	Oscilograma de voltaje y corriente para un tiempo de inyección de 1 ms	125
Figura 137	Oscilograma de voltaje para un tiempo de inyección de 2 ms	125
Figura 138	Oscilograma de voltaje para un tiempo de inyección de 2 ms	126
Figura 139	Oscilograma de voltaje para un tiempo de inyección de 2 ms	126

Figura 140	Oscilograma de corriente para un tiempo de inyección de 2 ms.....	127
Figura 141	Oscilograma de voltaje y corriente para un tiempo de inyección de 2 ms.....	127
Figura 142	Oscilograma de voltaje para un tiempo de inyección de 0,5 ms.....	128
Figura 143	Oscilograma de voltaje para un tiempo de inyección de 0,5 ms.....	129
Figura 144	Oscilograma de voltaje para un tiempo de inyección de 0,5 ms.....	129
Figura 145	Oscilograma de corriente para un tiempo de inyección de 0,5 ms.....	130
Figura 146	Oscilograma de voltaje y corriente para un tiempo de inyección de 0,5 ms.....	130
Figura 147	Oscilograma de voltaje para un tiempo de inyección de 1 ms.....	131
Figura 148	Oscilograma de voltaje para un tiempo de inyección de 1 ms.....	131
Figura 149	Oscilograma de voltaje para un tiempo de inyección de 1 ms.....	132
Figura 150	Oscilograma de corriente para un tiempo de inyección de 1 ms.....	132
Figura 151	Oscilograma de voltaje y corriente para un tiempo de inyección de 1 ms.....	133
Figura 152	Oscilograma de voltaje para un tiempo de inyección de 2 ms.....	133
Figura 153	Oscilograma de voltaje para un tiempo de inyección de 2 ms.....	134
Figura 154	Oscilograma de voltaje para un tiempo de inyección de 2 ms.....	134
Figura 155	Oscilograma de corriente para un tiempo de inyección de 2 ms.....	135
Figura 156	Oscilograma de voltaje y corriente para un tiempo de inyección de 2 ms.....	135

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Variable Independiente: inyectores piezoeléctrico Bosch	8
Tabla 2	Variable dependiente: Parámetros mecánicos y eléctricos	9
Tabla 3	Metodología de desarrollo del proyecto	11
Tabla 4	Especificaciones técnicas del banco VNP V3500	42
Tabla 5	Características de la pinza amperimétrica	43
Tabla 6	Características del osciloscopio Hantek 1008c.....	44
Tabla 7	Ficha técnica del compresor MZB.....	45
Tabla 8	Especificaciones del inyector 0445116034	46
Tabla 9	Características del vehículo	46
Tabla 10	Características del vehículo	47
Tabla 11	Revisión y puesta a punto del banco tester CRDI V 3500 VNP.....	48
Tabla 12	Instalación de los inyectores piezoeléctricos.....	52
Tabla 13	Instalación del software del osciloscopio Hantek 1008	56
Tabla 14	Conexión del osciloscopio a los inyectores piezoeléctricos	57
Tabla 15	Conexión de la pinza amperimétrica a los inyectores	60
Tabla 16	Parámetros de las pruebas	63
Tabla 17	Procedimiento para calcular los grados de pulverización	63
Tabla 18	Ángulos de pulverización	67
Tabla 19	Parámetros de las pruebas	67
Tabla 20	Parámetros para las pruebas de los inyectores piezoeléctricos	68
Tabla 21	Parámetros de los inyectores piezoeléctricos	70
Tabla 22	Desinstalación de los inyectores	71
Tabla 23	Ángulos de pulverización	79
Tabla 24	Ángulos de pulverización	82
Tabla 25	Grados de activación en función de la variación del tiempo de inyección	88
Tabla 26	Resultados obtenidos del inyector piezoeléctrico (Land Rover Freelander) a 200 bar.....	89
Tabla 27	Resultados obtenidos del inyector piezoeléctrico (Land Rover Freelander) a 200 bar.....	90

Tabla 28	Resultados obtenidos del inyector piezoeléctrico (Land Rover Freelander) a 400 bar.....	92
Tabla 29	Resultados obtenidos del inyector piezoeléctrico (Land Rover Freelander) a 400 bar.....	93
Tabla 30	Resultados obtenidos del inyector piezoeléctrico (Land Rover Freelander) a 550 bar.....	95
Tabla 31	Resultados obtenidos del inyector piezoeléctrico (Land Rover Freelander) a 550 bar.....	96
Tabla 32	Caudal de inyección obtenidos del inyector piezoeléctrico (Land Rover Freelander) a 200, 400 y 550 bar variando el número de strk y tiempo de activación.....	100
Tabla 33	Caudal de retorno obtenidos del inyector piezoeléctrico (Land Rover Freelander) a 200, 400 y 550 bar variando el número de strk y tiempo de activación.....	102
Tabla 34	Resultados obtenidos del inyector piezoeléctrico (Volkswagen Amarok) a 200 bar.....	104
Tabla 35	Resultados obtenidos del inyector piezoeléctrico (Volkswagen Amarok) a 200 bar.....	105
Tabla 36	Resultados obtenidos del inyector piezoeléctrico (Volkswagen Amarok) a 400 bar.....	107
Tabla 37	Resultados obtenidos del inyector piezoeléctrico (Volkswagen Amarok) a 400 bar.....	108
Tabla 38	Resultados obtenidos del inyector piezoeléctrico (Volkswagen Amarok) a 550 bar.....	110
Tabla 39	Resultados obtenidos del inyector piezoeléctrico (Volkswagen Amarok) a 550 bar.....	111
Tabla 40	Caudal de inyección obtenidos del inyector piezoeléctrico (Volkswagen Amarok) a 200, 400 y 550 bar variando el número de strk y tiempo de activación.....	115
Tabla 41	Caudal de retorno obtenidos del inyector piezoeléctrico (Volkswagen Amarok) a 200, 400 y 550 bar variando el número de strk y tiempo de activación.....	117
Tabla 42	Recursos humanos	136
Tabla 43	Recursos físicos.....	137

Tabla 44	Recursos materiales	137
Tabla 45	Recursos tecnológicos	138
Tabla 46	Recursos financieros.....	139

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1	Ángulo de dispersión	78
Ecuación 2	Ángulo de disparo	78
Ecuación 3	Ángulo de cono	79
Ecuación 4	Periodo individual	84
Ecuación 5	Ángulo individual	85
Ecuación 6	Grados de activación.....	85

RESUMEN

La mayoría de los sistemas de combustible de motores diésel modernos utilizan una tecnología avanzada conocida como CRDI o Common Rail Diesel Injection, este sistema de inyección directa supera algunas de las deficiencias de los motores diésel convencionales, haciendo de estos motores más eficientes, más potentes y a la vez menos contaminantes. De la misma manera, el uso de inyectores piezoeléctricos en este sistema da como resultado un control exacto de la cantidad de combustible de hasta diez inyecciones controladas por un moderno sistema electrónico, logrando así una preinyección más silenciosa, una inyección principal capaz de asegurar un par estable y una post inyección con bajo porcentaje de nitrógeno. Es por esta razón que la investigación está enfocada al análisis de los inyectores piezoeléctricos Bosch, con la finalidad de generar un registro confiable del comportamiento electrónico y mecánico de dichos inyectores, características y valores ideales de funcionamiento, para lo cual se establece un protocolo de pruebas en donde se modifica la presión y el tiempo de inyección, el número de embolada o pulsaciones y mediante equipos especiales como: banco de pruebas, osciloscopio, pinza amperimétrica, LCR multímetro se logra obtener resultados de voltaje, corriente, caudales y tiempos de inyección que permiten establecer el correcto funcionamiento de los inyectores CRDI del sistema Bosch.

PALABRAS CLAVE:

- **INYECTORES PIEZOELÉCTRICOS**
- **SISTEMA DE INYECCIÓN DIÉSEL RIEL COMÚN**
- **AUTOMÓVILES - SISTEMA DE INYECCIÓN**
- **MOTORES DIÉSEL**

ABSTRACT

Most modern diesel engine fuel systems use advanced technology known as CRDi or Common Rail Diesel Injection, this direct injection system overcomes some of the shortcomings of conventional diesel engines, making these engines more efficient, more powerful and at the same time less polluting. In the same way, the use of piezo injectors in this system results in an exact control of the fuel quantity of up to ten injections controlled by a modern electronic system, thus achieving a quieter pre-injection, a main injection capable of ensuring a torque stable and a post injection with low nitrogen percentage. It is for this reason that the research is focused on the analysis of Bosch piezo injectors, in order to generate a reliable record of the electronic and mechanical behavior of these injectors, characteristics and ideal values of operation, for which a test protocol is established where the pressure and time of injection, the number of strokes or pulsations are modified and by means of special equipment such as: test bench, oscilloscope, clamp meter, LCR multimeter it is possible to obtain results of voltage, current, flow rates and injection times, they allow to establish the correct functioning of the CRDI injectors of the Bosch system.

KEYWORD:

- **PIEZOELECTRIC INJECTORS**
- **COMMON RAIL DIESEL INJECTION SYSTEM**
- **AUTOMOBILES - INJECTION SYSTEM**
- **DIESEL ENGINES**

CAPÍTULO I

1. MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Antecedentes investigativos

La industria automotriz ha buscado un mejoramiento óptimo sobre la eficiencia de los sistemas automotrices que permita un rendimiento y manejo adecuado de la variedad de sistemas de inyección, destacando así al sistema de alimentación de combustible, el cual tiene como objetivo reducir emisiones contaminantes y consumo de combustible sin afectar a la potencia de los motores diésel. Estas exigencias se ven reflejadas en el desarrollo de un sistema eficiente y eficaz para controlar presiones elevadas dentro de un mismo riel, denominado CRDI (Common Rail Diésel Injection) mismo que es suficiente para conseguir una pulverización mucho mayor que la obtenida en los sistemas de bomba inyectora.

Es así, que desde principios de los años 90 se trabajó en una nueva técnica que permita aportar mayor presión de inyección en los motores de turismo de inyección directa. “Common-Rail” (conducto común) se convirtió en una de las soluciones buscadas para obtener esta mayor presión. La técnica se basa en la acumulación del Combustible a una presión determinada en un único conducto, distribuyéndose posteriormente a los inyectores mediante la utilización de la gestión electrónica del motor. (Coral, 2013 , pág. 45)

Los motores de gasóleo presentaron como una eterna alternativa; inyección directa o indirecta, motores turbo o atmosféricos, control electrónico o mecánico que, con el tiempo, las mecánicas modernas han terminado adoptando en la mayoría de los casos las mismas soluciones: inyección directa, incorporación del turbo, control electrónico, pero todavía existen dos grandes bloques: conducto común o inyector-bomba. Esta disyuntiva quizás quede también resuelta en poco tiempo, como el “Common-Rail”; presión constante. (Coral, 2013 , pág. 49)

(Granda & Estevez, 2014) mencionan que: “El Inyector piezoeléctrico cumple con las altas prestaciones que exige el sistema CRDI, y permite una

mejor entrega de combustible con la cantidad y presión exacta en el momento adecuado, realizando hasta cinco preinyecciones antes de su inyección principal ya que su eficiencia es la preinyección, la inyección y la post-inyección lo que permite una combustión mucho más eficiente y garantiza al motor una mayor durabilidad y potencia.” (pág. 89)

De esta manera los inyectores piezoeléctricos Bosch CRDI y su tecnología se los puede encontrar en diferentes marcas de vehículos, entre los cuales se destacan Volkswagen y Land Rover, con sus modelos Amarok y Freelander respectivamente, pero la información relacionada a sistemas CRDI, a mantenimientos, protocolos de pruebas y calibración de inyectores piezoeléctricos Bosch es limitada, para quienes pretenden estudiar este sistema de alimentación.

En relación a estos sistemas se toma en cuenta el crecimiento del parque automotor en el Ecuador, la demanda por parte de los consumidores y las ventajas que ofrece el sistema de inyección CRDI, puesto que es importante contar con una información técnica, veraz y confiable que permita realizar un correcto diagnóstico, calibración y mantenimiento de los inyectores piezoeléctricos Bosch CRDI bajo protocolos de pruebas que garanticen su correcto y óptimo funcionamiento para el beneficio de sus usuarios en la actualidad.

1.1 Planteamiento del problema

Los motores diésel a nivel mundial fueron sometidos a constantes y estrictas regulaciones debido al porcentaje de emisiones contaminantes que afectaban de manera directa el medio ambiente, es por tal razón que el sistema CRDI actualmente ha ido disminuyendo el impacto ambiental que ocasionaban los motores diésel, logrando también una mejora notoria en el rendimiento mecánico, esto generó que algunos automotores establezcan este sistema amigable con el ambiente y el cuidado de sus motores en Jeeps y camionetas, pero con el transcurso del tiempo se denota una limitada información sobre valores de operación que garanticen un correcto mantenimiento y diagnóstico

de los inyectores piezoeléctricos de riel común ya que son componentes con alta complejidad electrónica en los sistemas de inyección.

La falta de información sobre las pruebas, mediciones, comportamiento mecánico y eléctrico de los inyectores piezoeléctricos Bosch, producen datos limitados acerca de protocolos para el desarrollo de pruebas, además de reducida información técnica y profesional calificado para la realización de calibraciones de inyectores piezoeléctricos Bosch. Es por tal razón que se debe tener en cuenta que el sistema CRDI mejora el desempeño de los motores diésel y reduce las emisiones contaminantes, los resultados de esta investigación permitieron generar información específica y confiable con respecto al rendimiento y mejoras en los inyectores piezoeléctricos Bosch además de un protocolo de pruebas a seguir para la comprobación del estado de los inyectores piezoeléctricos Bosch.

En Ecuador, la afectación ambiental provocada por motores de combustión es de gran impacto, la investigación se desarrolló debido a la reducida información, protocolos de pruebas y falta de estudios realizados acerca del comportamiento de los inyectores piezoeléctricos Bosch del sistema de alimentación CRDI que limitan su trato adecuado ocasionando problemas de contaminación e influencia de las propiedades mecánicas y eléctricas de los mismo.

Es menester que se enfoque en los automotores de la provincia de Cotopaxi para en un futuro expandir la información de la investigación de inyectores Bosch y su beneficio para el medioambiente, creando conciencia en los propietarios de los vehículos., ya que el incremento de vehículos en la provincia está en ascenso sin tener conciencia de los riesgos que un inadecuado uso, diagnóstico o tratamiento puede ocasionar en los transportista.

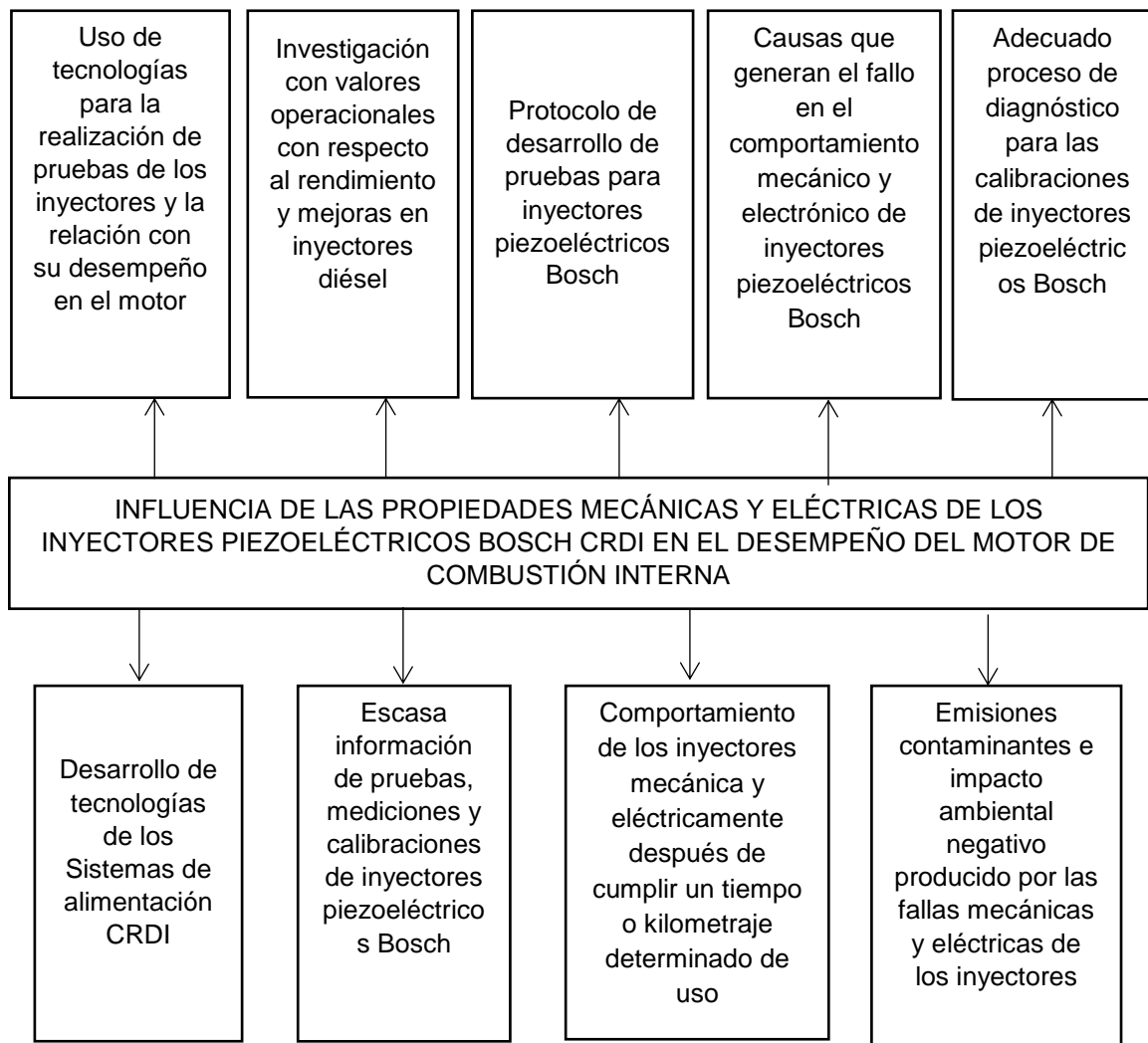


Figura 1 Árbol de problemas

La investigación sobre la influencia de las propiedades mecánicas y electrónicas de los inyectores piezoeléctricos Bosch CRDI de los vehículos Land Rover y Volkswagen, con sus modelos Freelander y Amarok respectivamente se realizó así:

Se recopiló información confiable tomando en cuenta su procedencia y fuentes como libros, tesis, manuales, fichas técnicas, normas y artículos científicos.

Se trabajó con dos inyectores piezoeléctricos Bosch CRDI con serie 0445115042 y 0445116034 nuevos de los vehículos antes mencionados; se realizó las pruebas de funcionamiento para la obtención de valores normales

de operación.

Se propuso el protocolo de pruebas y se analizó: pruebas de caudal de inyección y retorno, pruebas de ángulo de pulverización y pruebas de estanqueidad, además pruebas eléctricas de corriente de activación, voltaje de activación de los inyectores Bosch CRDI 0445115042 y 0445116034 en un banco de pruebas Marca VNP V-3500.

Mediante los resultados obtenidos se generó un registro que permite observar el comportamiento de los inyectores piezoeléctricos Bosch CRDI 0445115042 y 0445116034; posteriormente se elaboró un análisis de los resultados obtenidos en el protocolo de pruebas y se emitió conclusiones del comportamiento mecánico y electrónico de los inyectores.

1.3 Justificación e importancia

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

La generación de información nueva, eficiente, confiable y tecnológica, nos permitió que el limitado material personal y tecnológico actual acerca del protocolo de pruebas para inyectores Bosch piezoeléctricos aumente, ya que la escasa, limitada e insuficiente información, para quienes pretenden estudiar estos sistemas de alimentación automotriz en nuestro país es decadente y preocupante.

Al finalizar la investigación se logró generar nueva información acerca del comportamiento de los inyectores y los valores óptimos de funcionamiento para el uso y disposición de personas afines al ámbito de la mecánica automotriz, misma que permitirá un preciso diagnóstico del sistema de inyección CRDI Bosch específicamente con inyectores piezoeléctricos, este

aporte permitió obtener información veraz con la cual se desarrolló el protocolo de pruebas y metodologías obteniendo así el desempeño mecánico y eléctrico de los inyectores piezoeléctricos Bosch, además que la información sirva como fuente de consulta para posteriores investigaciones.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Investigar el comportamiento mecánico y electrónico de los inyectores piezoeléctricos Bosch del sistema de inyección CRDI (Common rail diesel injection) de los vehículos Volkswagen Amarok 2.0 y Land Rover Freelander II 2.2.

1.4.2 Objetivos específicos

- Recopilar información confiable en bases digitales, artículos científicos y fuentes que respalden el contenido del proyecto.
- Realizar las pruebas mecánicas tales como pruebas de caudal, de pulverización y de estanqueidad, a los inyectores piezoeléctricos Bosch
- Realizar las pruebas eléctricas, de corriente de activación, voltaje de activación de los inyectores piezoeléctricos Bosch.
- Determinar los parámetros de operación ideal de los inyectores piezoeléctricos Bosch.
- Analizar los datos generados en el protocolo de pruebas para la elaboración de un análisis acerca del comportamiento de los inyectores piezoeléctricos.
- Establecer conclusiones y recomendaciones con referencia al desempeño de inyectores Bosch en el sistema CRDI.

1.5 Metas

Desarrollar una investigación enfocada a determinar valores de operación óptimos de funcionamiento de inyectores piezoeléctricos Bosch del sistema CRDI, con la finalidad que esta información sea utilizada para un correcto diagnóstico y mantenimiento de este tipo de inyectores al trabajar en el sistema de riel común.

1.6 Hipótesis

La investigación del desempeño mecánico y electrónico de los inyectores piezoeléctrico Bosch de los vehículos Volkswagen Amarok 2.0 y Land Rover Freelander II 2.2 permite establecer el comportamiento de los parámetros de operación de inyectores CRDI.

1.7 Variables de investigación

1.7.1 Variable Independiente:

Inyectores piezoeléctricos Bosch

1.7.2 Variable Dependiente:

Parámetros mecánicos y eléctricos.

1.8 Operacionalización de variables

Variable Independiente:

Inyectores piezoeléctricos Bosch CRDI.

Tabla 1

Variable Independiente: inyectores piezoeléctrico Bosch

Concepto	Categoría	Indicador	Ítem	Técnicas	Instrumentos
El inyector dispone en su interior de un dispositivo piezoeléctrico, que es el encargado de producir el movimiento mecánico necesario para posibilitar la inyección de combustible. Este mecanismo electromecánico trabaja en forma muy rápida, y al aplicarle corriente al mismo se deforma, contrayéndose primero y luego expandiéndose nuevamente para cerrar el paso de combustible. (Augeri, 2010)	Tecnológica	Presión de operación	<i>bar</i>	Medición	Protocolo de pruebas de laboratorio
	Tecnológica	Número de orificios del inyector	#	Observación	Protocolo de pruebas de laboratorio
	Tecnológica	Tipo de tobera	<i>Corta / larga</i>	Observación	Protocolo de pruebas de laboratorio
	Tecnológica	Largo del Tallo	<i>mm</i>	Medición	Protocolo de pruebas de laboratorio
	Tecnológica	Presión de retorno	<i>bar</i>	Medición	Protocolo de pruebas de laboratorio
	Tecnológica	Tipo de boquilla	<i>diseño</i>	Observación	Protocolo de pruebas de laboratorio
	Tecnológica	Ángulos del cono de pulverización	° n	Medición	Protocolo de pruebas de laboratorio

Variable dependiente:

Parámetros mecánicos y eléctricos.

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 que nos especifican las condiciones en las cuales trabaja, estos comportamientos están gobernados por factores mecánicos y electrónicos, los cuales influyen en el desempeño del sistema CRDI y en consecuencia con el motor de combustión interna.	Tecnológica	Caudal	cm^3/min	Medición	Protocolo de pruebas de laboratorio
	Tecnológica	Ángulo de Pulverización	$^\circ$	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 bibliográfico documental**

Se obtuvo información orientada a la investigación en fuentes primarias y secundarias como: libros, páginas web, artículos científicos repositorios digitales tales como: SpringerLink, ebrary, bibliotechnia, e-libro, scopus, ebrary, etc.

- **Método deductivo**

Debido a que la investigación está orientada en el comportamiento mecánico y electrónico de los inyectores piezoeléctrico Bosch, se analizó las características, parámetros de funcionamiento y pruebas a realizarse, para determinar el protocolo de pruebas y se estableció información confiable acerca del desempeño de los inyectores piezoeléctrico Bosch en el sistema de alimentación CRDI

- **Método inductivo**

Con el método inductivo se promovió una condición específica con cada uno de los resultados obtenidos de manera individual después de realizarse las pruebas en los inyectores piezoeléctricos Bosch, de manera que se estableció un protocolo de pruebas e información confiable de los inyectores.

- **Método analítico**

En la investigación se aplicó este método debido a que se tomó valores obtenidos mediante las pruebas realizadas con la ayuda del Tester a los inyectores piezoeléctrico Bosch, antes y después del tiempo establecido de utilización de los mismos, los cuales se analizaron para establecer el comportamiento mecánico y electrónico de los inyectores.

- **Método de síntesis**

Se aplicó en el desarrollo del documento técnico especializado donde convergen los resultados de las pruebas realizadas por el método experimental bajo condiciones específicas de funcionamiento. El documento resultante, se obtuvo de las pruebas y mediciones realizadas, presentando la información de manera ordenada y sintetizada, de fácil comprensión.

- **Método experimental**

La metodología que se utilizó es la experimental ya que se trabajó mediante mediciones y pruebas en el banco de inyectores CRDI, pruebas que se estandarizaron para poder trabajar con inyectores piezoeléctricos Bosch, lo cual permitió obtener resultados fiables de cada uno de los inyectores y se

estableció una comparación técnica entre los mismos.

- **Método comparativo**

El método comparativo permitió determinar resultados obtenidos mediante la tabulación de datos, la variación que presentan los inyectores en función de las pruebas y el protocolo realizado.

- **Método matemático**

El método se empleó con fórmulas matemáticas para expresar relaciones, variables, parámetros, entidades y relaciones entre variables de las operaciones, de esta manera se estudió el comportamiento de los inyectores.

Tabla 3

Metodología de desarrollo del proyecto

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
Método deductivo	Debido a que la investigación está orientada en el comportamiento mecánico y electrónico de los inyectores piezoeléctrico Bosch, se analizó las características, parámetros de funcionamiento y pruebas a realizarse, para determinar el protocolo de pruebas y se estableció información confiable acerca del desempeño de los inyectores piezoeléctrico Bosch en el sistema de alimentación CRDI.	Inyectores piezoeléctrico Bosch	Autotrónica
Método inductivo	Con el método inductivo se promovió una condición específica con cada uno de los resultados obtenidos de manera individual después de realizarse las pruebas en los inyectores piezoeléctricos Bosch, de manera que se estableció un	Osciloscopio Hantek 1008c Banco de pruebas Tester CRDI V – 3500 ESPE	Autotrónica

	protocolo de pruebas e información confiable de los inyectores.		
Método analítico	En la investigación se aplicó este método debido a que se tomó valores obtenidos mediante las pruebas realizadas con la ayuda del Tester a los inyectores piezoeléctrico Bosch, antes y después del tiempo establecido de utilización de los mismos, los cuales se analizaron para establecer el comportamiento mecánico y electrónico de los inyectores.	Computador Personal Osciloscopio Hantek 1008c Banco de pruebas Tester CRDI V - 3500 Interface Hantek 1008 ESPE	Autotrónica
Método matemático	El método se empleó con fórmulas matemáticas para expresar relaciones, variables, parámetros, entidades y relaciones entre variables de las operaciones, de esta manera se estudió el comportamiento de los inyectores.	Computador Personal	Autotrónica
Método de síntesis	Se aplicó en el desarrollo del documento técnico especializado donde convergen los resultados de las pruebas realizadas por el método experimental bajo condiciones específicas de funcionamiento. El documento resultante, se obtuvo de las pruebas y mediciones realizadas, presentando la información de manera ordenada y sintetizada, de fácil comprensión.	Computador Personal	Biblioteca
Método experimental	La metodología que se utilizó es la experimental ya que se trabajó	Osciloscopio Hantek 1008c	Autotrónica

	mediante mediciones y pruebas en el banco de inyectores CRDI, pruebas que se estandarizaron para trabajar con inyectores piezoeléctricos Bosch, lo cual permitió obtener resultados fiables de cada uno de los inyectores y se estableció una comparación técnica entre los mismos.	Interface Hantek 1008 Banco de pruebas Tester CRDI V – 3500 ESPE	
Método comparativo	El método comparativo permitió determinar resultados obtenidos mediante la tabulación de datos, la variación que presentan los inyectores en función de las pruebas y el protocolo realizado.	Computador Personal	Biblioteca
Método de análisis de contenido	Se obtuvo información orientada a la investigación en fuentes primarias y secundarias como: libros, páginas web, artículos científicos repositorios digitales tales como: SpringerLink, ebrary, bibliotechnia, e-libro, scopus, ebrary, etc.	Computador personal	Biblioteca

CAPÍTULO II

2. SISTEMA DE INYECCIÓN CRDI

2.1 Funcionamiento:

Según lo mencionado por [Kía Motors, 2015]: “El sistema de inyección de 'Common rail' permite el control individual del avance de la distribución y del flujo, permitiendo el control perfecto de la combustión cilindro por cilindro. Además, la presión de inyección se puede ajustar en un amplio rango de valores de acuerdo a las condiciones de funcionamiento del motor:

- Cuando está en ralentí y en carga baja, una presión baja de inyección (aproximadamente 200 bar) hace posible que se obtenga una menor tasa de inyección y un ajuste muy preciso de la cantidad de combustible inyectado.
- A plena carga, las presiones altas de inyección (de aproximadamente 1400 bar) aseguran atomización muy fina del combustible.” (p.3)

[Bosch, s.f] menciona que: “En los sistemas de inyección diésel convencionales, es necesario que la presión del combustible se genere de forma individual en cada inyección. Sin embargo, en el sistema Common Rail, la generación y la inyección de presión se realizan por separado, lo que significa que el combustible está siempre disponible y en la presión necesaria para su inyección. La generación de presión se lleva a cabo en la bomba de alta presión. La bomba comprime el combustible y lo envía hasta el orificio del raíl mediante un conducto de alta presión, que actúa como acumulador de alta presión común para todos los inyectores (a él se debe el nombre de "Common rail", raíl común). Desde ahí, el combustible se distribuye en cada inyector que, a su vez, lo inyecta en la cámara de combustión del cilindro.”

[Bosch, 2005] especifica que: El sistema Common Rail ofrece una elevada flexibilidad en lo relativo a la adaptación de la inyección al motor. Esto se consigue mediante:

- Elevada presión de inyección de hasta aproximadamente 1600 bar, en el futuro de hasta 1800 bar.

- Presión de inyección adaptada al estado de servicio (200...1800 bares).
- Posibilidad de efectuar varias inyecciones previas y posteriores (pueden efectuarse incluso post inyecciones muy retardadas). (p.5)

2.2 Ventajas del sistema Common Rail

(Barros & Pulla, 2016) Cita que: “Entre las ventajas del sistema se tiene:

- La elevada presión de inyección, tiene una mejor atomización del combustible.
- La presión de inyección puede variarse dentro de un rango muy amplio.
- El momento de inyección y la cantidad de combustible inyectado, puede variarse libremente.
- Posibilidad de producir múltiples inyecciones dentro del cilindro para mejorar la combustión.
- Precisión en el avance y duración de la inyección.
- Mayor rendimiento del motor
- Menor contaminación ambiental.” (p.3)

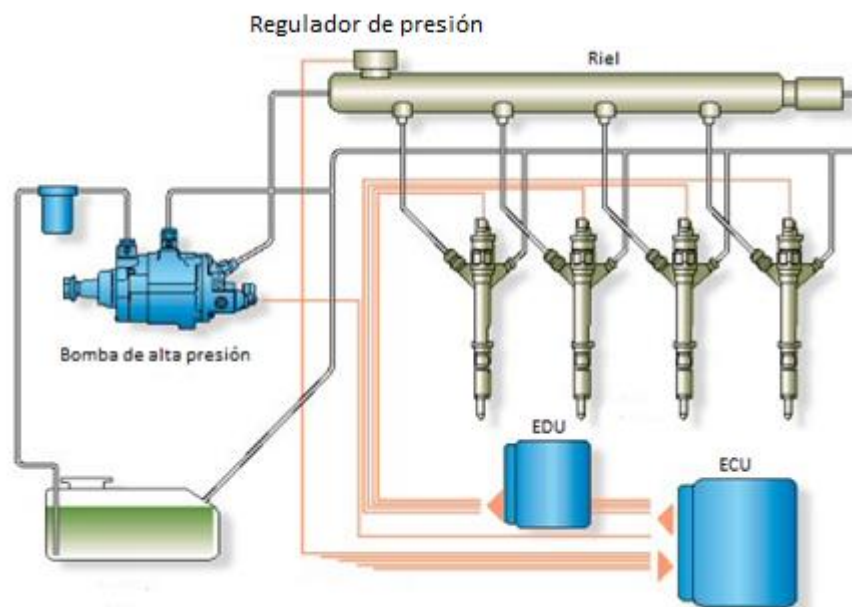


Figura 2 Esquema básico del sistema de inyección CRDI

Fuente: (Bosch, 2015)

(Castro, 2002) afirma que: “En el riel se acumula la presión controlada por un regulador de presión, y cuando la ECU manda una orden eléctrica a la electro válvula del inyector, este se abre el tiempo en milisegundos que la ECU procesa y elabora, salta el chorro de combustible hacia la cámara de combustión del motor.

Cuando se cierra el inyector, la cantidad de combustible inyectado cesa, pero en el riel se mantiene siempre la misma presión, con mínimas oscilaciones que no es preciso tener en cuenta porque se hallan controladas siempre por el regulador de presión que forma parte del riel.”(p.77)

2.3 Sistema CRDI Bosch

[BOSCH, 2015] menciona que: “El moderno sistema Common Rail Bosch presenta la más nueva tecnología empleada en sistemas de inyección electrónica.

En este sistema, la generación de presión y la inyección de combustible están separadas, lo que significa que la bomba genera la alta presión que está disponible para todos los inyectores a través de una galería común, que puede ser controlada independiente de la revolución del motor. La presión del combustible, el inicio y fin de inyección son precisamente calculados por la unidad de comando a partir de informaciones obtenidas de los diversos sensores instalados en el motor, lo que proporciona excelente desempeño, bajo ruido y la mínima emisión de gases contaminantes.

Este sistema totalmente flexible puede ser instalado en vehículos livianos, camiones y autobuses.

Representa un enorme potencial para las futuras aplicaciones en motores diésel.” (p.19)

2.4 Estructura del sistema Bosch

El sistema Bosch está estructurado por:

- Sistema de baja presión que contempla los componentes de alimentación de combustible.
- Sistema de alta presión que está conformado por la bomba de alta presión, riel común, inyectores y las tuberías de combustible a alta presión.

- Sistema de Regulación Electrónica diésel (EDC), con los sensores, unidad de control y elementos de regulación del sistema.

2.5 Sistema de baja presión

2.5.1 Bomba de combustible del tanque

[Bosch, 2011] cita que: “La bomba eléctrica de combustible puede estar adentro del tanque de combustible. Trabaja como una bomba de succión y alimenta la bomba de engranaje integrada a la bomba de alta presión.”(p.4)

2.5.2 Tanque de combustible

[Bosch, 2011] cita que: “Con el accionamiento de la ignición, la bomba de combustible del tanque es accionada. La bomba funciona durante aproximadamente 3 segundos.

Después que el motor empieza a funcionar, la bomba de combustible empieza a fornecer combustible para el circuito de baja-presión continuamente. La bomba de combustible succiona combustible del tanque para el filtro.

En la tapa de la bomba el combustible es dividido. Una parte del combustible es enviado a la bomba de engranaje y la otra parte sirve para dar movimiento el combustible hacia la bomba. Con este movimiento, el combustible es succionado del tanque de combustible y es enviado para el interior de la bomba.” (p.4)

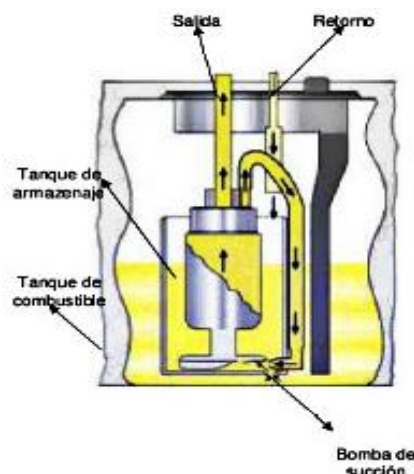


Figura 3 Tanque de combustible

Fuente: (Bosch, 2011)

2.5.3 Filtro de combustible

[FRAM, 2016] menciona que: “La función del filtro de combustible diésel es la de proteger el sistema de inyección en los vehículos diésel. Los filtros diésel eliminan las impurezas presentes en el combustible que pueden proceder de diferentes fuentes.

El manual [Bosch, 2011] cita que: El cabezal del filtro de combustible es equipado con un calentador eléctrico o mecánico. Dicho calentador es accionado a través de un relé localizado arriba del filtro y se encarga de calentar el combustible a través del control del módulo electrónico con eso se evita la formación de cristales parafínicos en bajas temperaturas ambientes.” (p.6)



Figura 4 Filtro de combustible

Fuente: (Bosch, 2011)

2.5.4 Bomba de alimentación

[Bosch, 2011] especifica que: “El sistema Bosch cuenta con una bomba de tipo engranajes con un funcionamiento puramente mecánico. La bomba de alimentación mantiene la bomba de alta presión siempre alimentada en cualquier condición. La bomba de engranaje está directamente conectada a la bomba de alta presión o en el bloque del motor. Ambas bombas son accionadas por el eje.

La bomba de alimentación está formada por dos engranajes dentro de una carcasa. Uno de los engranajes es accionado por el eje del motor. Cuando giran los engranajes el combustible es succionado entre los lóbulos y a través

de las cámaras es conducido para el lado de generación de presión. Entonces, penetra en la carcasa de la bomba de alta presión. La construcción de los lóbulos de los engranajes evita el retorno de combustible.” (p.7-8)

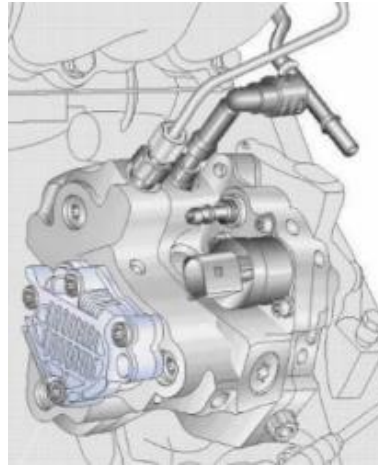


Figura 5 Bomba de alimentación o transferencia

Fuente: (Bosch, 2011)



Figura 6 Bomba de alimentación o transferencia

Fuente: (Bosch, 2011)

2.6 Sistema de alta presión.

2.6.1 Bomba de alta presión

(Gómez, 2012) menciona que: “El combustible ingresa por el conducto sombreado en azul proveniente de la bomba de transferencia y se ubica en el conducto de baja presión, una vez que el eje de la bomba está en movimiento el eje impulsor 5 el cual esta agarrado a la leva excéntrica 6 permite que en

cada una de las cámaras se genere un efecto de compresión de combustible, para esto hay que vencer la tensión del resorte 3 es así como cuando el émbolo de bombeo 8 cumple su carrera descendente succiona al interior de la cámara 7 el combustible de baja presión permitiendo la apertura de la válvula de entrada 9, una vez que la excéntrica vuelve a permitir el ascenso del émbolo se comprime el combustible hasta el nivel de vencer la válvula de salida 2 y llevando el combustible presurizado hacia la rampa de inyección. Es así que gracias a la alta presión permanente del sistema se optimiza la calidad de la inyección para todos los regímenes.” (p.7)

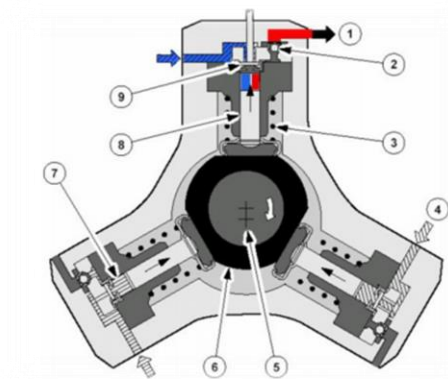


Figura 7 Funcionamiento de la bomba de alta presión

Fuente: (Gómez, 2012)

2.6.2 Riel

(Gómez, 2012) Menciona que: “El riel o también conocido como tubo acumulador de presión es construido de acero forjado y realiza dos funciones fundamentales:

- Acumular el combustible para la inyección sobre todos los cilindros a alta presión.
- Reducir las oscilaciones de presión generadas a través de la bomba de alta presión. (p.8)

[Bosch, 2011] cita que: El combustible impulsado por la bomba de alta presión llega al riel a través de una tubería de alta presión y luego es enviado

a los diferentes inyectores a través de las tuberías de inyección, las cuales deben tener la misma longitud.” (p.18)



Figura 8 Riel de inyectores

Fuente: (BruixotV., 2011)

2.6.3 Válvula reguladora de presión.

[Bosch, 2011] cita que: “La válvula reguladora de presión puede ser un componente que tiene funcionamiento puramente mecánico o electrónico. Se encuentra ensamblada en el acumulador de presión por una rosca.” (p.19)

(Gómez, 2012) Menciona que: “Cuando la presión de combustible excede un valor máximo establecido, la válvula reguladora de presión se abre y el combustible retorna del riel de combustible al depósito, con lo cual la presión baja.” (p.9)

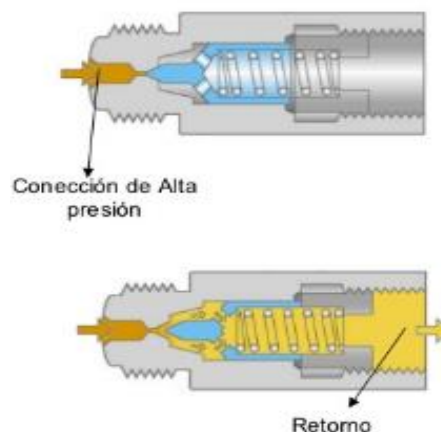


Figura 9 Válvula reguladora de presión

Fuente: (Bosch, 2011)

2.7 Inyectores

(Gómez, 2012) Menciona que: “El inyector utilizado en los sistemas Common Rail se activa de forma eléctrica a diferencia de los utilizados en sistemas que utilizan bomba rotativa que inyectan de forma mecánica. Con esto se consigue mayor precisión al momento de inyectar el combustible y se simplifica el sistema de inyección. Por ello debe:

- Permitir inyecciones múltiples.
- Permitir inyectar cantidades cada vez más pequeñas.
- Inyectar a presiones elevadas.
- Distribuir de manera homogénea la cantidad inyectada.

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

2.8 Inyectores con tecnología Bosch

Existen dos tipos de inyectores que han sido desarrollados por la tecnología de Bosch los cuales son: de tipo electromagnético y los de tipo piezoeléctrico.

2.9 Inyectores electromagnéticos

(Gómez, 2012) Especifica que: “Las presiones de inyección máxima están en el orden de 2000 bar, los esfuerzos que hay que vencer para levantar la aguja del inyector son muy importantes. Por ello es imposible pilotar directamente la aguja del inyector, con ayuda de un actuador electromagnético, a menos que se empleen corrientes muy importantes cuyos tiempos de establecimiento serían incompatibles con los tiempos de reacción requeridos para inyecciones múltiples. Por otra parte, la utilización de corrientes fuertes requiere una electrónica de potencia voluminosa lo que genera un calentamiento del actuador y del ECM.” (p.24)

2.10 Inyectores piezoeléctricos

El inyector piezoeléctrico permite intervalos de inyección cortos, que inyectan la cantidad de combustible en los cilindros para una combustión económica

dependiendo de la situación de manejo. Hasta 10 inyecciones individuales son posibles por golpe. Además, el proceso de inyección se puede hacer muy flexible. Las inyecciones múltiples pueden reducir el consumo de combustible, las emisiones de CO₂ y las emisiones de contaminantes y ruido del motor.

Está controlado por un actuador piezo que consta de varios cientos de capas de cerámica piezoeléctrica. La cerámica se expande unas pocas milésimas de milímetro tan pronto como se aplica un voltaje, lo que establece la aguja de la boquilla en movimiento. Este acoplamiento del actuador y la aguja de la boquilla permiten tiempos de reacción muy cortos y cantidades muy pequeñas de preinyección.

2.10.1 Funcionamiento

[CISE ELECTRÓNICA, 2011] cita que: “En estos inyectores, el solenoide que abría y cerraba la válvula para permitir el drenaje al retorno del diésel sobre el embolo, es remplazado por un elemento Piezoeléctrico.

El PCM dispone del mecanismo en el interior del inyector que realiza las diferencias de presiones y el movimiento mecánico posibilitando así la salida de combustible al cilindro.

Para este fin el PCM envía sobre el piezoeléctrico una tensión inicial de unos 70 V por un tiempo de 0,2 ms. Ya en el interior, los cristales logran elevar este voltaje a unos 140 V, esto toma otros 0,2 ms y se logra con una corriente de aproximadamente 7 Amperios. A este proceso se lo llama tensión de carga y corriente de carga.

El aumento de tensión se logra por el contacto entre los mismos cristales los cuales logran multiplicar el efecto de voltaje.

Para terminar el proceso de inyección es necesario colocar otro impulso de tensión final llamado tiempo de descarga esto toma alrededor de otros 0,2 ms.”

(p.2)

2.10.2 Partes del inyector piezoeléctrico

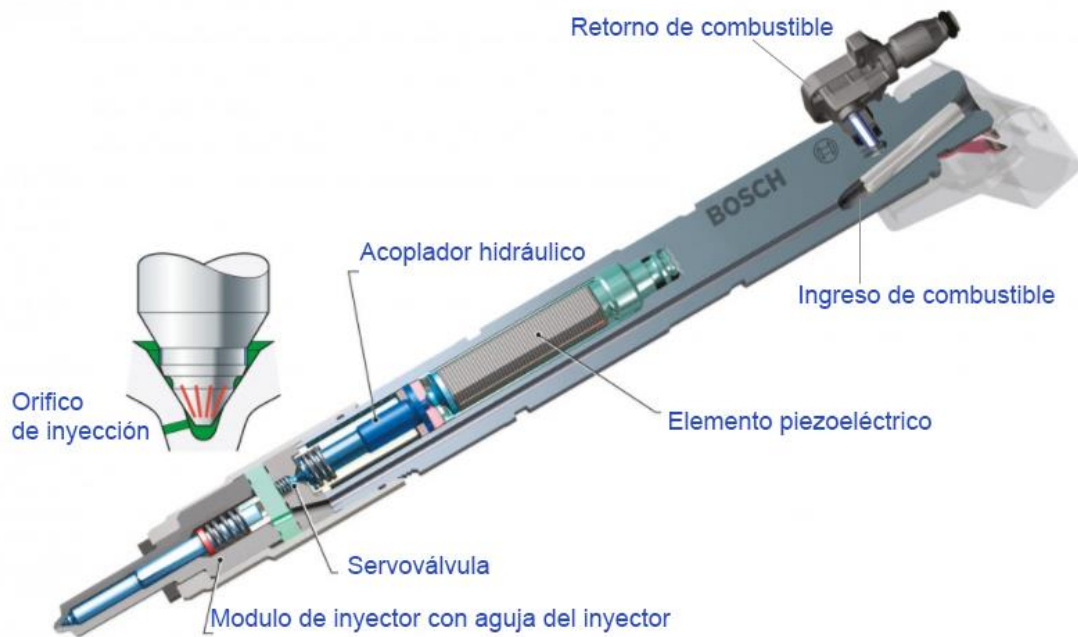


Figura 10 Partes del inyector piezoeléctrico

Fuente: (Portal, s.f.)

2.10.3 Características de los Inyectores piezoeléctricos Bosch

(Wiesinger, 2015) Define los siguientes datos de importancia:

- Las cantidades de inyección de un automóvil están entre 1 mm^3 de preinyección y 50 mm^3 a plena carga. 1 mm^3 es aproximadamente el volumen de la mitad de una cabeza de alfiler. Para un camión, la carga completa es de aproximadamente 350 mm^3 . Esto corresponde al volumen de 12 grandes gotas de lluvia.
- En el minuto, se abre aproximadamente 5000 veces (con pre y post inyección)
- El juego de la aguja de la boquilla es de solo 0.002 mm . Un cabello humano es 30 veces más grueso.
- El combustible comprimido se dispersa equivalente a la velocidad de un avión supersónico.
- Los inyectores piezoeléctricos de Bosch están disponibles para niveles de presión entre 2.000 y 2.700 bar

2.10.4 Ventajas del uso de Inyectores piezoeléctricos Bosch

(Morán & Passo, 2016) mencionan que: “Los inyectores piezoeléctricos son cuatro veces superiores a la respuesta de activación en comparación con los actuadores gestionados por electroválvulas, la tecnología piezoeléctrica supone un 75 % de menores masas movidas en la aguja del inyector, son posibles varias inyecciones por ciclo de trabajo y las cantidades a inyectar exactamente dosificables.” (p.41)

[BOSCH, 2005] Afirma las siguientes ventajas del inyector piezoeléctrico en el sistema de riel común:

- Inyección múltiple con comienzo flexible de la inyección y distancias entre cada una de las inyecciones,
- Reducido tamaño y menor peso del inyector (270 g en comparación con 490 g),
- Ventajas en el consumo de combustible (-3%),
- Caudales de inyección muy pequeños para la inyección previa,
- Menor nivel de ruido (-3 dB [A]),
- Incremento de la potencia del motor (+7%),
- Menor emisiones de gases de escape (-20%).(p.37)

2.10.5 Comparación inyectores (Inductivo - Piezoeléctrico)

Según el análisis de (S. & A., 2018) afirma que: “Las principales diferencias en el sistema hidráulico y el motor, el rendimiento entre el solenoide y los inyectores piezoeléctricos de acción indirecta se puede atribuir principalmente a la presencia de diferentes soluciones de diseño en el circuito interno de los inyectores (cámara de control, el válvula piloto de presión equilibrada y cuerpo del inyector) en lugar del sistema de inyección. Si el solenoide y los inyectores piezoeléctricos de acción indirecta compartieran el mismo diseño hidráulico interno, las diferencias en su rendimiento serían mínimas. Por lo tanto, desde la fabricación el costo de los inyectores de solenoide es aún menor que el de los piezoeléctricos inyectores, la tecnología de solenoide debe ser la opción preferida cuando se consideran inyectores de acción indirecta.” (p. 1342)

2.10.6 Principio piezoeléctrico

Los elementos piezoeléctricos funcionan según el siguiente principio: si los piezocristales están presurizados, liberan una tensión eléctrica. Por el contrario, los cristales se expanden cuando se ponen bajo tensión.

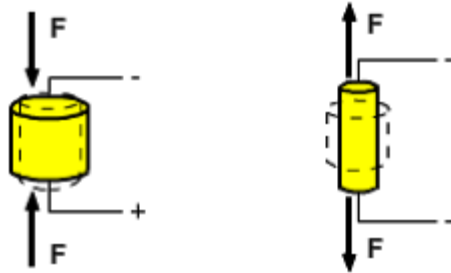


Figura 11 Principio piezoeléctrico

Fuente: (Archilla, 2015)

(CISE ELECTRÓNICA, 2011) Afirma que: “El elemento piezoeléctrico está formado por unas placas metálicas separadas por un dieléctrico de cuarzo, semejante a la construcción de un condensador de placas planas.” (p.4)

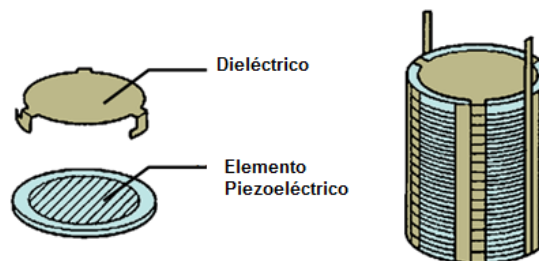


Figura 12 Elemento piezoeléctrico

Fuente: (Gomez, 2012)

Se pueden ver las placas metálicas en color dorado, y el cuarzo que actúa como aislante en color gris.

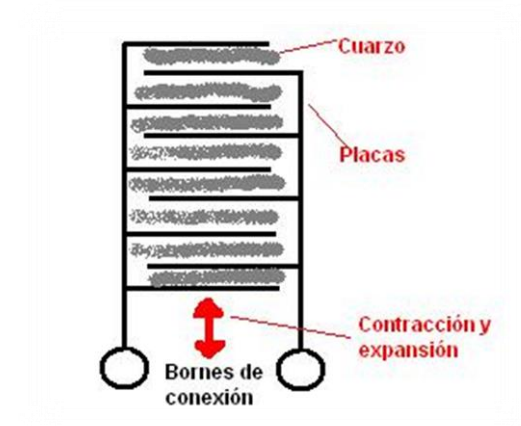


Figura 13 Elemento piezoeléctrico

Fuente: (CISE ELECTRÓNICA, 2011)

2.10.7 Principio piezoeléctrico inverso

(Archilla, 2015) Especifica 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 del cristal.”

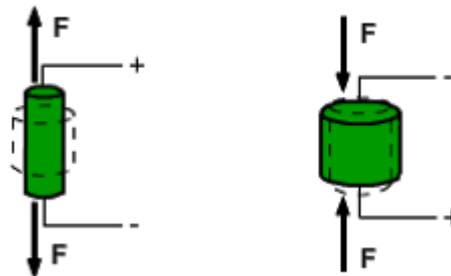


Figura 14 Principio piezoeléctrico inverso

Fuente: (Archilla, 2015)

2.11 Parámetros de inyección

2.11.1 Inicio de la inyección

[Bosch, 2015] Afirma que: “La activación del inyector piezoeléctrico se efectúa mediante la unidad de control del motor, cuya etapa final ha sido

diseñada especialmente para estos inyectores. Se prescribe una tensión de activación de referencia en función de la presión del conducto común del momento de servicio ajustado. La aplicación de corriente se efectúa en forma de impulsos (figura 17) hasta alcanzarse una divergencia mínima entre la tensión de referencia y la tensión de regulación. El incremento de la tensión se transforma proporcionalmente en la carrera del actor piezoeléctrico.

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

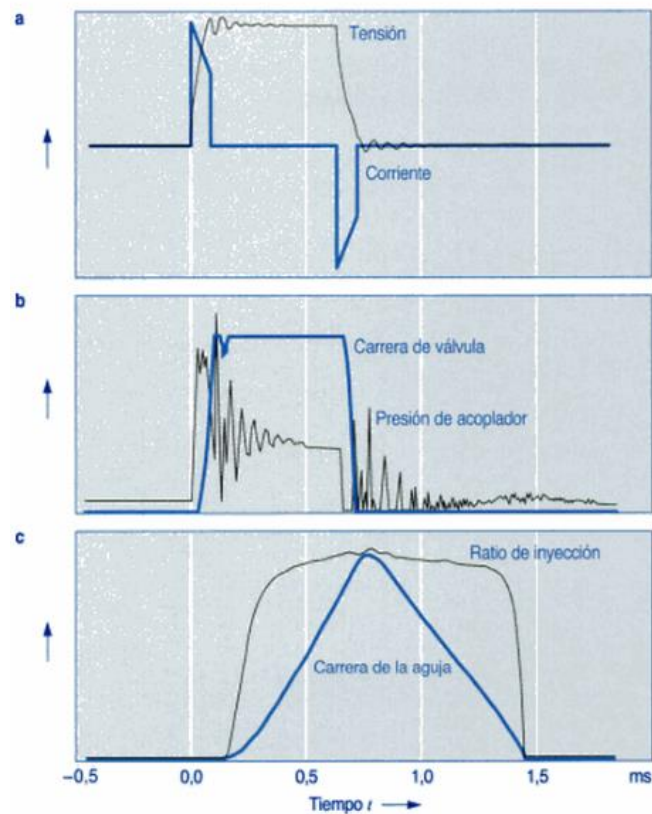


Figura 15 Secuencia de activación de una inyección del inyector piezoeléctrico

Fuente: (Bosch, 2015)

2.11.2 Curva de la inyección

(Castillejo, 2014) Menciona que: “En estos sistemas una bomba genera la presión necesaria en el combustible independientemente del ciclo de inyección. Esta presión se mantiene prácticamente constante durante el proceso de inyección. En un sistema con una determinada presión, la cantidad de combustible inyectado es proporcional al tiempo que el inyector permanece abierto, y esto es independiente de la velocidad del motor o de la bomba. Esto tiene como resultado una curva de inyección casi cuadrada con inyecciones de corta duración y casi constantes, con altas velocidades de pulverización a plena carga que permiten incrementar la potencia específica del motor.” (p 20)

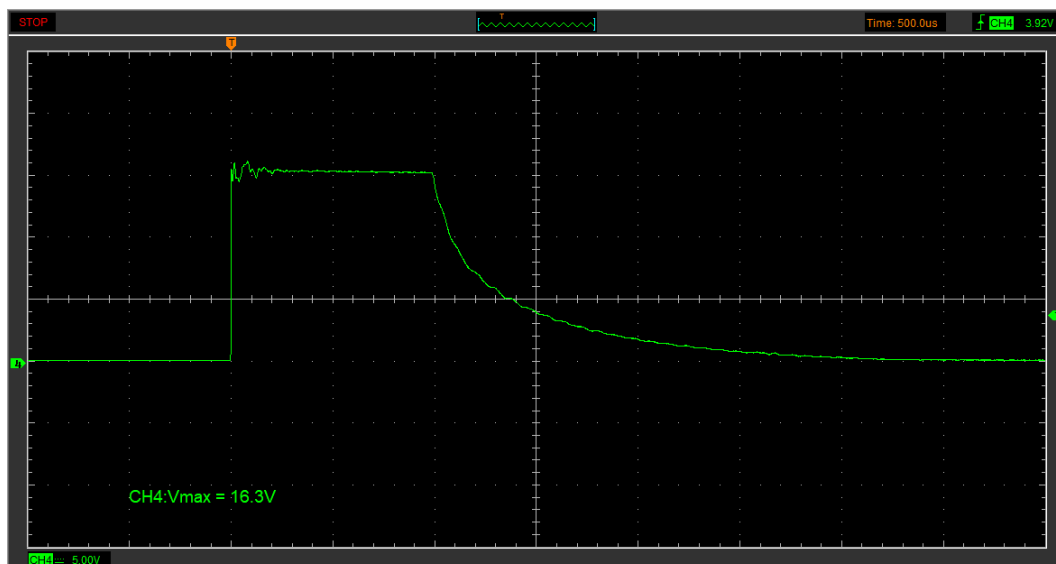


Figura 16 Curvas de inyección

2.11.3 Inyector cerrado – inicio de inyección

Los inyectores piezoeléctricos normalmente funcionan a voltajes de hasta 200 voltios. Al no recibir excitación, el actuador piezoeléctrico se encuentra en estado de reposo y el inyector cerrado. Para accionar el inyector, se le aplica un impulso de cien voltios y un pequeño brazo de palanca amplifica su movimiento. Además, al igual que con los inyectores electromecánicos, los discos piezoeléctricos no dirigen directamente los movimientos de la aguja. También activan una pequeña válvula.

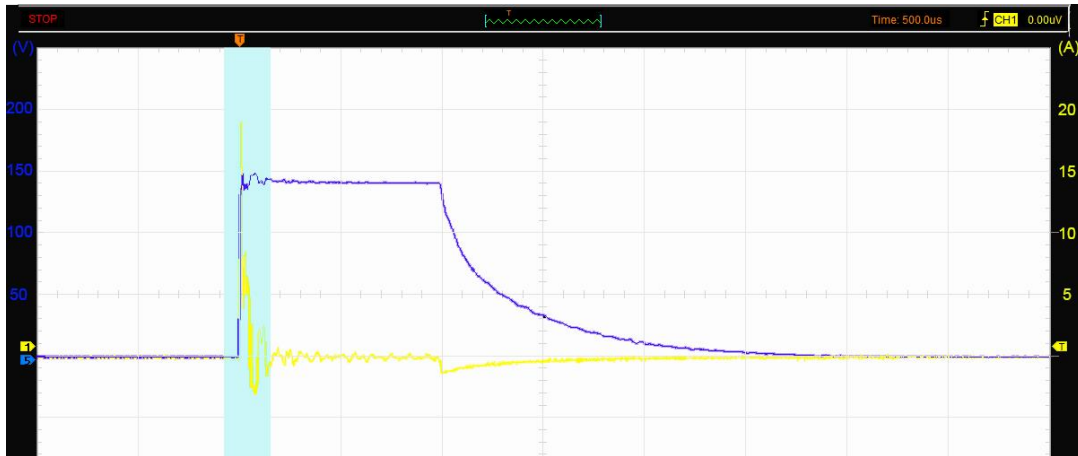


Figura 17 Curvas de voltaje y corriente cuando un inyector piezoeléctrico inicia la inyección

2.11.4 Inyector abierto – inyección

Una vez abierto, deja de ser excitado. El actuador funciona como un condensador, reteniendo la carga eléctrica, permaneciendo dilatado y el inyector abierto. “Por esta razón, nunca desconecte el enchufe del inyector con el motor en marcha. Si el inyector está en estado abierto podría bloquear el motor hidráulicamente con el combustible diésel. (PicoTechnology)

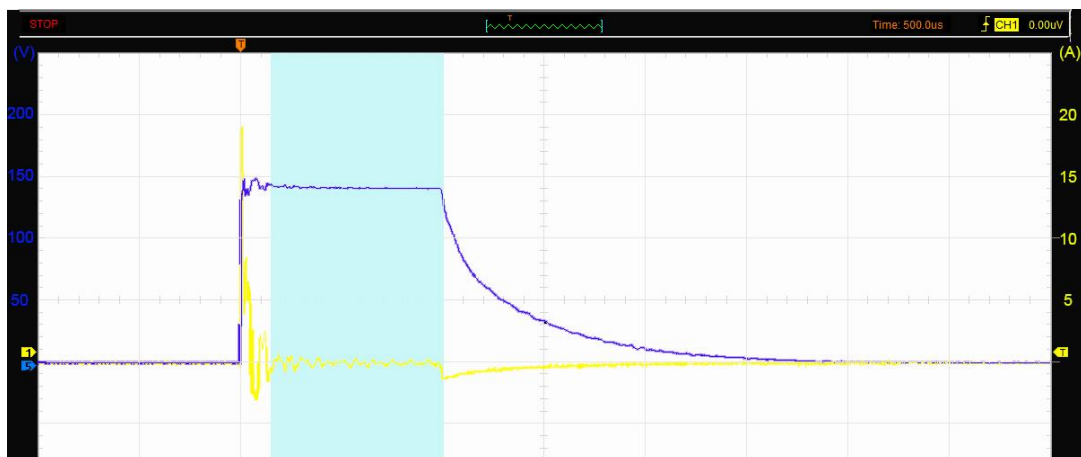


Figura 18 Curvas de voltaje y corriente cuando un inyector piezoeléctrico está abierto

2.11.5 Inyector cerrado – final de la inyección

Para cerrar el inyector la unidad actúa como un consumidor, descargando la tensión acumulada en el actuador.

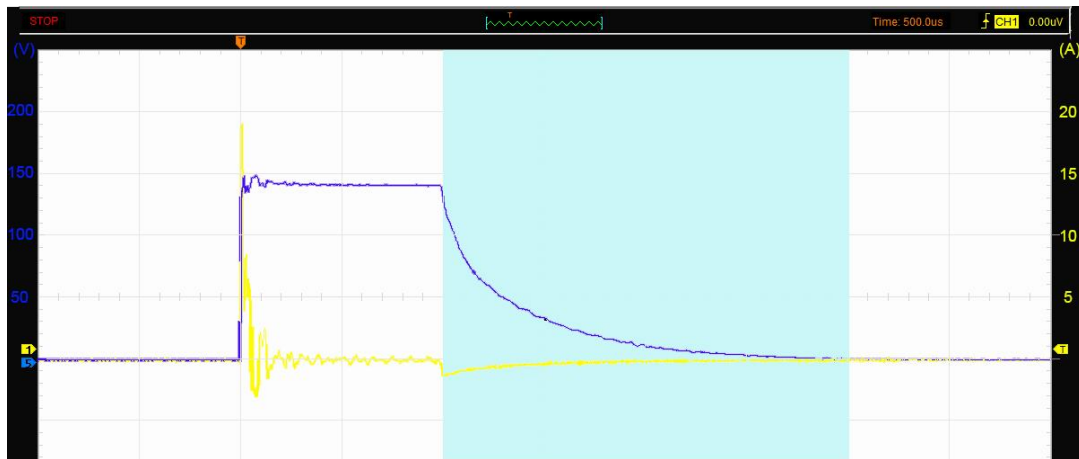


Figura 19 Curvas de voltaje y corriente cuando un inyector piezoeléctrico finaliza la inyección

2.11.6 Patrones de inyección

(Castillejo, 2014) Añade que: Dependiendo de la aplicación para la que esté destinado el motor, se requieren de ciertas funciones mostradas en la (Figura 22):

- Pre-inyección (1): reduce el ruido de la combustión y las emisiones de NO_x, especialmente en los motores de inyección directa.
- Gradiente positivo de inyección durante la inyección principal (3): reduce emisiones de NO_x en motores sin válvula EGR.
- Gradiente de presión en dos etapas (4): durante la inyección principal reduce las emisiones de NO_x y partículas en motores sin EGR.
- Alta presión constante durante la inyección principal (3,7): reduce las emisiones de partículas durante la operación en motores con EGR.
- Inyección secundaria avanzada (8): reduce las emisiones de partículas.
- Inyección secundaria avanzada (9).

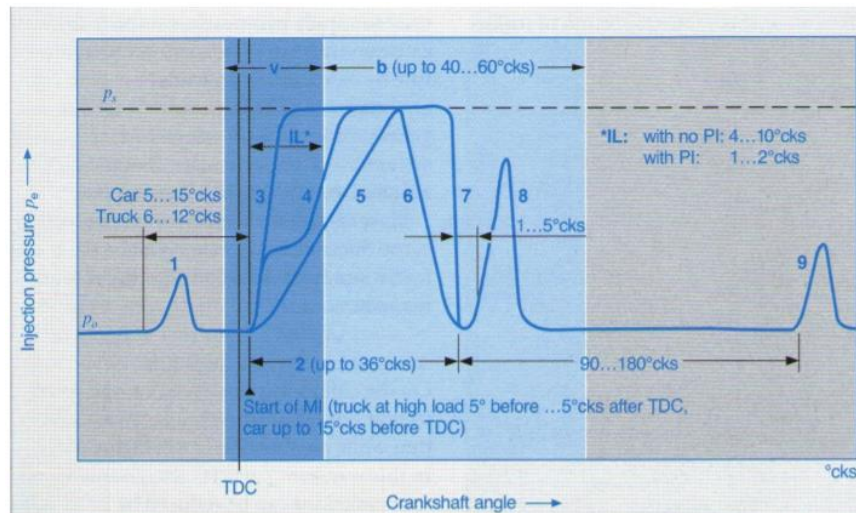


Figura 20 Patrón de inyección sistema Common Rail

Fuente: (Castillejo, 2014)

2.12 Geometría de los orificios de la tobera

(Salvador, Plazas, Gimeno, & Carreres, 2014) mencionan que: “La figura muestra que estos orificios son convergentes, hecho que es importante para la hidráulica ya que significa que los orificios no son propensos a cavitarse.”(p.9)

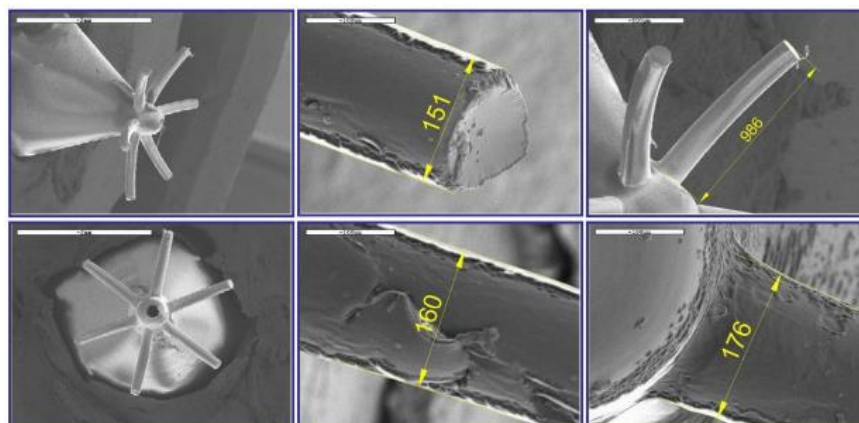


Figura 21 Caracterización geométrica de los orificios de la tobera

Fuente: (Salvador, Plazas, Gimeno, & Carreres, 2014)

El ángulo α del cono que se genera al producirse la inyección como se ve en la figura debe ser adecuado a la forma de la cámara de combustión solo admite reducidos grados de error.

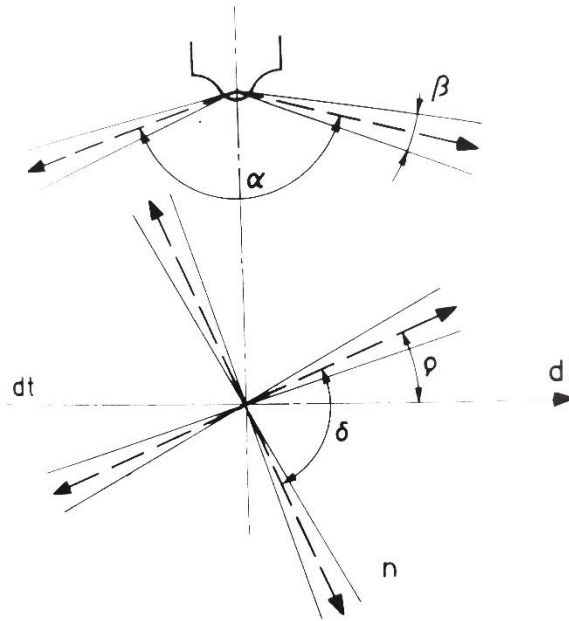


Figura 22 Posición de los orificios de inyección

Fuente: (Imperial, 1991)

(Imperial, 1991) Asegura que: “el ángulo β formado en una atomización de inyección es casi exclusivamente gobernado por la presión del aire comburente. Cuanto mayor es la presión mayor es el ángulo β de dispersión del chorro. El número de orificios y su reparto horizontal definido por los ángulos δ y ρ (significado dl parte delantera y dt parte trasera del motor) es también fundamental. Además el número n de orificios junto con el diámetro d de los mismos nos da la sección de salida y para el caudal y tiempo de cada embolada, eso nos fija una velocidad de salida.” (p.56).

2.12.1 Ángulo de pulverización

(Calleja, 2015) Afirma que: “El inyector está conformado de orificios múltiples, formando un ángulo entre si llamado ángulo de los orificios pulverizadores que pueden ser de hasta 180° . En el caso de orificios múltiples, se pueden tener hasta 12 dispuestos generalmente de forma simétrica”. (p.67) Este tipo de inyectores son empleados en motores de inyección directa y la presión de apertura de los mismos oscila entre 150 y 250 bar. En la figura se muestra los ángulos montados sobre la boquilla de inyección repartidos de forma simétrica.

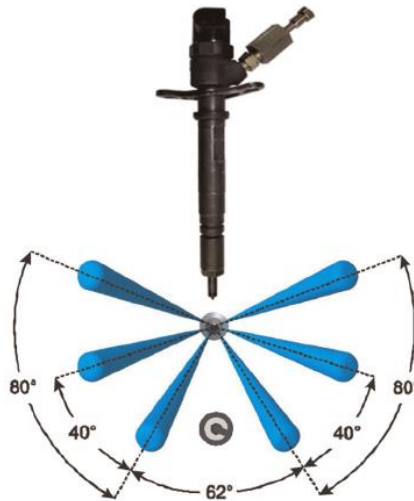


Figura 23 Patrón de rociado del inyector common rail.

Fuente: https://www.researchgate.net/figure/258150468_fig5_Figure-10-Spray-pattern-of-the-diesel-common-rail-injector

2.12.2 Condición de pulverización

(Agarwal et al., 2014) mediante un análisis experimental establece que: “Como se ilustra en esta figura, la penetración en un momento determinado aumenta con el incremento de presión de inyección de combustible. El proceso de evolución de pulverización es principalmente influenciada por el diferencial de presión entre la presión de inyección de combustible y la presión ambiente en la cámara de pulverización.”(p.216)

Como se puede observar en la figura la amplitud de la pulverización se incrementa directamente proporcional al tiempo y presión de inyección.

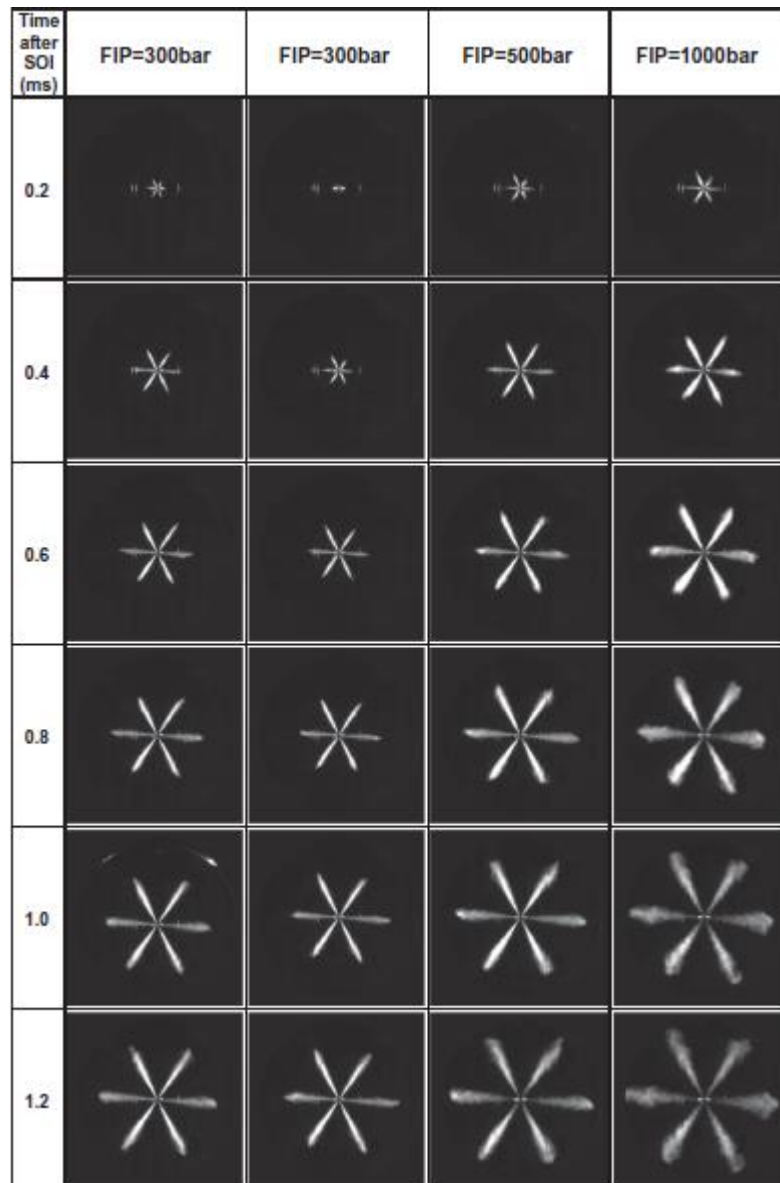


Figura 24 Amplitud de pulverización

Fuente: (Agarwal et al., 2014)

2.13 Verificaciones del inyector

2.13.1 Verificación y control de inyecciones

El sistema utiliza múltiples inyecciones piloto, pequeñas dosis de combustible antes de la inyección principal en la combustión de cada cilindro, que ayudan a suavizar el carácter de combustión aguda del motor diésel a la gasolina como suavidad. Sin embargo, el efecto final no sólo es una reducción del ruido de la combustión, sino también una reducción de las emisiones de óxido de nitrógeno (NOx).

La inyección posterior es una dosis similarmente pequeña de combustible inyectada después de la inyección principal. El potencial de la tecnología Common Rail para reducir las emisiones de partículas es profundo en esta área. La pequeña inyección posterior se inserta con un momento preciso en el momento que es ideal para una descarga de partículas más baja.

2.13.2 Verificación de la pulverización y dirección del chorro

La inyección con inyectores piezoeléctricos ayuda en la pulverización fina de diésel que reduce indirectamente el consumo de combustible. En motores diésel, se inyecta combustible en el cilindro del motor cerca del final de la carrera de compresión. Durante una fase conocida como retraso de encendido, el atomizador de combustible se atomiza en pequeñas gotitas, se vaporiza y se mezcla con el aire. A medida que el pistón continúa acercándose al punto muerto superior, la temperatura de la mezcla alcanza la temperatura de ignición del combustible, provocando la ignición de alguna cantidad premezclada de combustible y aire. El resto del combustible que no había participado en la combustión premezclada se consume en la fase de combustión controlada por velocidad.

La geometría del rociador afecta directamente la calidad de la combustión a través de la utilización del aire. Por ejemplo, un ángulo de cono de pulverización más grande puede colocar el combustible en la parte superior del pistón y fuera de la cámara de combustión en los motores diésel de cámara abierta DI. Esta condición conduciría a humo excesivo (combustión incompleta) por privar al combustible de acceso al aire disponible en la cámara de combustión. El gráfico muestra cómo se produce la pulverización del inyector dentro de la cámara de combustión.

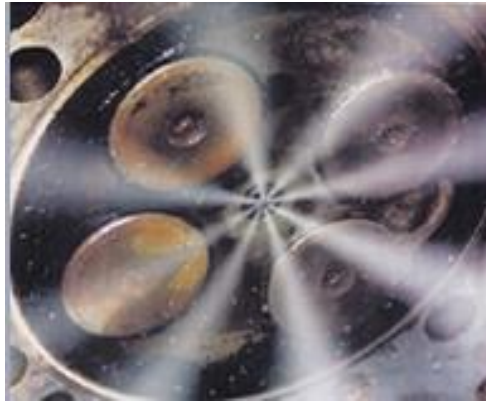


Figura 25 Patrón de pulverización

Fuente: (AngelFire, s.f.)

La siguiente figura muestra diferentes tipos de patrón de inyección los cuales tres de ellos se consideran aceptables para una correcta combustión del diésel, mientras que el patrón no aceptable dará como resultado una combustión incompleta.

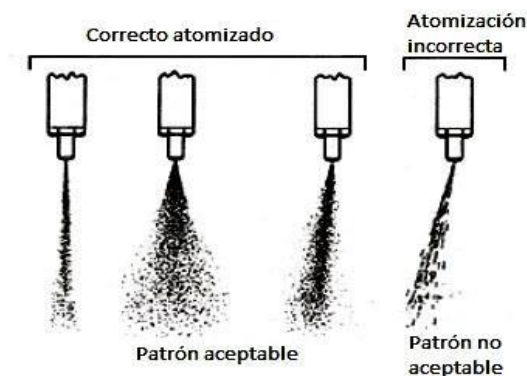


Figura 26 Patrones de pulverización

Fuente: (Shashank, 2015)

Una de las pruebas importantes a la que debe ser sometido el inyector es sin lugar a duda al control del chorro, acción que es posible verificar con el banco tester VNP-V3500, variando ciertas condiciones de trabajo como tiempo de inyección, número de strokes y presión de trabajo se logra visualizar y detectar si alguno de los orificios del inyector se encuentra taponado, ya que por esta razón da como resultado tironeo en el motor a causa de una incorrecta pulverización.

- En A se muestra una correcta salida del combustible. El chorro debe presentar la pulverización que caracteriza a este tipo de inyectores.
- En C, se visualiza una pulverización incompleta.



Figura 27 Tipos de chorro de inyección A. Chorro ideal. B. Chorro incorrecto

2.13.3 Verificación de la estanqueidad

(Acuña & Morales, 2016) Mencionan que: “La prueba verifica hasta qué punto el inyector cierra sin presentar valores de fuga, operando con valores de presión levemente por debajo de la presión de funcionamiento. Si el valor de presión varía de 15 a 20 bar, menor que la presión de funcionamiento, la válvula de desconexión del manómetro se cierra, manteniendo así la presión en el circuito hidráulico interior del inyector.

Obedeciendo estas condiciones, la aguja debe cerrar perfectamente sobre su asiento, el inyector no debe gotear ni encontrarse húmedo en la punta, esto indica una perfecta estanqueidad. Al contrario, es decir si el inyector presenta humedad en la punta se procede a un leve rectificado del asiento de la aguja, proceso parecido al esmerilado de válvulas.” (p.42)

2.13.4 Verificación de fuga de retorno

(Arellano & Falconi, 2015) Afirman que: “al momento de accionar la bomba del comprobador hasta obtener una presión en el inyector de aproximadamente

10 bar por debajo de la de tarado, se cerrará la válvula de paso de combustible que está provisto el comprobador. En estas condiciones, debe observarse un descenso lento de la aguja del reloj comparador, que indica el nivel de fuga de retorno. Generalmente se considera correcto un inyector, en cuando a nivel de fuga de retorno, si la presión se mantiene por encima de 50 bar más de seis segundos, partiendo de una presión de 100 bar.

La fuga de retorno indica la cantidad de combustible que sale entre la varilla de la válvula de aguja y el cuerpo de la tobera, hacia el retorno. Esta fuga debe existir en una cierta proporción, para lubricar estos componentes. Si es pequeña, indica una escasa holgura entre la aguja y la tobera. Si la fuga es excesiva, indica mayor holgura de la necesaria y deberá sustituirse o repararse la tobera.” (p.36)

Cabe recalcar que el caudal de retorno siempre es inferior al caudal de inyección, de no ser así, se determina que el inyector no funciona y debe ser reparado.

2.13.5 Verificación de goteo

(Granda & Estevez, 2014) Mencionan que: “Una fuga interna en el inyector causa una caída de presión en él, debido a una incorrecta estanqueidad. Hay que tomar en cuenta que el buen estado de los inyectores es un factor crítico para el buen funcionamiento del motor, la suciedad o desgaste pueden ser el causante de una descompensación en su trabajo lo cual atrae complicaciones como perdida de potencia, humo negro entre otras. La siguiente figura muestra un accionamiento inadecuado que se genera dentro de la cámara de combustión.” (p.11)

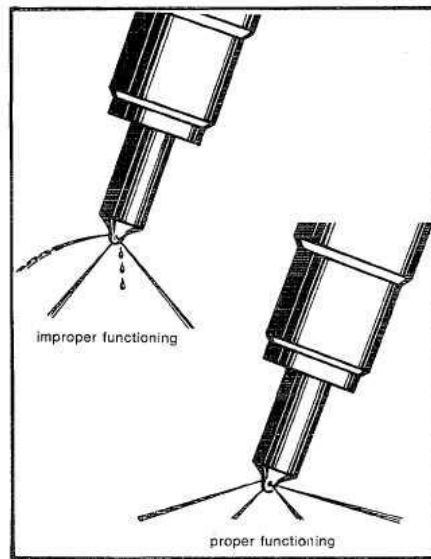


Figura 28 Goteo del inyector

Fuente: [TDICLUB, 2013]

CAPÍTULO III

3. PROTOCOLO DE PRUEBAS

3.1 Equipos

3.1.1 Banco de pruebas tester CRDI V 3500 VNP

El banco de pruebas VNP V-3500 es un equipo de comprobación el cual determina el estado de un inyector bajo ciertos parámetros que pueden ser modificados como: el número de inyecciones, tiempo que permanece abierto el inyector en (ms), presión de inyección (bar), determinando así el comportamiento tanto eléctrico como mecánico.

El banco posee un panel digital en el cual se realizan las modificaciones necesarias para ciertas condiciones de trabajo, además una perilla en la cual se regula la presión de trabajo.

Se encuentra acondicionado con dos cilindros de pulverización y dos probetas respectivamente, para visualizar el caudal de inyección y retorno que entregan los inyectores.



Figura 29 Banco de pruebas VNP V-3500

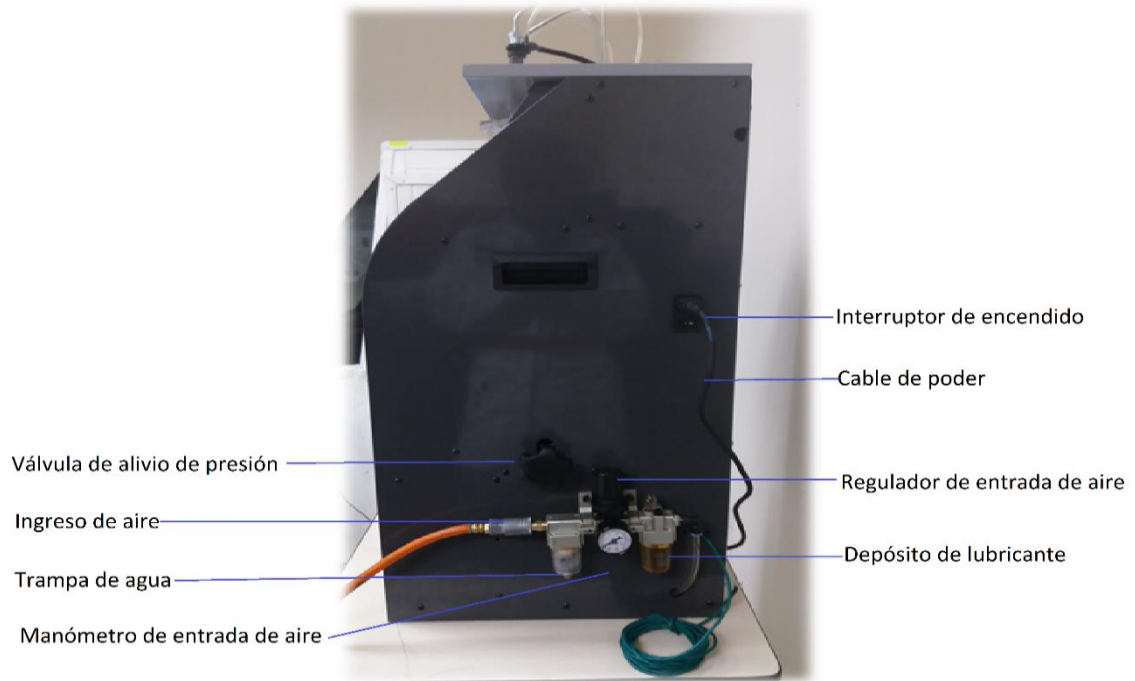


Figura 30 Componentes del banco de prueba VNP V-3500

Tabla 4

Especificaciones técnicas del banco VNP V3500

Ítem	Característica
Tipo de accionamiento	Neumático
Lubricante	Viscor
Alimentación	110v
Presión de entrada	4 bar
Presión máxima de trabajo	800 bar
Tipo de inyectores	Piezoeléctricos / inductivos
Número de cilindros	2
Número de probetas	4
strk	0 - 990
Tiempo de inyección	0.25 – 2 (ms)
Peso	65 kg
Diámetro interno del cilindro de pulverización	80,70 mm

3.1.2 Pinza amperimétrica Brain Bee

Es un instrumento que conjuntamente con el osciloscopio Hantek visualiza la gráfica característica de corriente en este caso de los inyectores piezoeléctricos.

Posee dos opciones de conversión en el cuerpo de la pinza el cual se regula dependiendo nuestras necesidades ($60A = 10mV/A$) y ($20A = 100mV/A$).



Figura 31 Pinza amperimétrica Brain Bee

Tabla 5

Características de la pinza amperimétrica

Ítem	Característica
Input	60A Max AC/DC
Output	10mV/A, 100mV/A,
Voltaje MAX	240VAC / 300VDC

3.1.3 Osciloscopio Hantek 1008c

El osciloscopio Hantek es una interface gráfica que mediante el software de instalación visualiza señales eléctricas en un computador, posee 8 canales que son usados de manera simultánea.

Las gráficas generadas son visualizadas y ajustadas con las escalas de medición, el tiempo en el eje x y el voltaje en eje y.

Basta con la conexión a un puerto USB para que el osciloscopio Hantek funcione correctamente.



Figura 32 Osciloscopio Hantek 1008c

Tabla 6

Características del osciloscopio Hantek 1008c

Ítem	Característica
Número de canales	8 canales
Resolución	18 bits
Impedancia de entrada	1 mΩ
Rango de frecuencia	0-250 kHz
Alimentación	Conexión directa al computador
Acoplamiento de entrada	DC
Instalación	CD de instalación (software)
interfaz	USB 2.0
Peso	350 g

3.1.4 Compresor MZB



Figura 33 Compresor MZB

Tabla 7

Ficha técnica del compresor MZB

Ítem	Característica
Tipo	YL90L-2
Alimentación	110 v
Potencia	3 HP
Velocidad	3400 rpm
Corriente	20.7 A
Frecuencia	60 Hz

3.2 Especificaciones de los inyectores piezoeléctricos Bosch

3.2.1 Inyector piezoeléctrico Bosch 0445116034 Volkswagen Amarok



Figura 34 Inyector piezoeléctrico 0445116034

Tabla 8

Especificaciones del inyector 0445116034

Ítem	Característica
Dimensiones	25x12x6 (cm)
Poder	20 W
Voltaje	DC 12V-160V
Función	DC 12V-14V



Figura 35 Volkswagen Amarok 2.0

Tabla 9

Características del vehículo

Ítem	Característica
Aplicación	Volkswagen Amarok – Trasporter T5
Cilindrada	1.968 cc
Número de Cilindros	4 en línea
Tipo	CR
Par motor máximo	340 Nm
Potencia máxima	90 kW a 3750 rpm
Sobrealimentación	Turbocompresor
Configuración	Tracción trasera 4x2
Normativa europea	Euro 5

3.2.2 Inyector piezoeléctrico Bosch 0445115042 Land Rover Freelander



Figura 36 Inyector piezoeléctrico 0445115042



Figura 37 Land Rover Freelander II TD4 2.2

Tabla 10

Características del vehículo

Ítem	Característica
Aplicación	Land Rover Freelander II TD4
Cilindrada	2.179 cc
Numero de Cilindros	4 en línea
Tipo	CR
Par motor máximo	400 Nm a 2000 rpm
Potencia máxima	118 kW a 4000 rpm
Alimentación	Inyección directa, Turbocompresor de geometría variable, intercooler
Configuración	4x4
Normativa europea	Euro 5

3.3 Revisión y puesta a punto del Banco de pruebas tester CRDI V 3500 VNP

Antes de empezar con el funcionamiento del banco se debe tener en cuenta una serie de parámetros que servirán para evitar daños del mismo. Realizar la revisión de diferentes partes del equipo que se detallarán a continuación:

Tabla 11

Revisión y puesta a punto del banco tester CRDI V 3500 VNP




N.	Especificación	Figura
1	Verificar la conexión del cable de poder al banco de pruebas.	
2	El cable de poder del banco debe conectarse a una fuente de 110 v.	
3	Inspeccionar la posición adecuada del botón de encendido.	

Figura 38 Cable de poder

Figura 39 Cable de poder conectado a una fuente de 110v

Figura 40 Botón de encendido

CONTINÚA 

-
- 4 El viscor del equipo debe estar en un nivel superior al indicador intermedio.



Figura 41 Indicador de viscor

-
- 5 La válvula de alivio de presión debe encontrarse ajustada y al finalizar las pruebas se debe liberar la presión.

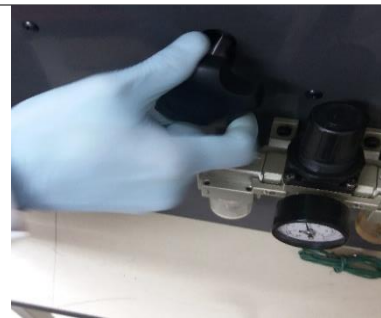


Figura 42 Válvula de alivio de presión

-
- 6 El depósito de lubricante no debe tener fugas y debe encontrarse en un nivel adecuado.



Figura 43 Depósito de lubricante

-
- 7 La trampa de agua debe carecer de líquido e impurezas, si estas existen drenar, desmontar y limpiar.



Figura 44 Trampa de agua

-
- 8 Visualizar que los cilindros se encuentren totalmente limpios.



Figura 45 Cilindros

-
- 9 Las cañerías de conexión a los inyectores deben encontrarse totalmente limpias y sin obstrucciones.



Figura 46 Cañerías de conexión

-
- 10 Las mangueras de retorno de los inyectores deben encontrarse totalmente limpias y sin obstrucciones.



Figura 47 Mangueras de retorno

-
- 11 Los sockets de conexión de los inyectores deben encontrarse en condiciones óptimas.



Figura 48 Sockets de conexión

-
- 12 La manguera de aire que viene del compresor debe
-

acoplarse
correctamente al
equipo.



**Figura 49 Manguera de aire del
compresor**

-
- 13** El interruptor de control del banco colocar en la posición piezo.

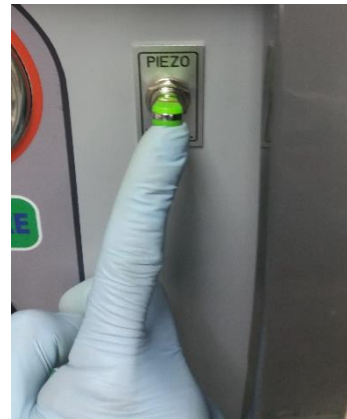


Figura 50 Interruptor de control

-
- 14** Para encender el banco la tecla ON/START del panel debe presionarse aproximadamente tres segundos.



Figura 51 Botón de encendido

3.4 Procedimiento de instalación de los inyectores piezoeléctricos.

La instalación de los inyectores se realiza antes del encendido del banco de pruebas VNP 3500. El montaje debe realizarse de la siguiente manera:

Tabla 12

Instalación de los inyectores piezoeléctricos




N.	Especificación	Figura
1	Quitar los protectores de los inyectores piezoeléctricos Volkswagen Amarok y Land Rover Freelander.	
2	Seleccionar las cañerías para este tipo de inyectores.	
3	Enroscar las cañerías a los inyectores.	

Figura 52 Inyectores piezoeléctricos

Figura 53 Cañerías de conexión

Figura 54 Enrosque de cañerías a los inyectores

CONTINÚA 

-
- 4 Colocar los inyectores en los cilindros, enroscar el extremo de la cañería en la rosca del equipo.

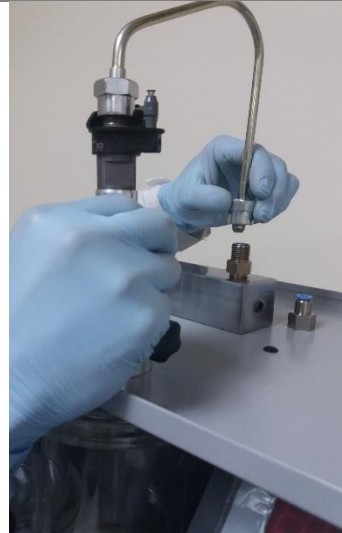


Figura 55 Enrosque y puesta de inyectores en el banco

-
- 5 Fijar las mangueras de retorno evitando daños en los inyectores.

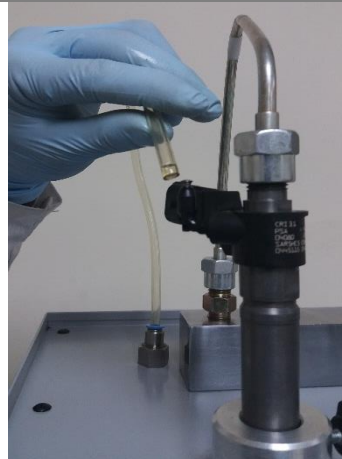


Figura 56 Conexión de mangueras de retorno

-
- 6 Con las llaves 19 mm y 17 mm ajustar la rosca de las cañerías del inyector piezoeléctrico del vehículo Land Rover Freelander.



Figura 57 Ajuste del inyector



Figura 58 Ajuste de la cañería al banco

-
- 7** Con las llaves 19 mm y 13 mm ajustar la rosca de las cañerías del inyector piezoeléctrico del vehículo Volkswagen Amarok.

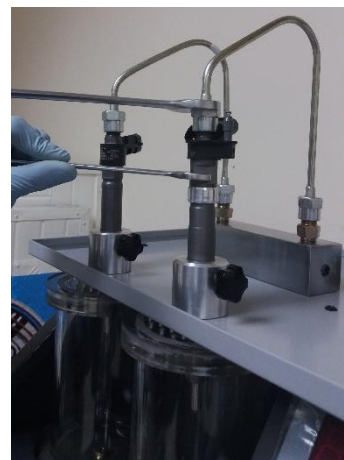


Figura 59 Ajuste del inyector

-
- 8** Ajustar las mariposas de sujeción de los inyectores.



Figura 60 Ajuste de las mariposas de sujeción.

CONTINÚA 

-
- 9 Seleccionar los sockets adecuados para los inyectores piezoeléctricos.
(cable azul +, cable naranja -)



Figura 61 Sockets de conexión

-
- 10 Conectar los sockets a los inyectores de manera que siempre el cable azul se encuentre en la parte derecha mirando el banco de manera frontal.

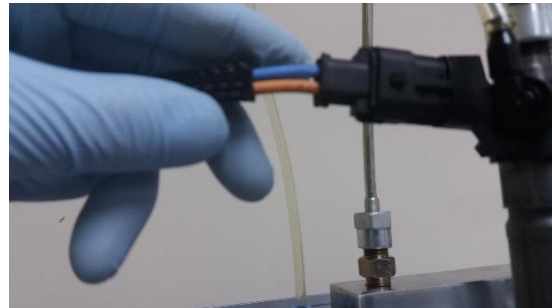


Figura 62 Conexión de los sockets a los inyectores

-
- 11 Finalmente realizar una inspección general de los pasos mencionados anteriormente.



Figura 63 Inspección general del montaje de inyectores

3.5 Instalación del osciloscopio Hantek 1008

3.5.1 Instalación del software del osciloscopio Hantek 1008c

Tabla 13

Instalación del software del osciloscopio Hantek 1008

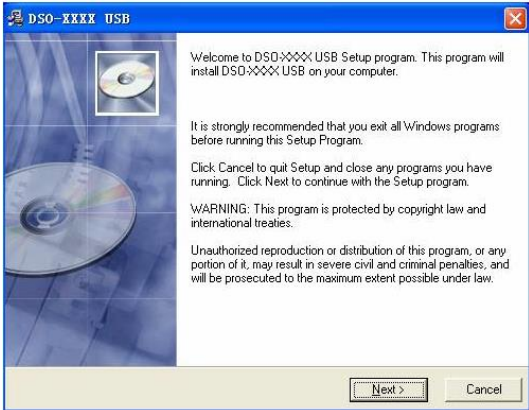
N.	Especificación	Figura
1	Insertar el CD Hantek, ejecutarlo como administrador e instalar el software.	

Figura 64 Instalación Software Hantek



Figura 65 Instalación software Hantek

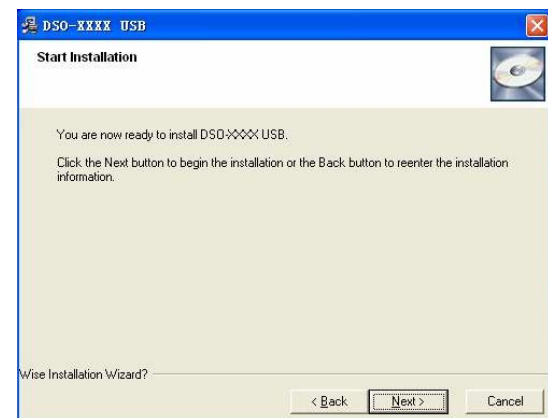


Figura 66 Instalación software Hantek

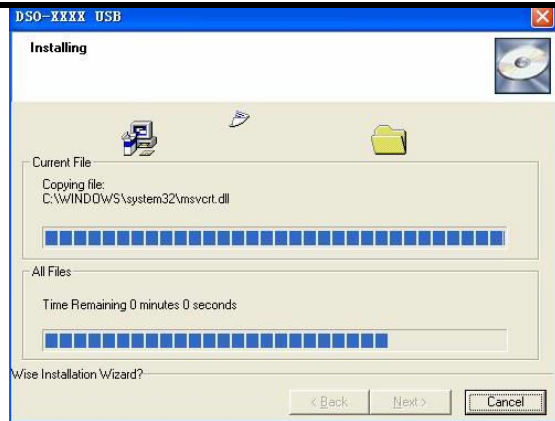
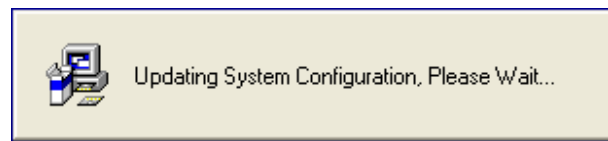
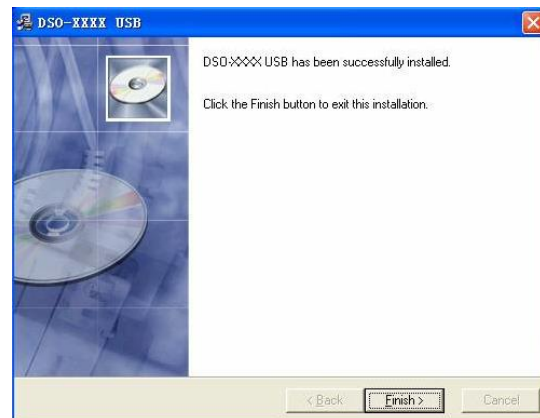


Figura 67 Instalación software Hantek



**Figura 68 Instalación del software
Hantek**



**Figura 69 Instalación del software
Hantek**

3.5.2 Conexión del osciloscopio a los inyectores piezoeléctricos

Tabla 14

Conexión del osciloscopio a los inyectores piezoeléctricos

N.	Especificación	Figura
1	Conectar el osciloscopio	

CONTINÚA 

Hantek mediante su cable USB al computador previamente instalado con su software.



Figura 70 Conexión cable USB de osciloscopio

-
- 2** Colocar las puntas del osciloscopio en los canales del Hantek.



Figura 71 Conexión de las puntas de osciloscopio

-
- 3** Disponer de cables con extremos punta-lagarto.



Figura 72 Cables de conexión

CONTINÚA 

- 4 Insertar las puntas de los cables en el socket de los inyectores.
Azul - negro(-)
Naranja - rojo(+)

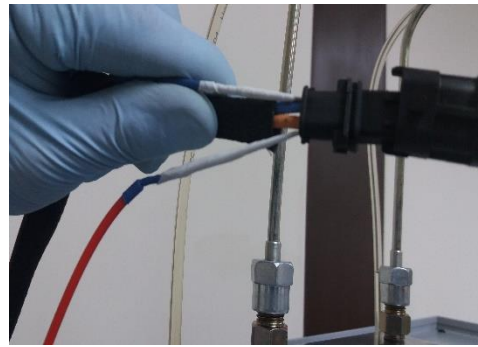


Figura 73 Insertar las puntas de los cables en el socket de inyector

- 5 Conectar los lagartos a la punta del osciloscopio tomando en cuenta la polaridad de los cables.

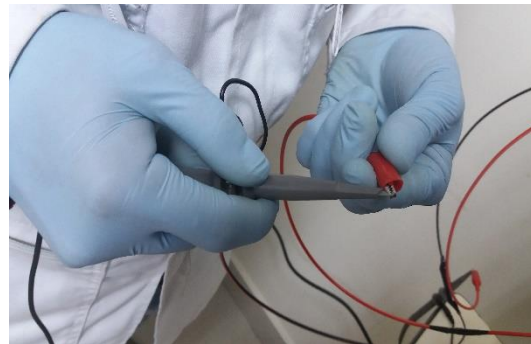


Figura 74 Conexión de la punta del osciloscopio a los cables.

- 6 Manipular el computador y tomando en cuenta el software del osciloscopio adecuar la pantalla y visualizar la onda del inyector piezoeléctrico.

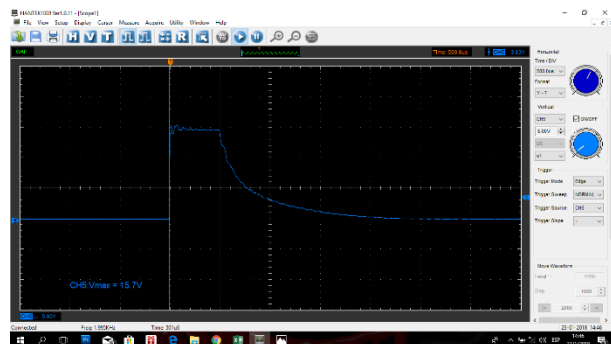


Figura 75 Onda del inyector piezoeléctrico

- 7 Con las opciones que dispone este software se toma

mediciones,
capturas de la
onda, etc.



Figura 76 Opciones del software del osciloscopio

3.6 Instalación de la pinza amperimétrica Brain Bee

3.6.1 Conexión de la pinza amperimétrica a los inyectores

Tabla 15

Conexión de la pinza amperimétrica a los inyectores


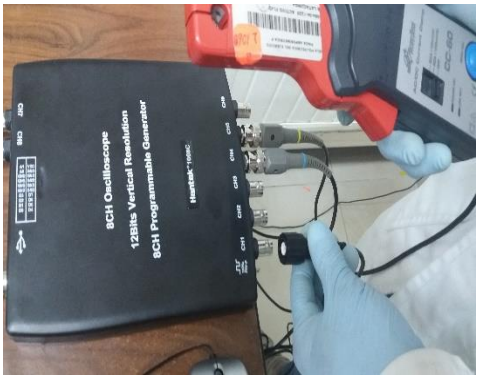
N.	Especificación	Figura
1	Colocar una batería de 9V en la pinza amperimétrica.	
2	Conectar el cable de la pinza amperimétrica a un canal del osciloscopio Hantek 1008.	

Figura 78 Conexión del cable de la pinza amperimétrica

CONTINÚA 

-
- 3 Abrir la pinza amperimétrica y colocarla en el cable naranja (+) del socket.



Figura 79 Conexión de la pinza amperimétrica

-
- 4 Dirigir la flecha que dispone la pinza amperimétrica hacia el inyector piezoeléctrico.

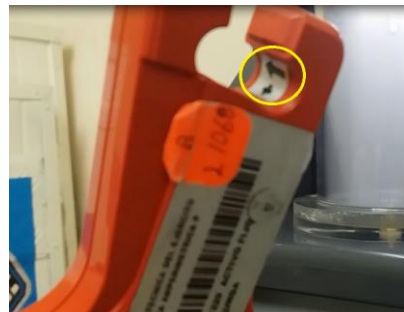


Figura 80 Disposición de la pinza amperimétrica

-
- 5 Elegir la escala de 20 A (100 mv/A) para las conversiones necesarias.



Figura 81 Seleccionar escala a utilizar

- 6 Visualizar la onda de corriente en la pantalla del computador.

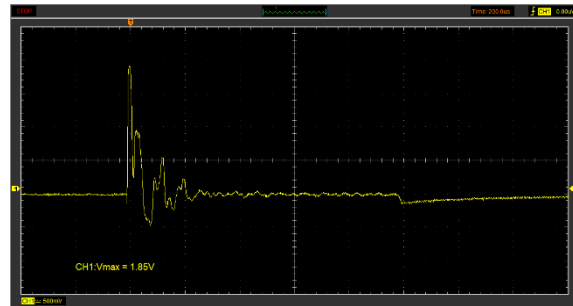


Figura 82 Curva de corriente del inyector

- 7 Mediante las opciones del software seleccionar la escala adecuada.

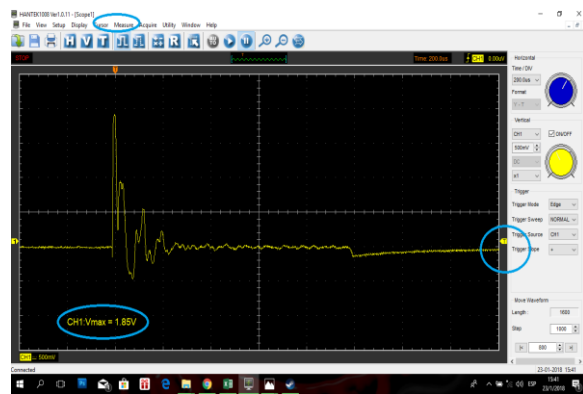


Figura 83 Opciones del software Hantek

3.7 Procedimiento de pruebas del inyector piezoeléctrico

3.7.1 Pruebas hidráulicas-mecánicas

- Obtener caudales de inyección y retorno, tiempo de retención-descarga, tiempo de disparo, voltaje de activación, voltaje de retención-descarga, corriente de activación mediante variaciones de presión, tiempo de inyección y pulsos de inyección. A continuación se van a detallar los parámetros a trabajar:

Tabla 16

Parámetros de las pruebas

Presión	Tiempo de inyección	Pulsos de inyección STRK
200	0,5;1;2	300;600;850
400	0,5;1;2	300;600;850
550	0,5;1;2	300;600;850

3.7.2 Grados de pulverización

Se debe considerar una serie de cálculos correspondientes a los inyectores piezoeléctricos.

Para lo cual se llevara a cabo el siguiente procedimiento:

Tabla 17

Procedimiento para calcular los grados de pulverización

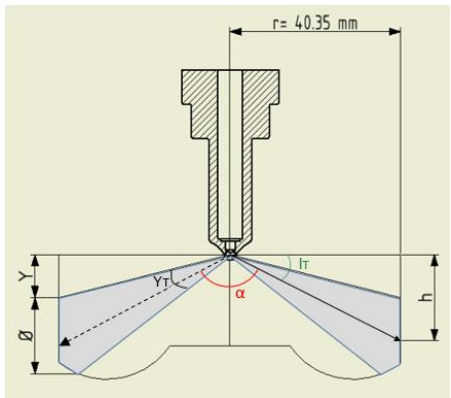
N.	Especificación	Figura
1	Considerar el radio interno del cilindro de pulverización obtenido de las especificaciones del banco VNP3500.	
2	Tomar la medida desde la punta del inyector hasta los	

Figura 84 Geometría de pulverización

CONTINÚA 

orificios del mismo con un calibrador pie de rey.



Figura 85 Medición de la punta del inyector a los orificios

3

Tomar la medida desde la punta del inyector hasta una pestaña del inyector. Esta se tomara como una referencia para próximos cálculos.



Figura 86 Medida de referencia del inyector

4

Trasladar la medida de referencia al cilindro de pulverización del banco.

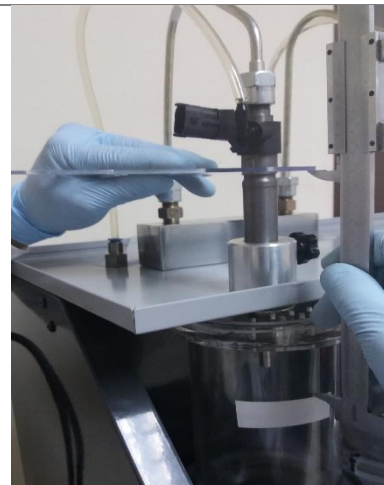


Figura 87 Traslación de la medida referencial al cilindro

CONTINÚA 

5

Mediante el funcionamiento del banco tomar la medida del diámetro del chorro de pulverización.

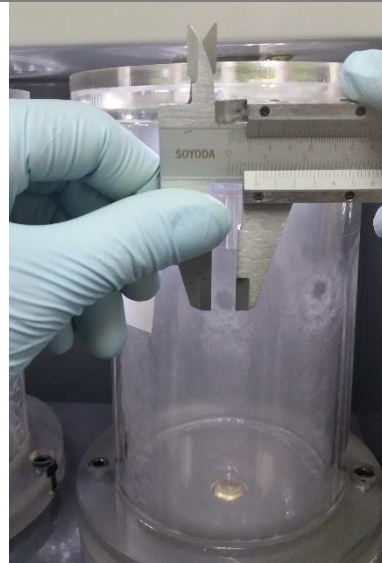


Figura 88 Diámetro del chorro de pulverización

6

Con adhesivos marcar el punto máximo y mínimo del chorro de pulverización. Colocar papel milimetrado a la altura de la punta del inyector.

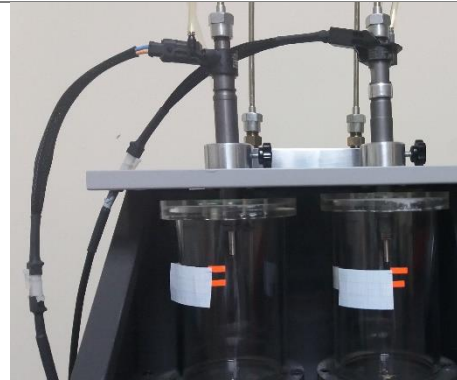


Figura 89 Referencia de medidas en el cilindro

7

Tomar la medida desde la altura del papel milimetrado hacia el punto máximo del chorro de pulverización. Con estas medidas calcularemos los parámetros.

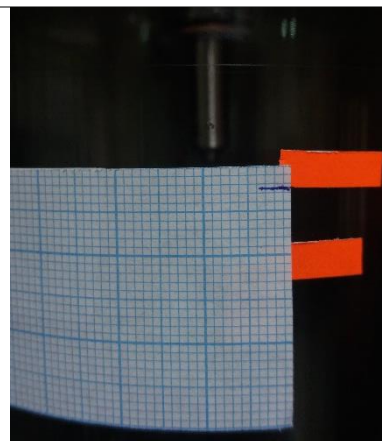


Figura 90 Referencia de medidas en el cilindro

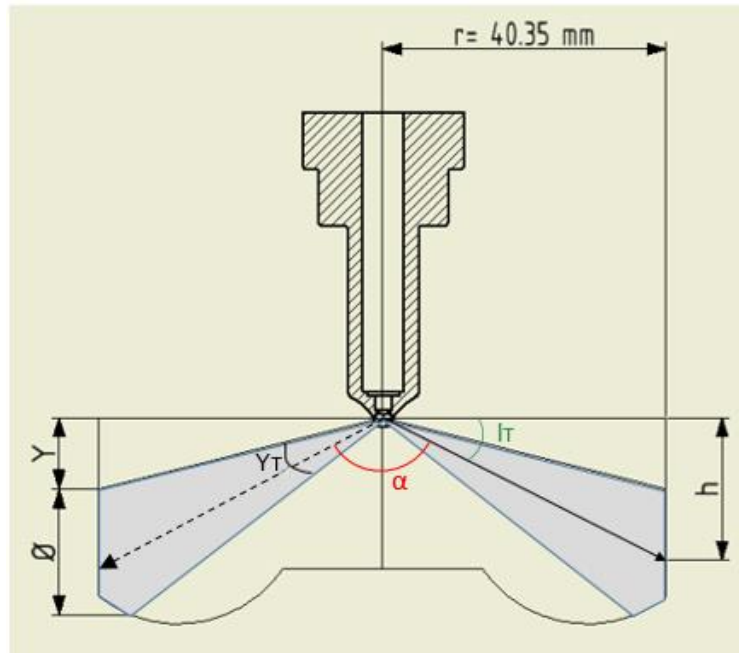


Figura 91 Geometría de pulverización.

Datos con su respectiva nomenclatura:

r = radio del cilindro

h = altura

\emptyset = diámetro

l_T = ángulo de disparo

Y = diferencia de alturas

Y_T = ángulo de dispersión

Ecuación del ángulo de dispersión:

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

Ecuación del ángulo de disparo:

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

Ecuación de ángulo de cono:

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

Tabla 18

Ángulos de pulverización

Ángulo de disparo	Ángulo de dispersión	Ángulo de cono
___°	___°	___°

- Realizar el análisis de los datos obtenidos mediante tablas y gráficas comparativas.

3.7.3 Pruebas eléctricas

- Obtener curvas de corriente y voltaje de los inyectores piezoeléctricos mediante la utilización de equipos como: pinza amperimétrica y osciloscopio respectivamente. A continuación se van a detallar los parámetros a trabajar:

Tabla 19

Parámetros de las pruebas

Presión	Tiempo de inyección	Pulsos de inyección STRK
200	0,5;1;2	300;600;850
400	0,5;1;2	300;600;850
550	0,5;1;2	300;600;850

- Realizar el análisis de los datos obtenidos mediante tablas y gráficas comparativas.

400	850	0,5
400	850	1
400	850	2
550	300	0,5
550	300	1
550	300	2
550	600	0,5
550	600	1
550	600	2
550	850	0,5
550	850	1
550	850	2

3.7.4 Parámetros de los inyectores

Los inyectores piezoeléctricos cuentan con parámetros que a continuación se detallarán:

Tabla 21

Parámetros de los inyectores piezoeléctricos




Indicador	Ítem	Técnicas	Medición
Presión de operación	bar	Medición	
Número de orificios del inyector	#	Observación	
Tipo de tobera	Corta / larga	Observación	
Largo del Tallo	mm	Medición	
Tipo de boquilla	diseño	Observación	
Ángulos del cono de pulverización	°	Medición	

3.8 Procedimiento de desinstalación de los inyectores

Al culminar con las pruebas de los inyectores piezoeléctricos se debe seguir una serie de pasos para la desinstalación de los mismos que a continuación se detallaran:

Tabla 22

Desinstalación de los inyectores

N.	Especificación	Figura
1	Al finalizar las pruebas se presiona la tecla OFF/STOP.	
2	Presionar SUCTION para succionar los cilindros del equipo.	
3	Drenar las probetas de caudal de inyección y retorno presionando DRAIN.	
4	Presionar OFF/STOP aproximadamente unos tres segundos	

CONTINÚA 

para apagar el banco VNP3500.



Figura 95 Apagar el banco

-
- 5 Girar la perilla de la válvula de alivio en sentido anti horario.



Figura 96 Aliviar la presión del banco

-
- 6 Retirar la manguera de aire que viene del compresor a la toma del equipo.

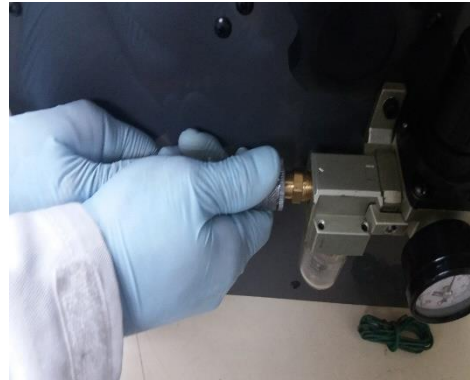


Figura 97 Retirar la manguera de aire

-
- 7 Desconectar los sockets de los inyectores de manera cuidadosa.

CONTINÚA 

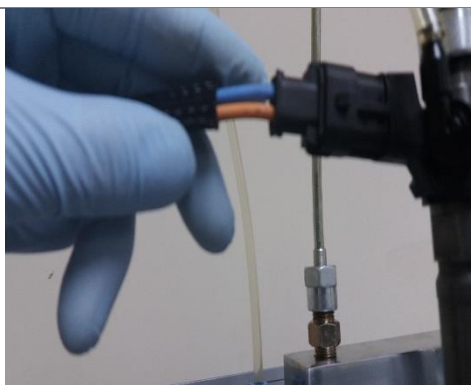


Figura 98 Desconectar sockets

-
- 8** Retirar las mangueras sin regar las sobras del viscor en el banco.



Figura 99 Retirar mangueras de retorno

-
- 9** Aflojar con las llaves 19 mm y 17 mm las cañerías del inyector piezoeléctrico del vehículo Land Rover Freelander.



Figura 100 Aflojar inyector piezoeléctrico Land Rover Freelander

-
- 10** Aflojar con las llaves 19 mm y 13 mm las cañerías del inyector piezoeléctrico del vehículo Volkswagen Amarok.



Figura 101 Aflojar inyector piezoeléctrico Volkswagen Amarok

-
- 11** Aflojar las mariposas de sujeción de los inyectores.



Figura 102 Aflojar mariposas de sujeción de inyectores

-
- 12** Levantar y retirar cuidadosamente los inyectores de los cilindros.

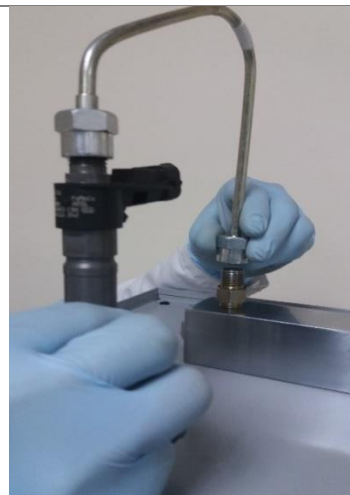


Figura 103 Retirar los inyectores del banco de pruebas

CONTINÚA 

-
- 13** Desenroscar las cañerías de los inyectores de manera segura y adecuada.



Figura 104 Desenroscar cañerías de los inyectores

-
- 14** Limpiar los residuos de viscor tanto de los inyectores, cañerías y equipo VNP3500.



Figura 105 Limpieza de inyectores

-
- 15** Sellar los inyectores para evitar que los mismos se ensucien o taponen.



Figura 106 Sellar los inyectores

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS DE DATOS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y ELECTRÓNICO DE LOS INYECTORES PIEZOELÉCTRICOS BOSCH DEL SISTEMA DE INYECCIÓN CRDI (COMMON RAIL DIESEL INJECTION) DE LOS VEHÍCULOS VOLKSWAGEN AMAROK 2.0 Y LAND ROVER FREELANDER II 2.2

4.1 Introducción

Una vez establecido el protocolo de pruebas mecánicas y eléctricas especificadas en el capítulo 3 se ejecutó las mismas en los inyectores piezoeléctricos Bosch piezoeléctrico “0445116034” y “0445115042” obteniendo información bajo ciertas condiciones de trabajo, los resultados obtenidos son de gran aporte para futuras investigaciones enfocados al ámbito automotriz.

4.2 Pruebas mecánicas

Las pruebas mecánicas se realizaron en el banco VNP V-3500 bajo ciertas condiciones de operación, variando el número de strk, tiempo de inyección, presión de trabajo; las mismas que se reflejan en las probetas de inyección y retorno. Además la obtención de los ángulos de pulverización que contemplan un ángulo de dispersión y ángulo de disparo.

4.3 Pruebas eléctricas

Las pruebas se las realizó con el osciloscopio Hantek 1008c y su software respectivo, pinza amperimétrica Brain Bee de esta manera se obtuvo los siguientes parámetros:

- Corriente de activación
- Voltaje de retención-descarga
- Período
- Voltaje máximo de activación
- Tiempo de disparo
- Tiempo de retención

4.4 Procedimiento para calcular el ángulo de pulverización

4.4.1 Ángulos de pulverización Land Rover Freelander 0445115042

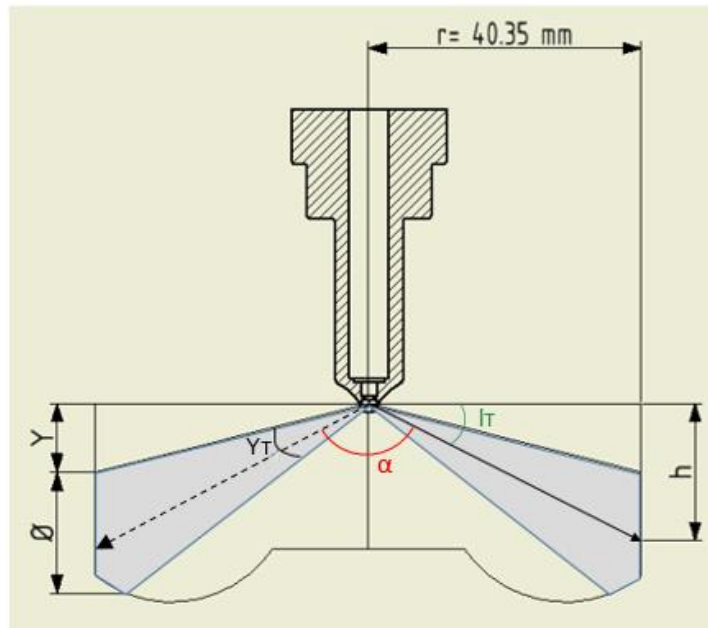


Figura 107 Geometría de pulverización.

Datos con su respectiva nomenclatura:

$$r = \text{radio del cilindro} = 40,35 \text{ mm}$$

$$h = \text{altura}$$

$$\phi_{\text{chorro}} = \text{diámetro chorro} = 6,14 \text{ mm}$$

$$r_{\text{chorro}} = \text{radio del chorro} = 3,07 \text{ mm}$$

$$\text{Punta del inyector a los orificios} = 1,28 \text{ mm}$$

$$\text{Punta del inyector hasta la parte máxima del chorro} = 3,5 \text{ mm}$$

$$l_T = \text{ángulo de disparo}$$

$$Y = \text{diferencia de alturas}$$

$$Y_T = \text{ángulo de dispersión}$$

Diferencia de alturas:

$$Y = \text{Punta del inyector hasta la parte máxima del chorro} \\ + \text{Punta del inyector a los orificios}$$

$$Y = 3,5 \text{ mm} + 1,28 \text{ mm}$$

$$Y = 4,78 \text{ mm}$$

Altura:

$$h = Y + r_{\text{chorro}}$$

$$h = 4,78 \text{ mm} + 3,07 \text{ mm}$$

$$h = 7,85 \text{ mm}$$

Ecuación 1 Ángulo de dispersión

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

$$Y_T = \tan^{-1}\left(\frac{6,14 \text{ mm} + 4,78 \text{ mm}}{40,35 \text{ mm}}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{4,78 \text{ mm}}{40,35 \text{ mm}}\right)$$

$$Y_T = 15,143 - 6,755$$

$$Y_T = 8,388^\circ$$

Ecuación 2 Ángulo de disparo

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

$$l_T = \tan^{-1}\left(\frac{7,85 \text{ mm}}{40,35 \text{ mm}}\right)$$

$$l_T = 11,009^\circ$$

Ecuación 3 Ángulo de cono

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

$$\alpha = 2 \tan^{-1} \left(\frac{40,35}{7,85} \right)$$

$$\alpha = 157,981^\circ$$

Tabla 23

Ángulos de pulverización

Ángulo de disparo	Ángulo de dispersión	Ángulo de cono
11,009°	8,388°	157,981°

Tabla 24

Parámetros del inyector Land Rover Freelander 0445115042

Indicador	Ítem	Técnicas	Medición
Presión máxima de prueba	bar	Medición Banco VNP V-3500	550
Presión mínima de prueba	bar	Medición Banco VNP V-3500	200
Número de orificios del inyector	#	Observación Inyector	8
Tipo de tobera	Corta / larga	Observación Inyector	Larga
Largo del Tallo	mm	Medición Calibrador pie de rey	23
Ángulo de dispersión	°	Medición (Datos obtenidos)	8,388
Ángulo de disparo	°	Medición (Datos obtenidos)	11,009
Angulo de cono	°	Medición (Datos obtenidos)	157,981
Angulo de distribución	°	Medición (Datos obtenidos)	45

4.4.2 Ángulos de pulverización Volkswagen Amarok 0445116034

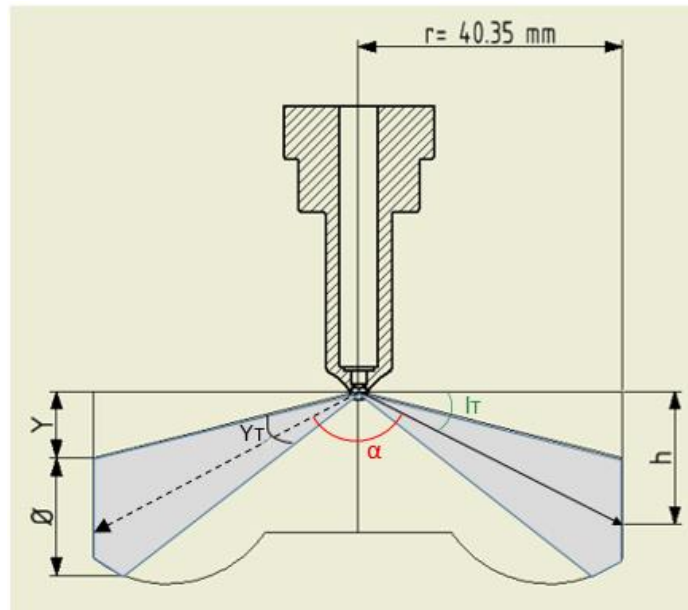


Figura 108 Geometría de pulverización.

Datos con su respectiva nomenclatura:

$$r = \text{radio del cilindro} = 40,35 \text{ mm}$$

$$h = \text{altura}$$

$$\phi_{\text{chorro}} = \text{diámetro chorro} = 6,18 \text{ mm}$$

$$r_{\text{chorro}} = \text{radio del chorro} = 3,09 \text{ mm}$$

$$\text{Punta del inyector a los orificios} = 1,62 \text{ mm}$$

$$\text{Punta del inyector hasta la parte máxima del chorro} = 2,5 \text{ mm}$$

$$l_T = \text{ángulo de disparo}$$

$$Y = \text{diferencia de alturas}$$

$$Y_T = \text{ángulo de dispersión}$$

Diferencia de alturas:

$$Y = \text{Punta del inyector hasta la parte máxima del chorro} \\ + \text{Punta del inyector a los orificios}$$

$$Y = 2,5 \text{ mm} + 1,62 \text{ mm}$$

$$Y = 4,12 \text{ mm}$$

Altura:

$$h = Y + r_{\text{chorro}}$$

$$h = 4,12 \text{ mm} + 3,09 \text{ mm}$$

$$h = 7,21 \text{ mm}$$

Ecuación del ángulo de dispersión:

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

$$Y_T = \tan^{-1}\left(\frac{6,18 \text{ mm} + 4,12 \text{ mm}}{40,35 \text{ mm}}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{4,12 \text{ mm}}{40,35 \text{ mm}}\right)$$

$$Y_T = 14,318 - 5,830$$

$$Y_T = 8,488^\circ$$

Ecuación del ángulo de disparo:

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

$$l_T = \tan^{-1}\left(\frac{7,21 \text{ mm}}{40,35 \text{ mm}}\right)$$

$$l_T = 10,131^\circ$$

Ecuación del ángulo de cono:

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

$$\alpha = 2 \tan^{-1}\left(\frac{40,35}{7,21}\right)$$

$$\alpha = 159,737^\circ$$

Tabla 25

Ángulos de pulverización

Ángulo de disparo	Ángulo de dispersión	Ángulo de cono
10,131°	8,488°	159,737°

Tabla 26

Parámetros del inyector Volkswagen Amarok 0445116034

Indicador	Ítem	Técnicas	Medición
Presión máxima de prueba	bar	Medición Banco VNP V-3500	550
Presión mínima de prueba	bar	Medición Banco VNP V-3500	200
Número de orificios del inyector	#	Observación Inyector	8
Tipo de tobera	Corta / larga	Observación Inyector	Larga
Largo del Tallo	mm	Medición Calibrador pie de rey	23,32
Ángulo de dispersión	°	Medición (Datos obtenidos)	8,488
Ángulo de disparo	°	Medición (Datos obtenidos)	10,131
Ángulo de cono	°	Medición (Datos obtenidos)	159,737
Angulo de distribución	°	Medición (Datos obtenidos)	45

4.4.3 Procedimiento para calcular los grados de activación de los inyectores piezoeléctricos Volkswagen Amarok y Land Rover Freelander

Un dato importante para llevar a cabo este cálculo es el período, el mismo que se obtuvo a través del osciloscopio Hantek 1008c. Dentro del software ubicarse en la opción `measure>horizontal>period`, de esta manera se visualiza el valor de: $P=218\text{ ms}$

4.5 Grados de activación

4.5.1 Land Rover Freelander 0445115042

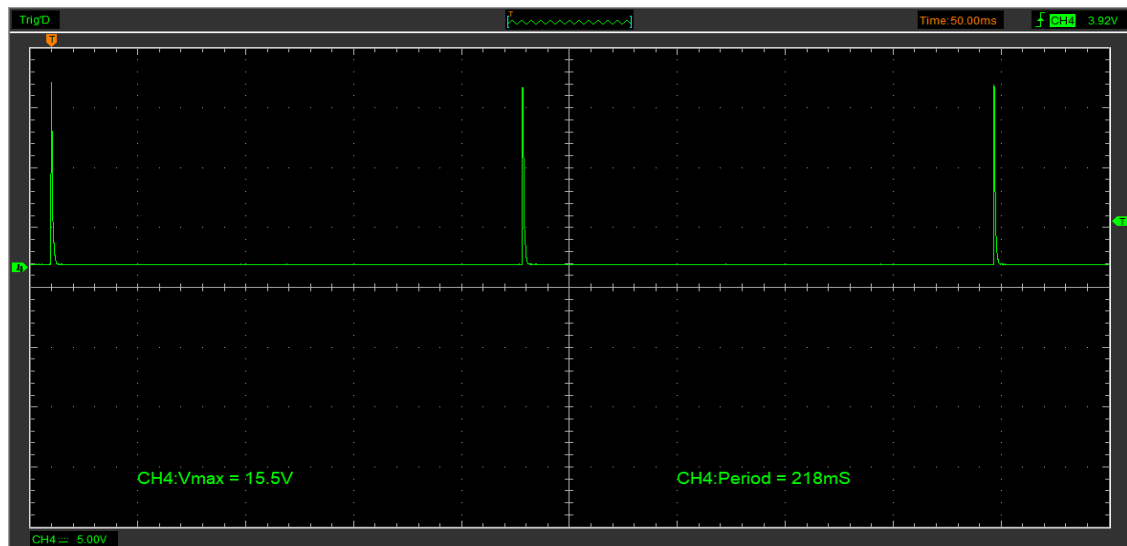


Figura 109 Curva del inyector piezoeléctrico Land Rover Freelander

$$\text{Período} = P = 218\text{ ms}$$

$$\text{Giro del cigueñal} = 720^\circ$$

$$\text{Número de cilindros} = n = 4$$

Se consideró que los vehículos en los que se emplean los inyectores antes mencionados están dotados de un motor de 4 cilindros en línea.

Por lo que, se analizó el comportamiento en un solo inyector, se divide el periodo total para 4 que es el número de cilindros.

Ecuación 4 Período individual

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

$$P_i = \frac{218\text{ ms}}{4}$$

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

Ecuación 5 Ángulo individual

$$A_i = \frac{\text{Ángulo de giro del cigueñal}}{n}$$

$$A_i = \frac{720^\circ}{4}$$

$$A_i = 180^\circ$$

Para tiempo de inyección

$$ti1 = 0,5 \text{ ms}$$

Ecuación 6 Grados de activación

$$\text{Grado de activación}_{ti1} = \frac{ti1 * A_i}{P_i}$$

$$\text{Grado de activación}_{ti1} = \frac{0,5 \text{ ms} * 180^\circ}{54,5 \text{ ms}}$$

$$\text{Grado de activación}_{ti1} = 1,651^\circ$$

Para tiempo de inyección $ti2 = 1 \text{ ms}$

$$\text{Grado de activación}_{ti2} = \frac{ti2 * A_i}{P_i}$$

$$\text{Grado de activación}_{ti2} = \frac{1 \text{ ms} * 180^\circ}{54,5 \text{ ms}}$$

$$\text{Grado de activación}_{ti2} = 3,303^\circ$$

Para tiempo de inyección $ti3 = 2 \text{ ms}$

$$\text{Grado de activación}_{ti3} = \frac{ti3 * A_i}{P_i}$$

$$\text{Grado de activación}_{ti3} = \frac{2 \text{ ms} * 180^\circ}{54,5 \text{ ms}}$$

$$\text{Grado de activación}_{ti3} = 6,605^\circ$$

4.5.2 Volkswagen Amarok 0445116034

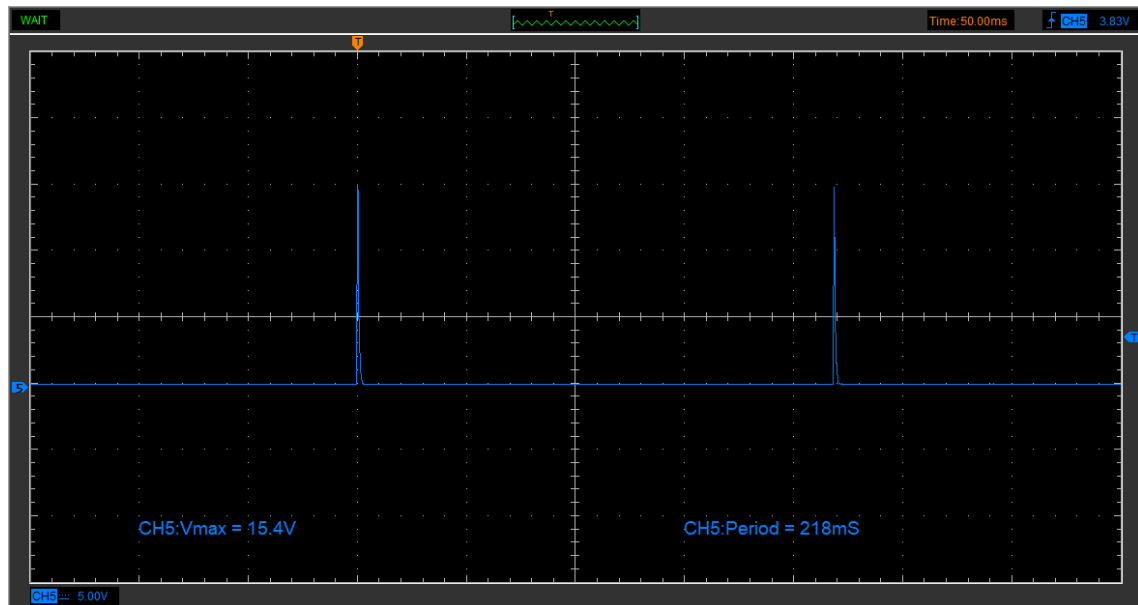


Figura 110 Curva de un inyector piezoeléctrico Volkswagen Amarok

$$\text{Período} = P = 218 \text{ ms}$$

$$\text{Giro del cigueñal} = 720^\circ$$

$$\text{Número de cilindros} = n = 4$$

Periodo individual

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

$$P_i = \frac{218 \text{ ms}}{4}$$

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

Ángulo individual

$$A_i = \frac{\text{Ángulo de giro del cigueñal}}{n}$$

$$A_i = \frac{720^\circ}{4}$$

$$A_i = 180^\circ$$

Para tiempo de inyección $ti1 = 0,5 \text{ ms}$

$$\text{Grado de activación}_{ti1} = \frac{ti1 * A_i}{P_i}$$

$$\text{Grado de activación}_{ti1} = \frac{0,5 \text{ ms} * 180^\circ}{54,5 \text{ ms}}$$

$$\text{Grado de activación}_{ti1} = 1,651^\circ$$

Para tiempo de inyección $ti2 = 1 \text{ ms}$

$$\text{Grado de activación}_{ti2} = \frac{ti2 * A_i}{P_i}$$

$$\text{Grado de activación}_{ti2} = \frac{1 \text{ ms} * 180^\circ}{54,5 \text{ ms}}$$

$$\text{Grado de activación}_{ti2} = 3,303^\circ$$

Para tiempo de inyección $ti3 = 2 \text{ ms}$

$$\text{Grado de activación}_{ti3} = \frac{ti3 * A_i}{P_i}$$

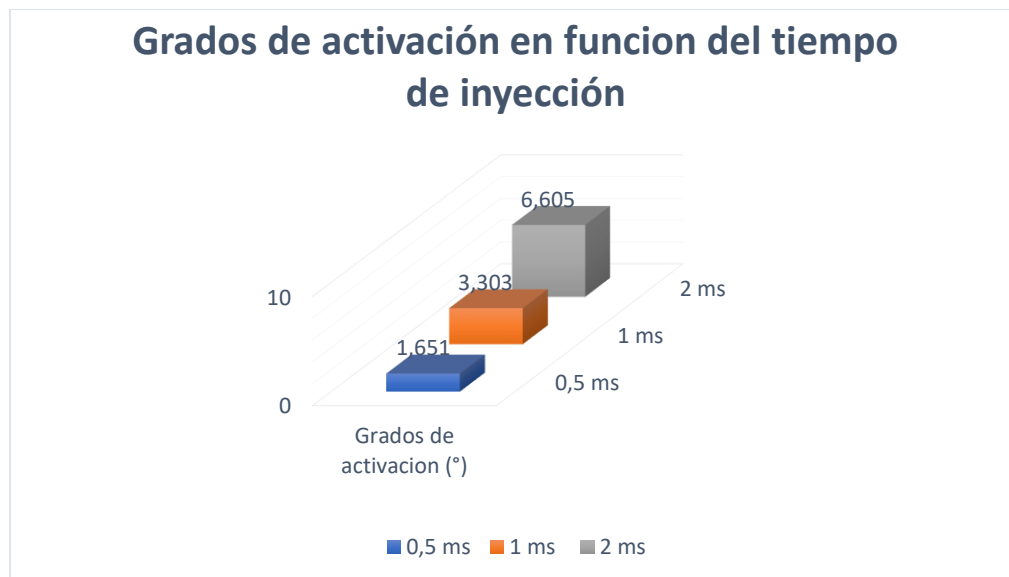
$$\text{Grado de activación}_{ti3} = \frac{2 \text{ ms} * 180^\circ}{54,5 \text{ ms}}$$

$$\text{Grado de activación}_{ti3} = 6,605^\circ$$

Tabla 27

Grados de activación en función de la variación del tiempo de inyección

Tiempo de inyección (ms)	Grados de activación (°)
0,5	1,651
1	3,303
2	6,605

**Figura 111 Grados de activación en función del tiempo de inyección**

Se visualizó que, variando el tiempo de inyección los grados de activación se incrementan de manera proporcional, independientemente de la presión de trabajo y el número de strk, dando como resultado el ángulo de 1,651° cuando se trabaja con el tiempo de inyección de 0,5 ms y el ángulo máximo de 6,605° al emplear el tiempo de inyección de 2ms.

4.6 Inyector piezoeléctrico Bosch 0445115042

El inyector piezoeléctrico Bosch 0445115042 es empleado en el jeep Land Rover Freelander II 2.2 de inyección directa usado en el sistema de riel común, equipado de un turbocompresor de geometría variable capaz de

generar 190CV de potencia y a su vez cumpliendo la norma EURO 5 de emisiones contaminantes.

4.6.1 Resultados obtenidos a 200 bar de presión de trabajo

Tabla 28

Resultados obtenidos del inyector piezoeléctrico (Land Rover Freelander) a 200 bar.

STRK	Tiempo de inyección	Tiempo de disparo	Tiempo de retención	Caudal de inyección	Caudal de retorno
	ms	ms	ms	mm ³	mm ³
300	0,5	0,5	2,31	2	-
300	1	1	2,31	6,5	1,8
300	2	2	2,32	10,4	3,3
600	0,5	0,5	2,31	6,1	2,1
600	1	1	2,31	12	3,5
600	2	2	2,32	20,1	6
850	0,5	0,5	2,31	10,5	4,9
850	1	1	2,31	19	6,9
850	2	2	2,32	30,1	10

La tabla 28 representa los datos obtenidos al desarrollar el protocolo de pruebas con 200 bar de presión, teniendo como resultado el incremento de caudal de inyección y caudal de retorno directamente proporcional al tiempo de inyección y número de strk, es decir que la cantidad inyectada en el cilindro depende necesariamente de estos parámetros.

Además se observa que el tiempo de inyección es igual al tiempo de disparo, esto debido al modo de activación de un inyector piezoeléctrico.

El tiempo de retención se mantiene para esta presión de trabajo ya que no depende de los parámetros variados en el banco de pruebas, el tiempo es 2.31 ms \pm 0.01 ms, tiempo que tarda el elemento piezoeléctrico en volver a su

estado inicial que también se lo puede denominar tiempo de retención-descarga.

Tabla 29

Resultados obtenidos del inyector piezoeléctrico (Land Rover Freelander) a 200 bar.

STRK	Tiempo de inyección	Corriente de activación	Voltaje de activación	Voltaje de retención-descarga	Grados de activación
	ms	A	V	V	°
300	0,5	18,3	161	148	1,651
300	1	18,5	163	153	3,303
300	2	18,4	162	150	6,605
600	0,5	18,3	161	148	1,651
600	1	18,5	163	153	3,303
600	2	18,4	162	150	6,605
850	0,5	18,3	161	148	1,651
850	1	18,5	163	153	3,303
850	2	18,4	162	150	6,605

Los resultados presentados en la tabla 29 muestran el aumento de grados de activación conforme se incrementa el tiempo de inyección, se obtuvo el valor de 1,651° al emplear el tiempo de 0,5 ms y el ángulo máximo de 6,605° al trabajar con el tiempo máximo permitido por el banco de 2ms.

La corriente de activación presentó el valor máximo de 18,5 A y el mínimo de 18,3A.

El voltaje máximo necesario para activar el inyector es 162 v \pm 1 (v) y el voltaje promedio de retención descarga es 150,33 v necesario para mantener el inyector abierto durante la etapa de disparo.

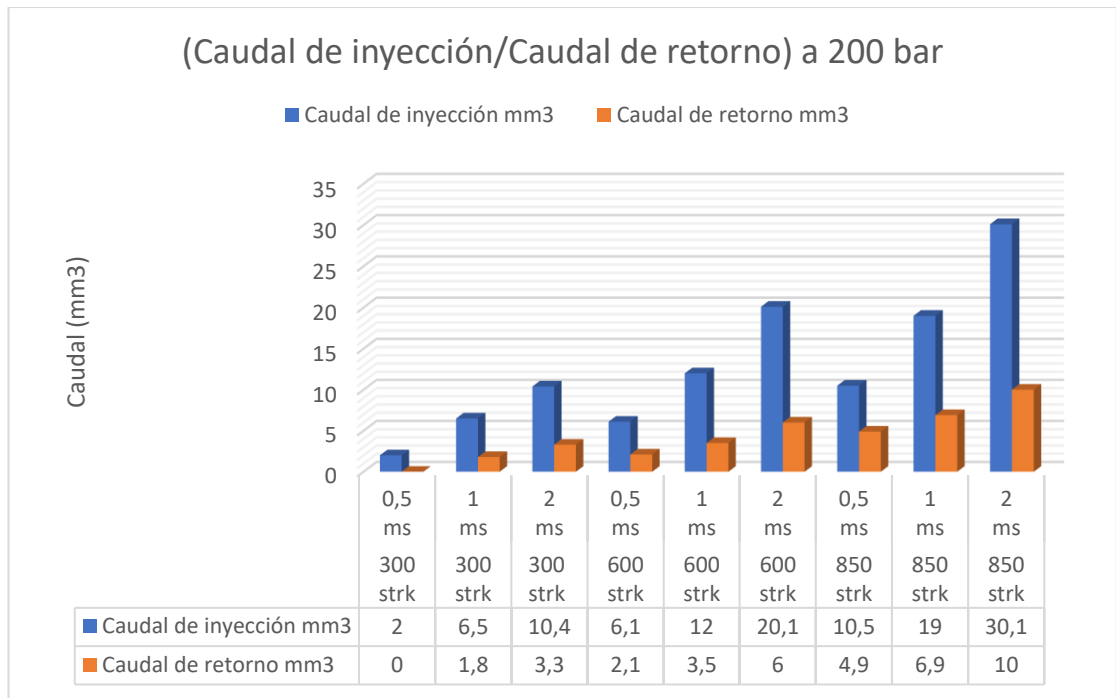


Figura 112 Caudal de inyección y retorno obtenidos a 200 bar.

La figura 112 muestra que al aumentar el tiempo de inyección y número de strk en el banco de pruebas, el volumen de caudal de inyección y retorno se incrementan, como resultado para condiciones mínimas 2 mm³ y 0 mm³ de caudal de inyección y retorno respectivamente al emplear el tiempo de 0,5 ms.

Se estableció una condición máxima de 850 strk y el tiempo de 2ms se obtuvo 30,1 mm³ y 10 mm³ de caudal de inyección y retorno respectivamente, además se verificó una relación de 3 a 1 para dicha condición de trabajo.

4.6.2 Resultados obtenidos a 400 bar de presión de trabajo

Tabla 30

Resultados obtenidos del inyector piezoeléctrico (Land Rover Freelander) a 400 bar.

STRK	Tiempo de inyección	Tiempo de disparo	Tiempo de retención	Caudal de inyección	Caudal de retorno
	ms	ms	ms	mm ³	mm ³
300	0,5	0,5	2,31	7,2	0,5
300	1	1	2,31	14	2,2
300	2	2	2,32	23	4
600	0,5	0,5	2,31	16	4,4
600	1	1	2,31	29	6,7
600	2	2	2,32	43,6	8
850	0,5	0,5	2,31	26,2	7,2
850	1	1	2,31	40	8,2
850	2	2	2,32	63,6	11,5

La tabla 30 con 400 bar de presión, teniendo el incremento de caudal de inyección y caudal de retorno directamente proporcional al tiempo de inyección y número de strk, es decir que la cantidad inyectada en el cilindro depende necesariamente de estos parámetros.

Además se observa que el tiempo de inyección es igual al tiempo de disparo, esto debido al modo de activación de un inyector piezoeléctrico.

El tiempo de retención se mantuvo para esta presión de trabajo ya que no depende de los parámetros variados en el banco de pruebas, teniendo el tiempo de 2.31 ms \pm 0.01 ms, tiempo que tarda el elemento piezoeléctrico en volver a su estado inicial que también se lo puede denominar tiempo de retención-descarga.

Tabla 31

Resultados obtenidos del inyector piezoeléctrico (Land Rover Freelander) a 400 bar.

STRK	Tiempo de inyección	Corriente de activación	Voltaje de activación	Voltaje de retención-descarga	Grados de activación
	ms	A	V	V	°
300	0,5	18,3	161	148	1,651
300	1	18,5	163	153	3,303
300	2	18,4	162	150	6,605
600	0,5	18,3	161	148	1,651
600	1	18,5	163	153	3,303
600	2	18,4	162	150	6,605
850	0,5	18,3	161	148	1,651
850	1	18,5	163	153	3,303
850	2	18,4	162	150	6,605

Los resultados presentados en la tabla 31 muestran el aumento de grados de activación conforme se incrementa el tiempo de inyección, obteniendo un valor de 1,651° al emplear un tiempo de 0,5 ms y un ángulo máximo de 6,605° al trabajar con el tiempo máximo permitido por el banco de 2ms.

La corriente de activación presentó el valor máximo de 18,5 A y el mínimo de 18,3A.

El voltaje máximo necesario para activar el inyector es de 162 v \pm 1 (v) y el voltaje promedio de retención descarga es 150,33 v voltaje necesario para mantener el inyector abierto durante la etapa de disparo.

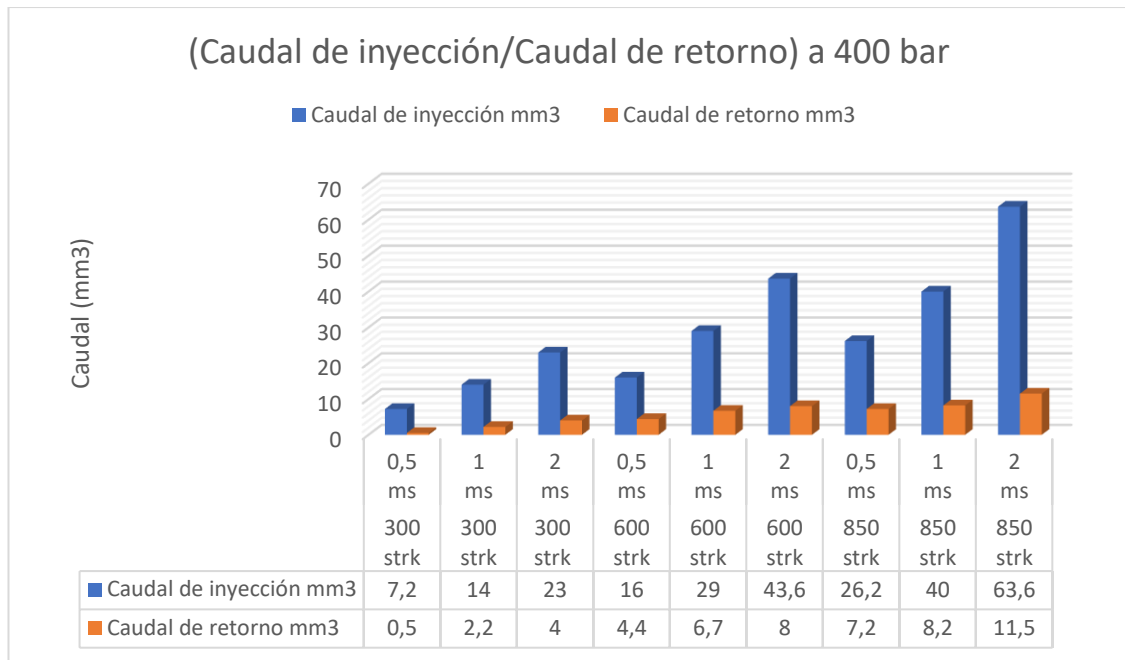


Figura 113 Caudal de inyección y retorno obtenidos a 400 bar

La figura 113 muestra que al aumentar el tiempo de inyección y número de strk en el banco de pruebas, el volumen de caudal de inyección y retorno se incrementa, dando como resultado para condiciones mínimas 7,2 mm³ y 0,5 mm³ de caudal de inyección y retorno respectivamente al emplear el tiempo de 0,5 ms.

De la misma manera al establecer una condición máxima de 850 strk y el tiempo de 2ms se obtiene 63,6 mm³ y 11,5 mm³ de caudal de inyección y retorno respectivamente.

4.6.3 Resultados obtenidos a 550 bar de presión de trabajo

Tabla 32

Resultados obtenidos del inyector piezoeléctrico (Land Rover Freelander) a 550 bar.

STRK	Tiempo de inyección	Tiempo de disparo	Tiempo de retención	Caudal de inyección	Caudal de retorno
	ms	ms	ms	mm ³	mm ³
300	0,5	0,5	2,31	11	1,2
300	1	1	2,31	17	2,7
300	2	2	2,32	31	4,9
600	0,5	0,5	2,31	21,8	4,8
600	1	1	2,31	33,2	8,2
600	2	2	2,32	61,3	10,6
850	0,5	0,5	2,31	33	8,2
850	1	1	2,31	48	10,3
850	2	2	2,32	87,2	15,2

La tabla 32 representa los datos obtenidos al desarrollar el protocolo de pruebas con 550 bar de presión, teniendo como resultado un incremento de caudal de inyección y caudal de retorno directamente proporcional al tiempo de inyección y número de strk, es decir que la cantidad inyectada en el cilindro depende necesariamente de estos parámetros.

Además se observa que el tiempo de inyección es igual al tiempo de disparo, esto debido al modo de activación de un inyector piezoeléctrico.

El tiempo de retención se mantiene para esta presión de trabajo ya que no depende de los parámetros variados en el banco de pruebas, teniendo como resultado el tiempo de 2.31 ms \pm 0.01 ms, tiempo que tarda el elemento piezoeléctrico en volver a su estado inicial que también se lo puede denominar tiempo de retención-descarga.

Tabla 33

Resultados obtenidos del inyector piezoeléctrico (Land Rover Freelander) a 550 bar.

STRK	Tiempo de inyección	Corriente de activación	Voltaje de activación	Voltaje de retención-descarga	Grados de activación
	ms	A	V	V	°
300	0,5	18,3	161	148	1,651
300	1	18,5	163	153	3,303
300	2	18,4	162	150	6,605
600	0,5	18,3	161	148	1,651
600	1	18,5	163	153	3,303
600	2	18,4	162	150	6,605
850	0,5	18,3	161	148	1,651
850	1	18,5	163	153	3,303
850	2	18,4	162	150	6,605

Los resultados presentados en la tabla 33 muestran el aumento de grados de activación conforme se incrementa el tiempo de inyección, obteniendo el valor de 1,651° al emplear el tiempo de 0,5 ms y el ángulo máximo de 6,605° al trabajar con el tiempo máximo permitido por el banco de 2ms.

La corriente de activación presentó el valor máximo de 18,5 A y el mínimo de 18,3A.

El voltaje máximo necesario para activar el inyector es de 162 v \pm 1 (v) y el voltaje promedio de retención descarga es 150,33 v voltaje necesario para mantener el inyector abierto durante la etapa de disparo.

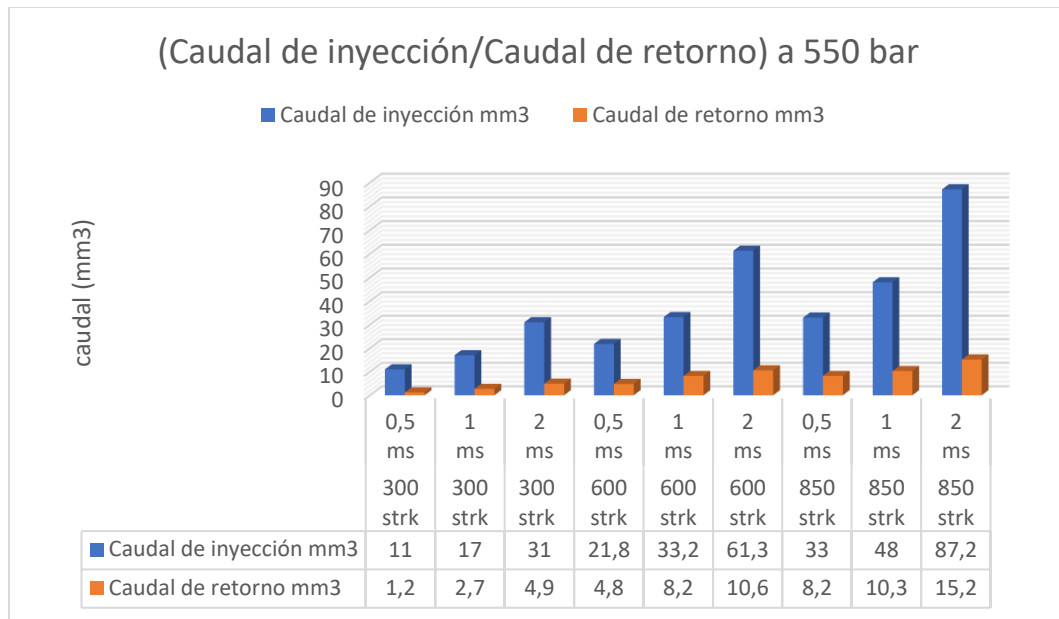


Figura 114 Caudal de inyección y retorno obtenidos a 550 bar

La figura 114 muestra que al aumentar el tiempo de inyección y número de strk en el banco de pruebas, el volumen de caudal de inyección y retorno se incrementan, dando como resultado para condiciones mínimas 11 mm³ y 1,2 mm³ de caudal de inyección y retorno respectivamente al emplear un tiempo de 0,5 ms.

De la misma manera al establecer una condición máxima de 850 strk y un tiempo de 2ms se obtiene 87,2 mm³ y 15,2 mm³ de caudal de inyección y retorno respectivamente.

4.6.4 Tiempo de inyección, tiempo de disparo, tiempo de retención

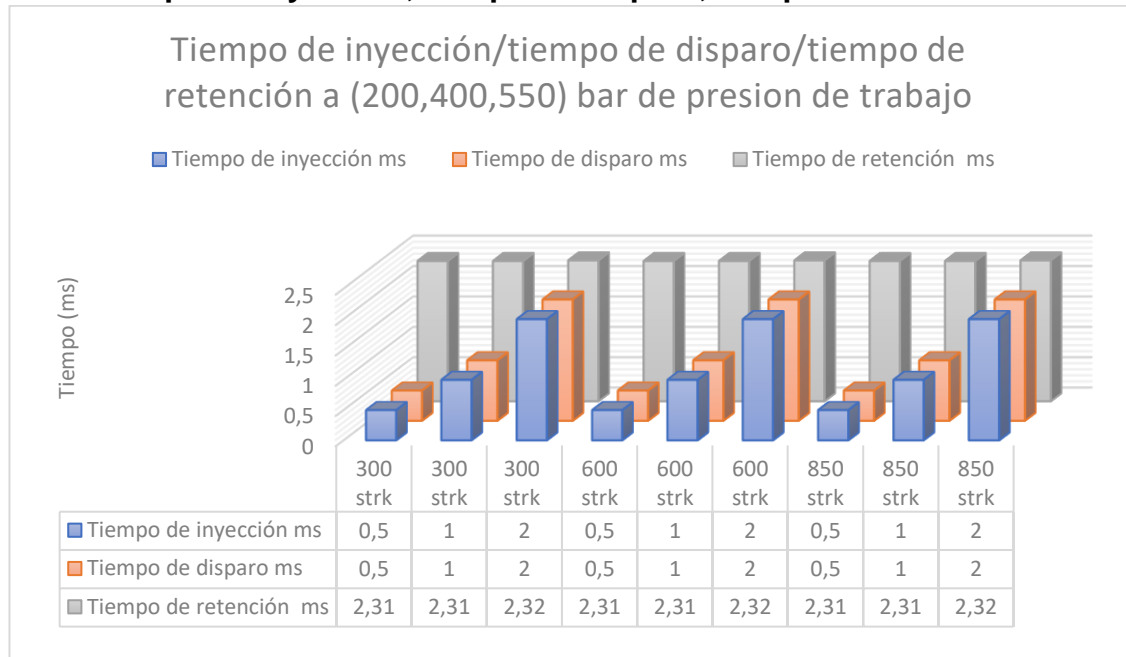


Figura 115 Tiempo de inyección disparo y retención a 200,400 y 550 bar

La figura 115 muestra el comportamiento del inyector en función del tiempo, mediante esta grafica se comprueba que el tiempo de inyección especificado en el panel del banco de pruebas es igual al tiempo de disparo, una vez que el inyector termina con la etapa de pulverización, necesita un tiempo de descarga para que el elemento piezoeléctrico vuelva a su estado inicial cerrando así el inyector, por lo que se requiere de $2,31 \text{ ms} \pm 0,01 \text{ ms}$ para que este proceso ocurra.

Estos resultados comparten las tres presiones de trabajo (200,400 y 550) bar ya que no dependen del número de strk y tiempo de inyección.

4.6.5 Voltaje de activación y descarga

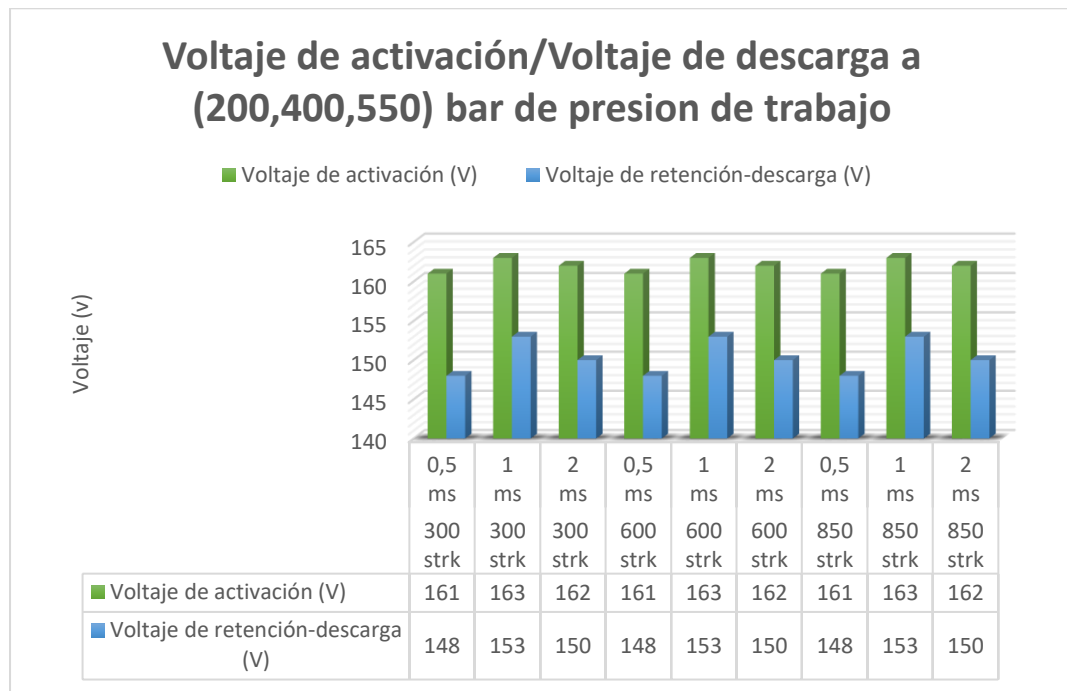


Figura 116 Voltaje de activación y descarga a 200,400 y 550 bar

La figura 116 muestra el voltaje máximo que requiere el inyector para dilatar el elemento piezoeléctrico conocido como voltaje de activación, se obtuvo un voltaje máximo de 162 voltios ± 1 v el voltaje de retención promedio de 150,33 v el cual permite que el inyector permanezca abierto durante la fase de pulverización.

Estas condiciones se mantienen durante todas las pruebas, no dependen la presión y número de strk.

4.6.6 Análisis global de caudal de inyección

Tabla 34

Caudal de inyección obtenidos del inyector piezoeléctrico (Land Rover Freelander) a 200, 400 y 550 bar variando el número de strk y tiempo de activación.

Número de strk	Tiempo de inyección ms	Caudal de Inyección		
		200 bar	400 bar	550 bar
		(mm ³)	(mm ³)	(mm ³)
300	0,5	2	7,2	11
300	1	6,5	14	17
300	2	10,4	23	31
600	0,5	6,1	16	21,8
600	1	12	29	33,2
600	2	20,1	43,6	61,3
850	0,5	10,5	26,2	33
850	1	19	40	48
850	2	30,1	63,6	87,2

La tabla 34 muestra el incremento progresivo del volumen de inyección en función del número de strk y tiempo de inyección ya que de dichos parámetros depende la cantidad de viscor depositado en las probetas de medición, estos resultados se los muestra tabulados para las diferentes presiones (200, 400, 550) bar establecida en el protocolo antes mencionado.

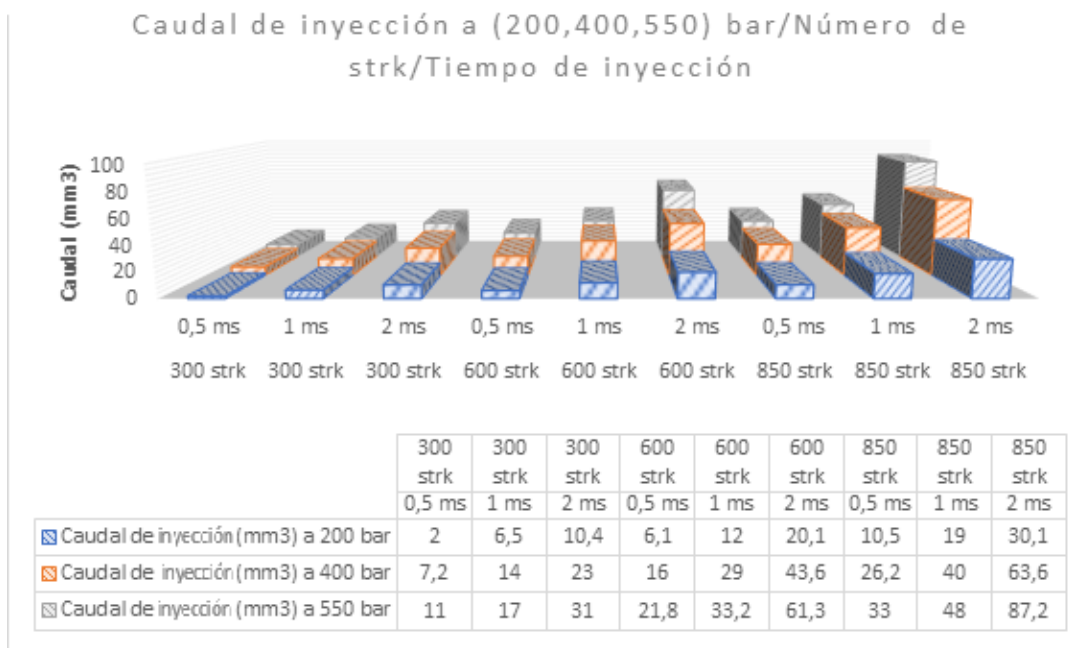


Figura 117 Caudal de inyección obtenidos del inyector piezoeléctrico (Land Rover Freelander) a 200, 400 y 550 bar variando el número de strk y tiempo de activación.

La grafica 117 muestra el incremento de volumen de inyección (mm³), se las analiza de izquierda a derecha, cada color representa una presión de trabajo y dependen del número de strk y tiempo de inyección, considerando siempre un aumento paulatino.

4.6.7 Análisis global de caudal de retorno

Tabla 35

Caudal de retorno obtenidos del inyector piezoeléctrico (Land Rover Freelander) a 200, 400 y 550 bar variando el número de strk y tiempo de activación.

Número de strk	Tiempo de inyección ms	200 bar	400 bar	550 bar
		Caudal de retorno		
		(mm ³)	(mm ³)	(mm ³)
300	0,5	0	0,5	1,2
300	1	1,8	2,2	2,7
300	2	3,3	4	4,9
600	0,5	2,1	4,4	4,8
600	1	3,5	6,7	8,2
600	2	6	8	10,6
850	0,5	4,9	7,2	8,2
850	1	6,9	8,2	10,3
850	2	10	11,5	15,2

La tabla 35 muestra el incremento progresivo del volumen de retorno en función del número de strk y tiempo de inyección ya que de estos parámetros depende la cantidad de viscor depositado en las probetas de medición, estos resultados se los muestra tabulados para las diferentes presiones (200, 400, 550) bar establecida en los protocolos antes mencionados.

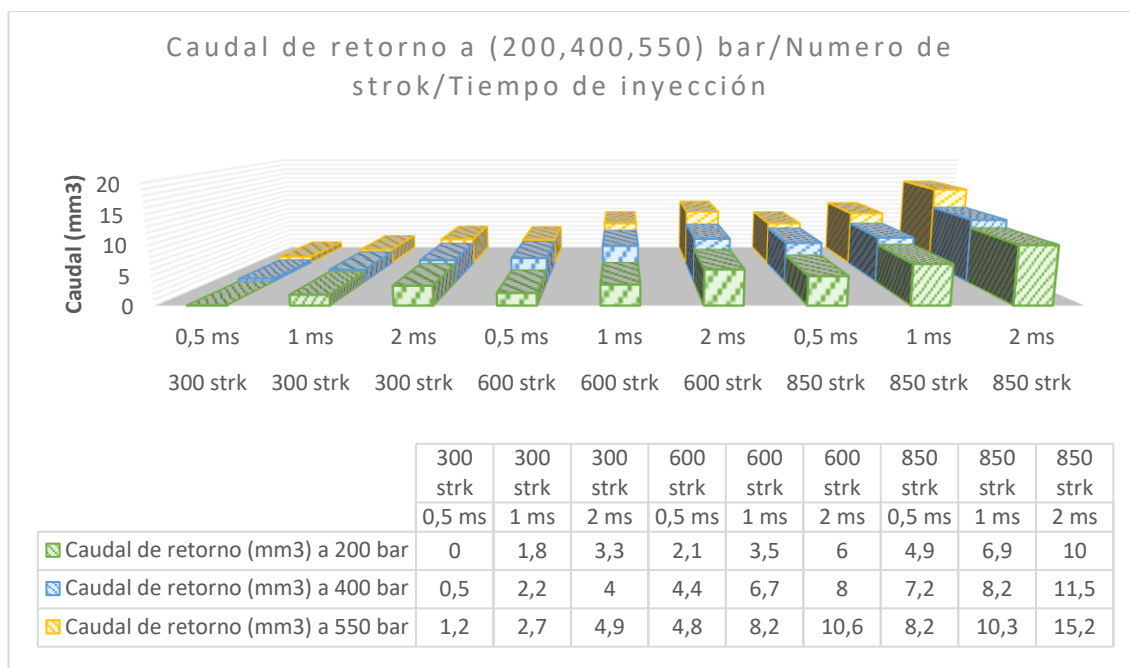


Figura 118 Caudal de retorno obtenidos del inyector piezoeléctrico (Land Rover Freelander) a 200, 400 y 550 bar variando el número de strok y tiempo de activación.

La grafica 118 muestra el incremento de volumen de retorno (mm³), se la analiza de izquierda a derecha, cada color representa una presión de trabajo y dependen del número de strok y tiempo de inyección los resultados reflejados, considerando siempre un aumento paulatino.

4.7 Inyector piezoeléctrico Bosch 0445116034

El inyector piezoeléctrico Bosch “0445116034” es empleado en el automotor Volkswagen Amarok 2.0 de tracción 4x2 con una configuración de 4 cilindros en línea, diseñado para el sistema de riel común y cumple con la norma europea EURO 5 de emisiones contaminantes.

4.7.1 Resultados obtenidos a 200 bar de presión de trabajo

Tabla 36

Resultados obtenidos del inyector piezoeléctrico (Volkswagen Amarok) a 200 bar.

STRK	Tiempo de inyección	Tiempo de disparo	Tiempo de retención	Caudal de inyección	Caudal de retorno
	ms	ms	ms	mm ³	mm ³
300	0,5	0,5	1,81	0	0
300	1	1	1,8	4	0,2
300	2	2	1,81	7	2
600	0,5	0,5	1,81	0,5	0,8
600	1	1	1,8	4,1	1,1
600	2	2	1,81	13,5	4
850	0,5	0,5	1,81	2,8	2,8
850	1	1	1,8	9,4	4,1
850	2	2	1,81	21	7

La tabla 36 representa los datos obtenidos al desarrollar el protocolo de pruebas con 200 bar de presión, teniendo como resultado un incremento de caudal de inyección y caudal de retorno directamente proporcional al tiempo de inyección y número de strk, es decir que la cantidad inyectada en el cilindro depende necesariamente de estos parámetros.

Además se observa que el tiempo de inyección es igual al tiempo de disparo, esto debido al modo de activación de un inyector piezoeléctrico.

El tiempo de retención se mantiene para esta presión de trabajo ya que no depende de los parámetros variados en el banco de pruebas, teniendo como resultado el tiempo de $1.80 \text{ ms} \pm 0.01 \text{ ms}$, tiempo que tarda el elemento piezoeléctrico en volver a su estado inicial que también se lo puede denominar tiempo de retención-descarga.

Tabla 37

Resultados obtenidos del inyector piezoeléctrico (Volkswagen Amarok) a 200 bar.

STRK	Tiempo de inyección	Corriente de activación	Voltaje de activación	Voltaje de retención-descarga	Grados de activación
	ms	A	V	V	°
300	0,5	18,2	157	144	1,651
300	1	18,2	157	146	3,303
300	2	18,3	158	147	6,605
600	0,5	18,2	157	144	1,651
600	1	18,2	157	146	3,303
600	2	18,3	158	147	6,605
850	0,5	18,2	157	144	1,651
850	1	18,2	157	146	3,303
850	2	18,3	158	147	6,605

Los resultados presentados en la tabla 37 muestran el aumento de grados de activación conforme se incrementa el tiempo de inyección, obteniendo el valor de 1,651° al emplear el tiempo de 0,5 ms y el ángulo máximo de 6,605° al trabajar con el tiempo máximo permitido por el banco de 2ms.

La corriente de activación presentó el valor máximo de 18,3 A y el mínimo de 18,2A.

El voltaje máximo necesario para activar el inyector es de 158 v \pm 1 (v) y el voltaje promedio de retención descarga es 145,67 v voltaje necesario para mantener el inyector abierto durante la etapa de disparo.

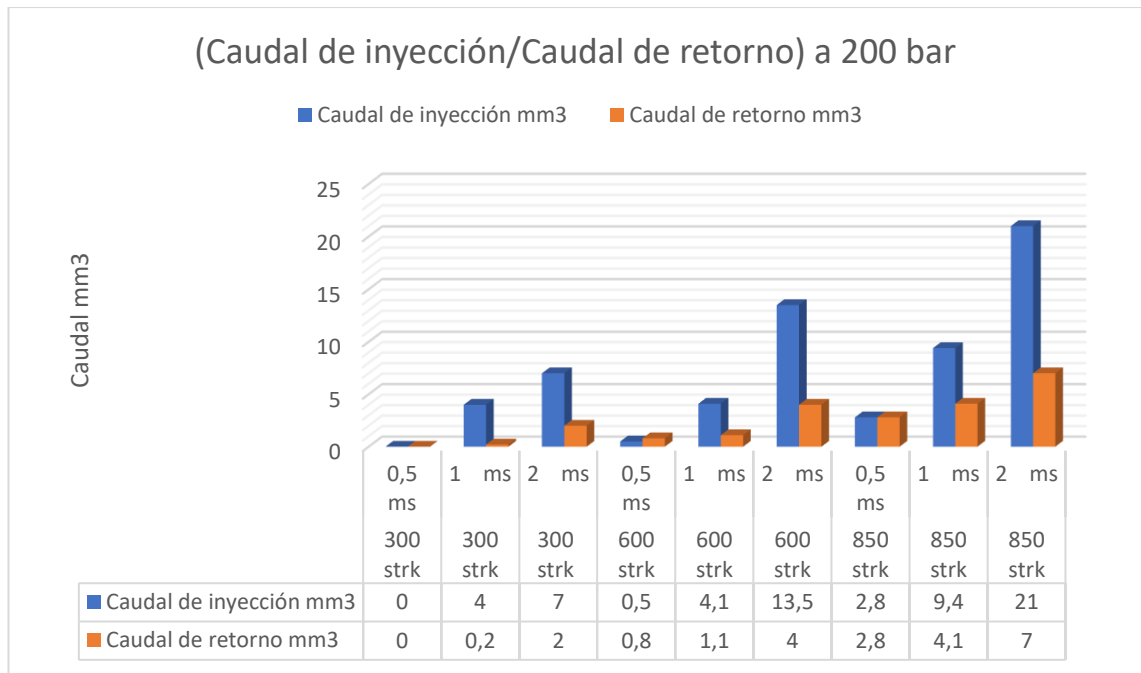


Figura 119 Caudal de inyección y retorno obtenidos a 200 bar.

La figura 119 muestra que al aumentar el tiempo de inyección y número de strk en el banco de pruebas, el volumen de caudal de inyección y retorno se incrementan, dando como resultado para condiciones mínimas de 300 strk 0 mm³ y 0 mm³ de caudal de inyección y retorno respectivamente al emplear el tiempo de 0,5 ms.

De la misma manera al establecer una condición máxima de 850 strk y el tiempo de 2ms se obtiene 21 mm³ y 7 mm³ de caudal de inyección y retorno respectivamente verificando una relación de 3 a 1 para esta condición de trabajo.

4.7.2 Resultados obtenidos a 400 bar de presión de trabajo

Tabla 38

Resultados obtenidos del inyector piezoeléctrico (Volkswagen Amarok) a 400 bar.

STRK	Tiempo de inyección	Tiempo de disparo	Tiempo de retención	Caudal de inyección	Caudal de retorno
	ms	ms	ms	mm ³	mm ³
300	0,5	0,5	1,81	6	0
300	1	1	1,8	12,2	1
300	2	2	1,81	22	3
600	0,5	0,5	1,81	12,5	2,5
600	1	1	1,8	22,6	4
600	2	2	1,81	41,2	5,9
850	0,5	0,5	1,81	19,3	4,6
850	1	1	1,8	30,4	4,1
850	2	2	1,81	59,2	8,2

La tabla 38 representa los datos obtenidos al desarrollar el protocolo de pruebas con 400 bar de presión, teniendo como resultado un incremento de caudal de inyección y caudal de retorno directamente proporcional al tiempo de inyección y número de strk, es decir que la cantidad inyectada en el cilindro depende necesariamente de estos parámetros.

Además se observa que el tiempo de inyección es igual al tiempo de disparo, esto debido al modo de activación de un inyector piezoeléctrico.

El tiempo de retención se mantiene para esta presión de trabajo ya que no depende de los parámetros variados en el banco de pruebas, teniendo como resultado el tiempo de $1.80 \text{ ms} \pm 0.01 \text{ ms}$, tiempo que tarda el elemento piezoeléctrico en volver a su estado inicial que también se lo puede denominar tiempo de retención-descarga.

Tabla 39

Resultados obtenidos del inyector piezoeléctrico (Volkswagen Amarok) a 400 bar.

STRK	Tiempo de inyección	Corriente de activación	Voltaje de activación	Voltaje de retención-descarga	Grados de activación
	ms	A	V	V	°
300	0,5	18,2	157	144	1,651
300	1	18,2	157	146	3,303
300	2	18,3	158	147	6,605
600	0,5	18,2	157	144	1,651
600	1	18,2	157	146	3,303
600	2	18,3	158	147	6,605
850	0,5	18,2	157	144	1,651
850	1	18,2	157	146	3,303
850	2	18,3	158	147	6,605

Los resultados presentados en la tabla 39 muestran el aumento de grados de activación conforme se incrementa el tiempo de inyección, obteniendo el valor de 1,651° al emplear el tiempo de 0,5 ms y el ángulo máximo de 6,605° al trabajar con el tiempo máximo permitido por el banco de 2ms.

La corriente de activación presentó el valor máximo de 18,3 A y el mínimo de 18,2A.

El voltaje máximo necesario para activar el inyector es de 158 v \pm 1 (v) y el voltaje promedio de retención descarga es 145,67 v voltaje necesario para mantener el inyector abierto durante la etapa de disparo.

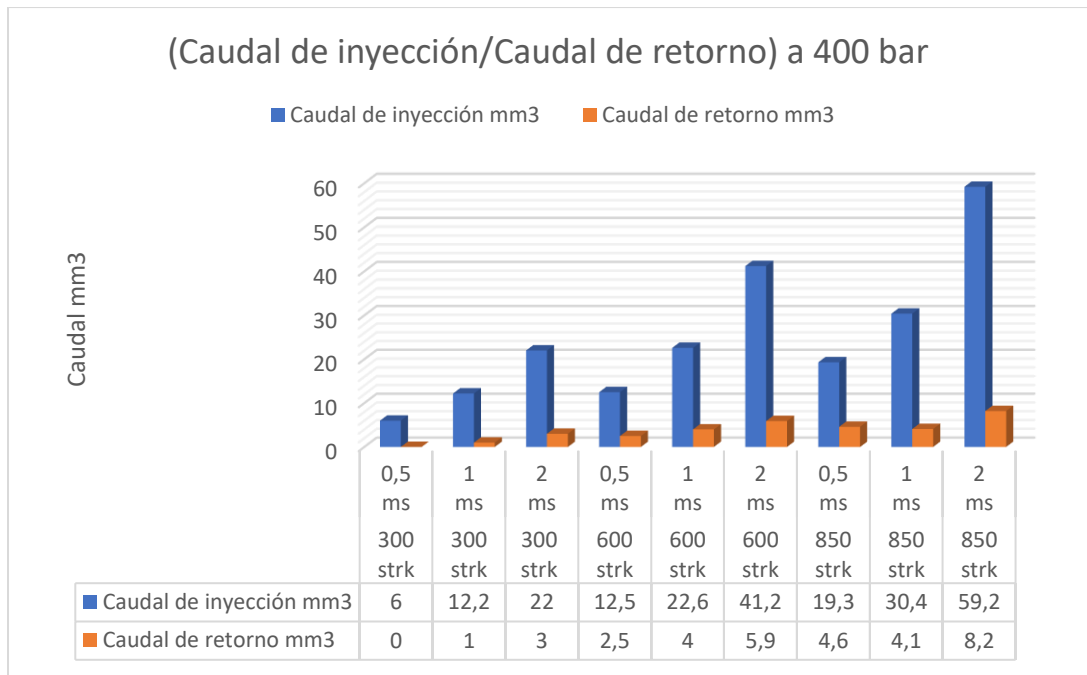


Figura 120 Caudal de inyección y retorno obtenidos a 400 bar.

La figura 120 muestra que al aumentar el tiempo de inyección y número de strk en el banco de pruebas, el volumen de caudal de inyección y retorno se incrementan, dando como resultado para condiciones mínimas de 300 strk 6 mm³ y 0 mm³ de caudal de inyección y retorno respectivamente al emplear un tiempo de 0,5 ms.

De la misma manera al establecer una condición máxima de 850 strk y un tiempo de 2ms se obtiene 59,2 mm³ y 8,2 mm³ de caudal de inyección y retorno respectivamente.

4.7.3 Resultados obtenidos a 550 bar de presión de trabajo

Tabla 40

Resultados obtenidos del inyector piezoeléctrico (Volkswagen Amarok) a 550 bar.

STRK	Tiempo de inyección	Tiempo de disparo	Tiempo de retención	Caudal de inyección	Caudal de retorno
	ms	ms	ms	mm ³	mm ³
300	0,5	0,5	1,81	7,8	0
300	1	1	1,8	11,9	1
300	2	2	1,81	31	4
600	0,5	0,5	1,81	15	2,2
600	1	1	1,8	28,9	4,8
600	2	2	1,81	61,2	8,3
850	0,5	0,5	1,81	23,8	5
850	1	1	1,8	38,9	5,4
850	2	2	1,81	88,4	12,1

La tabla 40 representa los datos obtenidos al desarrollar el protocolo de pruebas con 550 bar de presión, teniendo como resultado un incremento de caudal de inyección y caudal de retorno directamente proporcional al tiempo de inyección y número de strk, es decir que la cantidad inyectada en el cilindro depende necesariamente de estos parámetros.

Además se observa que el tiempo de inyección es igual al tiempo de disparo, esto debido al modo de activación de un inyector piezoeléctrico.

El tiempo de retención se mantiene para esta presión de trabajo ya que no depende de los parámetros variados en el banco de pruebas, teniendo como resultado el tiempo de $1.80 \text{ ms} \pm 0.01 \text{ ms}$, tiempo que tarda el elemento piezoeléctrico en volver a su estado inicial que también se lo puede denominar tiempo de retención-descarga.

Tabla 41

Resultados obtenidos del inyector piezoeléctrico (Volkswagen Amarok) a 550 bar.

STRK	Tiempo de inyección	Corriente de activación	Voltaje de activación	Voltaje de retención-descarga	Grados de activación
	ms	A	V	V	°
300	0,5	18,2	157	144	1,651
300	1	18,2	157	146	3,303
300	2	18,3	158	147	6,605
600	0,5	18,2	157	144	1,651
600	1	18,2	157	146	3,303
600	2	18,3	158	147	6,605
850	0,5	18,2	157	144	1,651
850	1	18,2	157	146	3,303
850	2	18,3	158	147	6,605

Los resultados presentados en la tabla 41 muestran el aumento de grados de activación conforme se incrementa el tiempo de inyección, obteniendo el valor de 1,651° al emplear el tiempo de 0,5 ms y el ángulo máximo de 6,605° al trabajar con el tiempo máximo permitido por el banco de 2ms.

La corriente de activación presentó una ligera variación, reflejando el valor máximo de 18,3 A y el mínimo de 18,2A.

El voltaje máximo necesario para activar el inyector es de 158 v \pm 1 (v) y el voltaje promedio de retención descarga es 145,67 v voltaje necesario para mantener el inyector abierto durante la etapa de disparo.

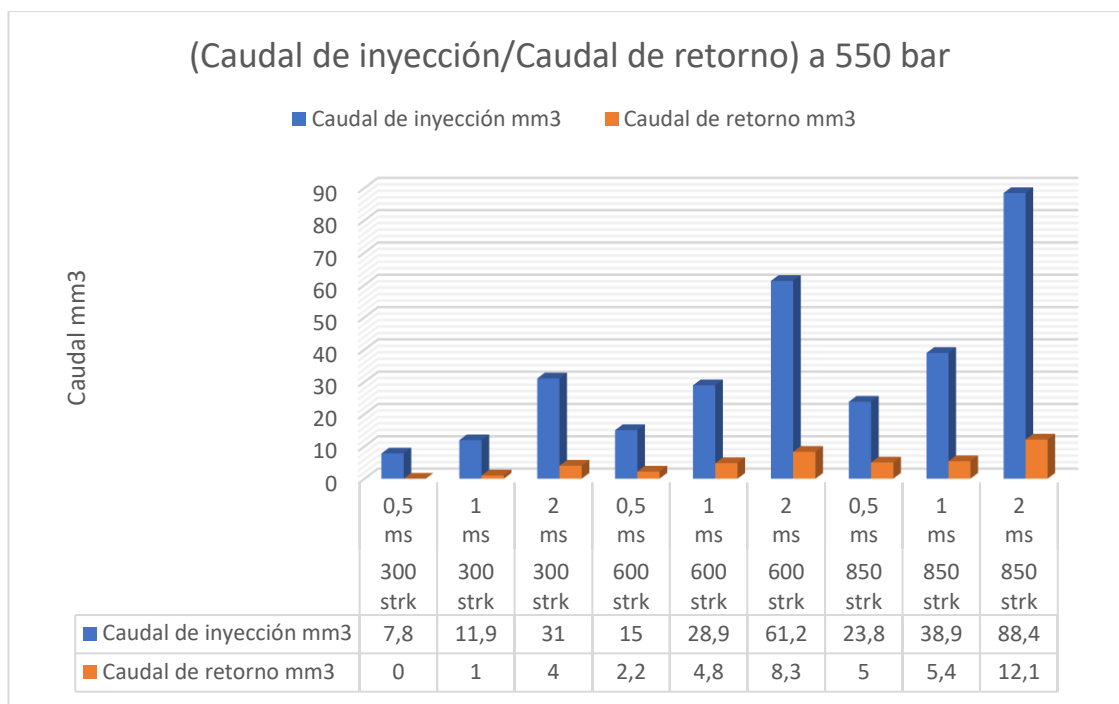


Figura 121 Caudal de inyección y retorno obtenidos a 550 bar.

La figura 121 muestra que al aumentar el tiempo de inyección y número de strk en el banco de pruebas, el volumen de caudal de inyección y retorno se incrementan, dando como resultado para condiciones mínimas de 300 strk 7,8 mm³ y 0 mm³ de caudal de inyección y retorno respectivamente al emplear un tiempo de 0,5 ms.

De la misma manera al establecer una condición máxima de 850 strk y un tiempo de 2ms se obtiene 88,4 mm³ y 12,1 mm³ de caudal de inyección y retorno respectivamente.

4.7.4 Tiempo de inyección, tiempo de disparo, tiempo de retención

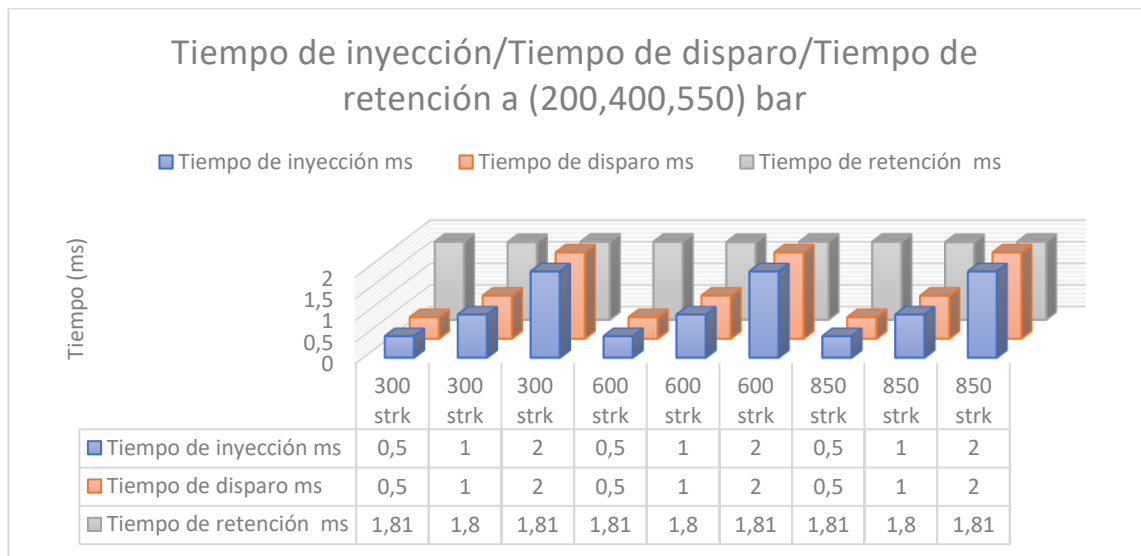


Figura 122 Tiempo de inyección disparo y retención a 200,400 y 550 bar

La figura 122 muestra el comportamiento del inyector en función del tiempo, mediante esta grafica se comprueba que el tiempo de inyección especificado en el panel del banco de pruebas es igual al tiempo de disparo, una vez que el inyector termina con la etapa de pulverización, necesita un tiempo de descarga para que el elemento piezoeléctrico vuelva a su estado inicial cerrando así el inyector, por lo que se requiere de $1,81 \text{ ms} \pm 0,01 \text{ ms}$ para que este proceso ocurra.

Estos resultados comparten las tres presiones de trabajo (200,400 y 550) bar ya que no dependen del número de strk y tiempo de inyección.

4.7.5 Voltaje de activación y descarga

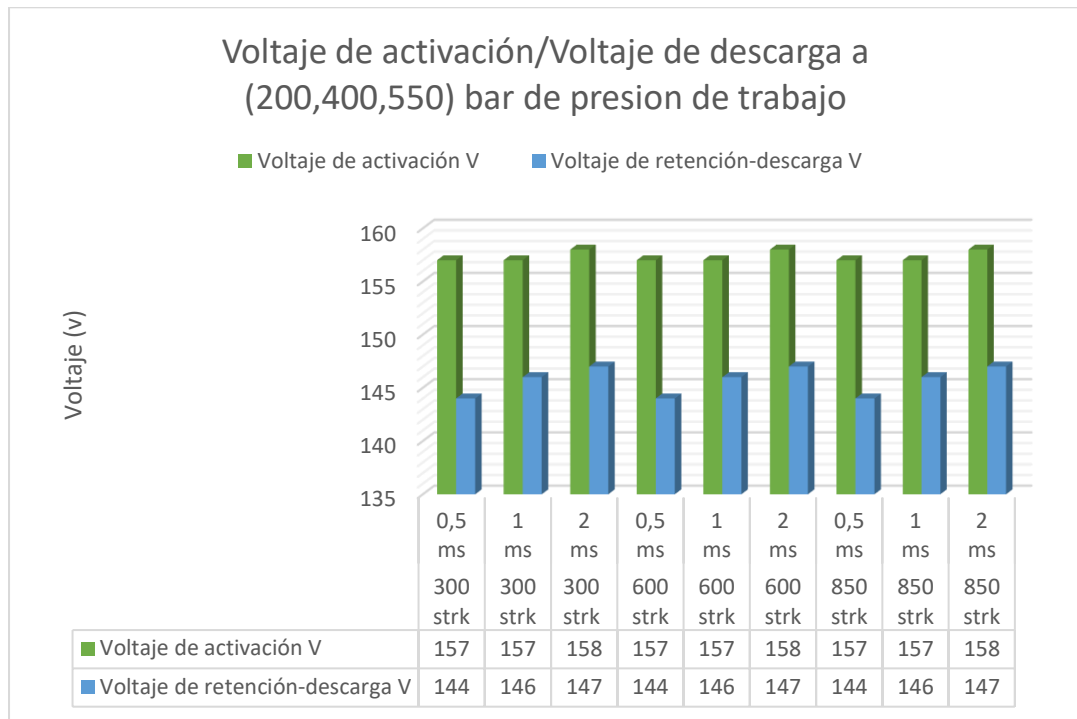


Figura 123 Voltaje de activación y descarga a 200,400 y550 bar

La figura 123 muestra el voltaje máximo que requiere el inyector para dilatar el elemento piezoeléctrico conocido como voltaje de activación, se obtuvo el voltaje máximo de 158 voltios ± 1 v y el voltaje de retención promedio de 145,67 v el cual permite que el inyector permanezca abierto durante la fase de pulverización.

Estas condiciones se mantienen durante todas las pruebas, no dependen la presión y número de strk.

4.7.5 Análisis global del caudal de inyección

Tabla 42

Caudal de inyección obtenidos del inyector piezoeléctrico (Volkswagen Amarok) a 200, 400 y 550 bar variando el número de strk y tiempo de activación.

Numero de strk	Tiempo de inyección de ms	200 bar	400 bar	550 bar
		Caudal de Inyección		
		(mm ³)	(mm ³)	(mm ³)
300	0,5	0	6	7,8
300	1	4	12,2	11,9
300	2	7	22	31
600	0,5	0,5	12,5	15
600	1	4,1	22,6	28,9
600	2	13,5	41,2	61,2
850	0,5	2,8	19,3	23,8
850	1	9,4	30,4	38,9
850	2	21	59,2	88,4

La tabla 42 muestra el incremento progresivo del volumen de inyección en función del número de strk y tiempo de inyección ya que de estos parámetros depende la cantidad de viscor depositado en las probetas de medición, estos resultados se los muestra tabulados para las diferentes presiones (200, 400, 550) bar establecida en los protocolos antes mencionados

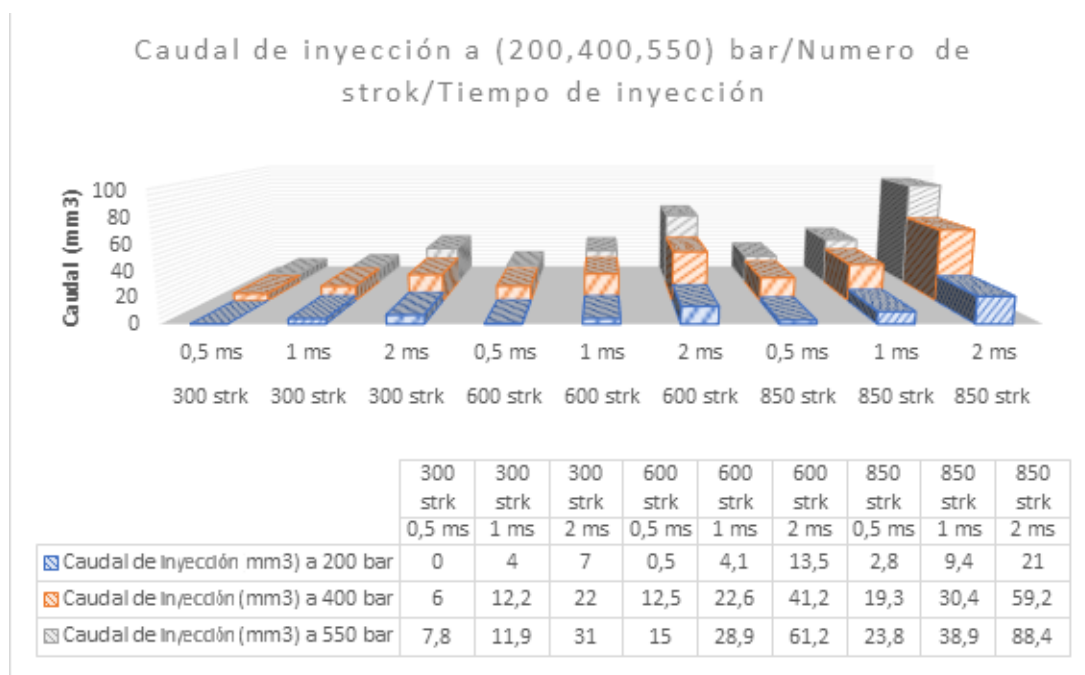


Figura 124 Caudal de inyección obtenidos del inyector piezoeléctrico (Volkswagen Amarok) a 200, 400 y 550 bar variando el número de strok y tiempo de activación.

La grafica 124 muestra el incremento de volumen de inyección (mm³), se las analiza de izquierda a derecha, cada color representa una presión de trabajo y dependen del número de strok y tiempo de inyección, considerando siempre un aumento paulatino.

4.7.6 Análisis global del caudal de retorno.

Tabla 43

Caudal de retorno obtenidos del inyector piezoeléctrico (Volkswagen Amarok) a 200, 400 y 550 bar variando el número de strk y tiempo de activación.

Presión		200 bar	400 bar	550 bar
Numero de strk	Tiempo	Caudal de retorno		
	de inyección	(mm ³)	(mm ³)	(mm ³)
strk	ms			
300	0,5	0	0	0
300	1	0,2	1	1
300	2	2	3	4
600	0,5	0,8	2,5	2,2
600	1	1,1	4	4,8
600	2	4	5,9	8,3
850	0,5	2,8	4,6	5
850	1	4,1	4,1	5,4
850	2	7	8,2	12,1

La tabla 43 muestra el incremento progresivo del volumen de retorno en función del número de strk y tiempo de inyección ya que de estos parámetros depende la cantidad de viscor depositado en las probetas de medición, estos resultados se los muestra tabulados para las diferentes presiones (200, 400, 550) bar establecida en los protocolos antes mencionados.

Además se visualiza que trabajando con el tiempo de inyección de 0,5 ms, una presión mínima de trabajo y reducidos número de strk el caudal de retorno recolectado es inapreciable.

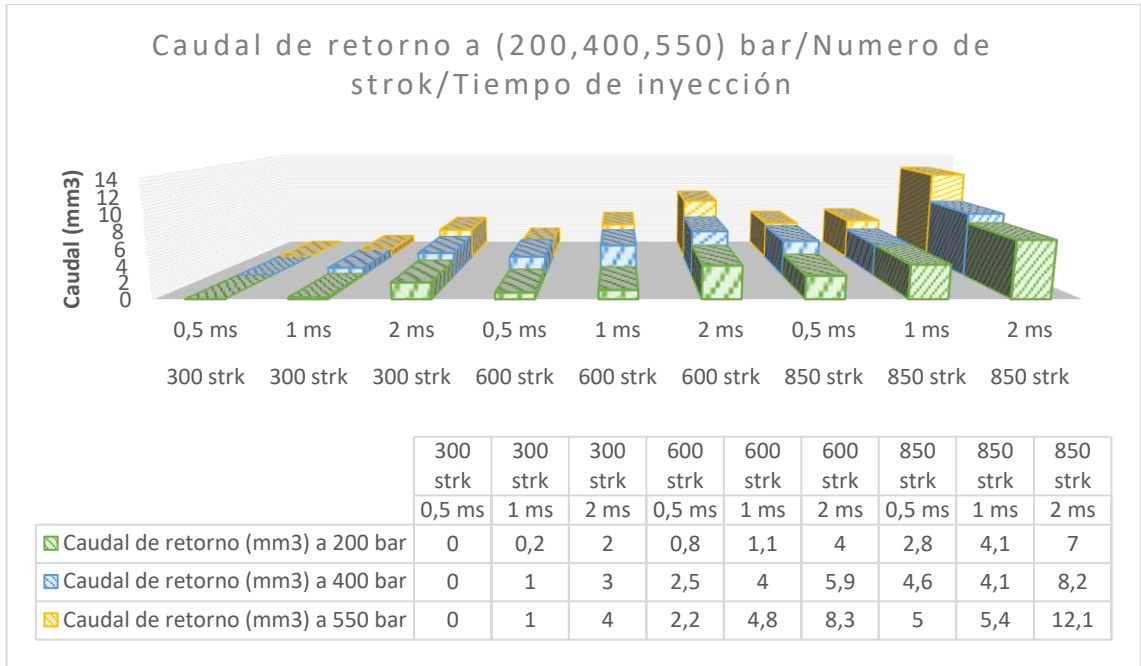


Figura 125 Caudal de retorno obtenidos del inyector piezoeléctrico (Volkswagen Amarok) a 200, 400 y 550 bar variando el número de strk y tiempo de activación.

La grafica 125 muestra el incremento de volumen de retorno (mm³), se la analiza de izquierda a derecha, cada color representa una presión de trabajo y dependen del número de strk y tiempo de inyección los resultados reflejados, considerando siempre un aumento paulatino.

4.8 Oscilogramas de voltaje y corriente del inyector piezoeléctrico

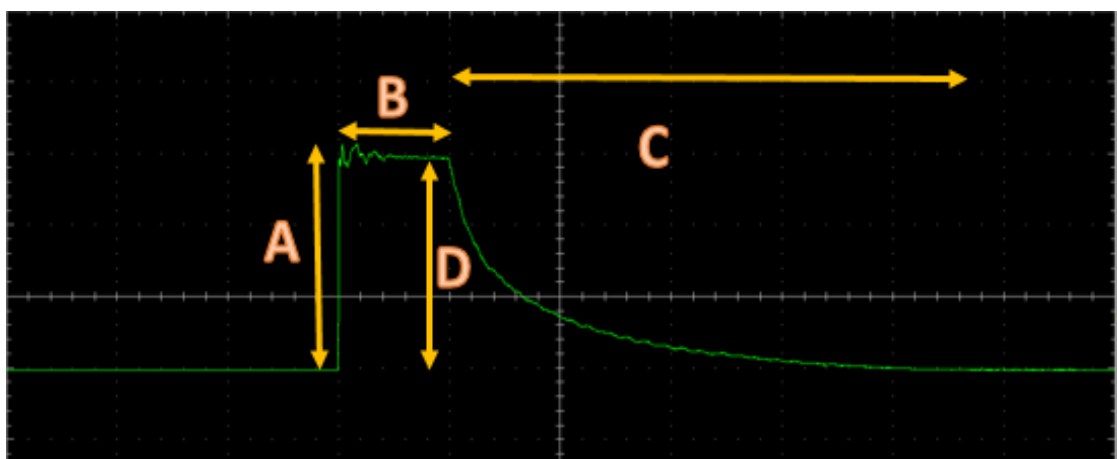


Figura 126 Oscilograma de voltaje del inyector piezoeléctrico

El oscilograma de voltaje del inyector piezoeléctrico cuenta con una serie de parámetros que se especifica de la siguiente manera:

(A) Es el voltaje de activación del inyector piezoeléctrico. Se debe multiplicar por diez debido a la escala de las puntas de osciloscopio.

(B) Representa el tiempo de disparo y es igual al tiempo de inyección por tratarse de un inyector piezoeléctrico

(C) Simboliza el tiempo de retención-descarga

(D) Es el voltaje de retención-descarga. Se debe multiplicar por diez debido a la escala de las puntas de osciloscopio.

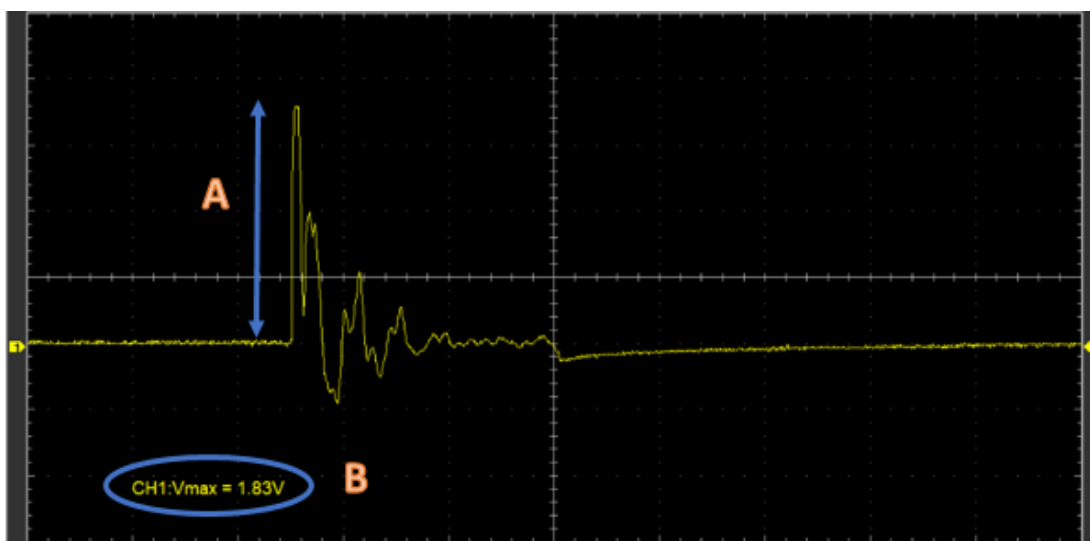


Figura 127 Oscilograma de corriente del inyector piezoeléctrico

El oscilograma de corriente del inyector piezoeléctrico cuenta con una serie de parámetros que se especifica de la siguiente manera:

(A) Es la corriente de activación del inyector piezoeléctrico

(B) Representa la corriente de activación del oscilograma, este valor se lo transforma de acuerdo a la escala elegida en el protocolo de pruebas 100 mv/A para poder tenerla en unidades de corriente.

Tanto el oscilograma de voltaje como el de corriente en un inyector piezoeléctrico comparten los mismos parámetros, teniendo como única diferencia el tiempo de inyección o disparo que serán apreciables en los resultados posteriores.

4.9 Oscilogramas de voltaje y corriente del inyector piezoeléctrico Land Rover Freelander 0445115042

La calibración para el oscilograma de voltaje se la especificó: el tiempo de 500us en el eje de las “x” o abscisas y el voltaje de 5V en el eje de las “y” u ordenadas. Estos parámetros en todas las pruebas de voltaje.

La calibración para el oscilograma de corriente se la especificó: el tiempo de 200us y 500 us en el eje de las “x” o abscisas y el voltaje de 500 mV en el eje de las “y” u ordenadas de corriente. Estos parámetros en todas las pruebas de corriente respectivamente.

4.9.1 Oscilogramas de voltaje y corriente del inyector Land Rover Freelander 0445115042 con un tiempo de inyección de 0,5 ms.

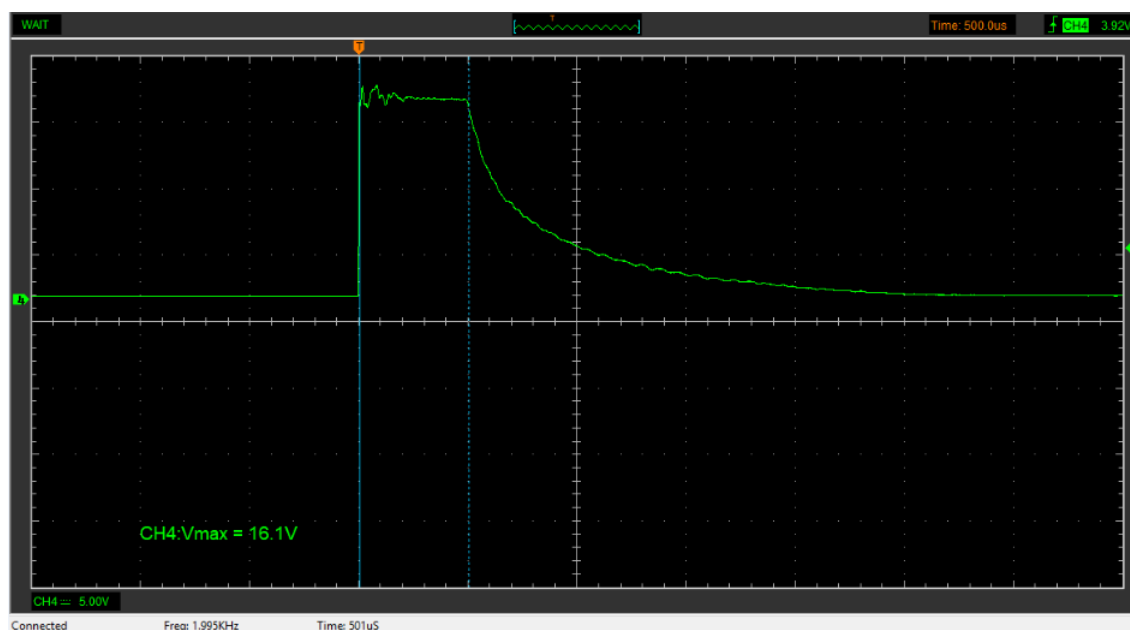


Figura 128 Oscilograma de voltaje para un tiempo de inyección de 0,5 ms

En la figura 128 el valor del voltaje de activación en el oscilograma es de 161 V y que no varía al cambiar los parámetros de presión del banco de pruebas, pulsos de inyección.

El tiempo de disparo es de 501 us lo que concuerda con los análisis anteriores; es decir, es igual al tiempo de inyección en este caso de 0,5 ms.

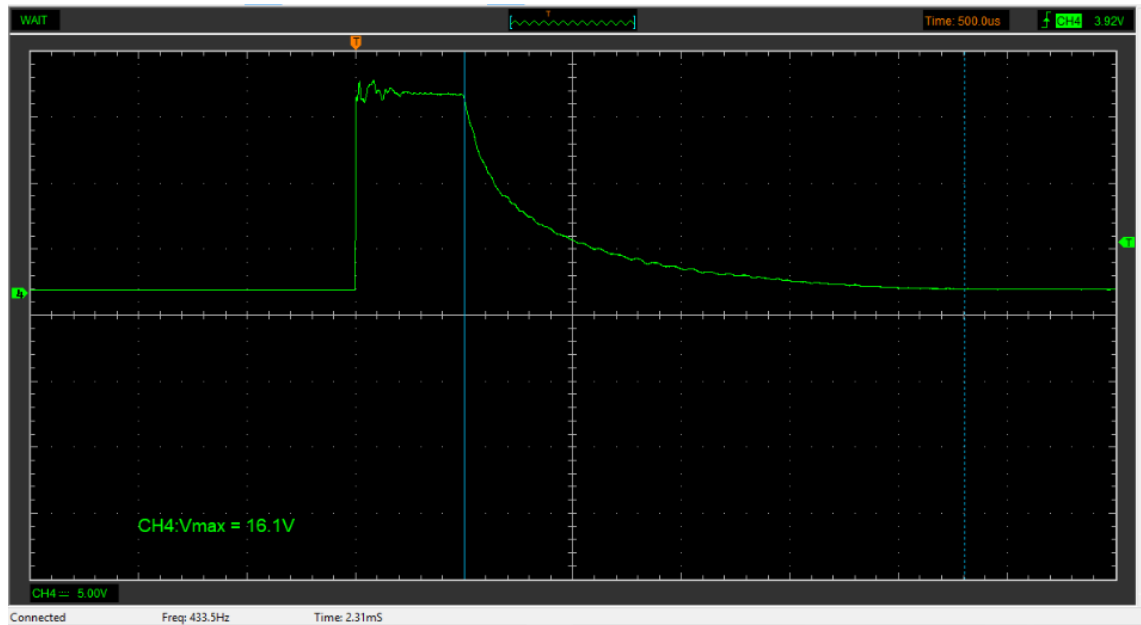


Figura 129 Oscilograma de voltaje para un tiempo de inyección de 0,5 ms

En la figura 129 el valor del tiempo de retención-descarga es de 2,31 ms.

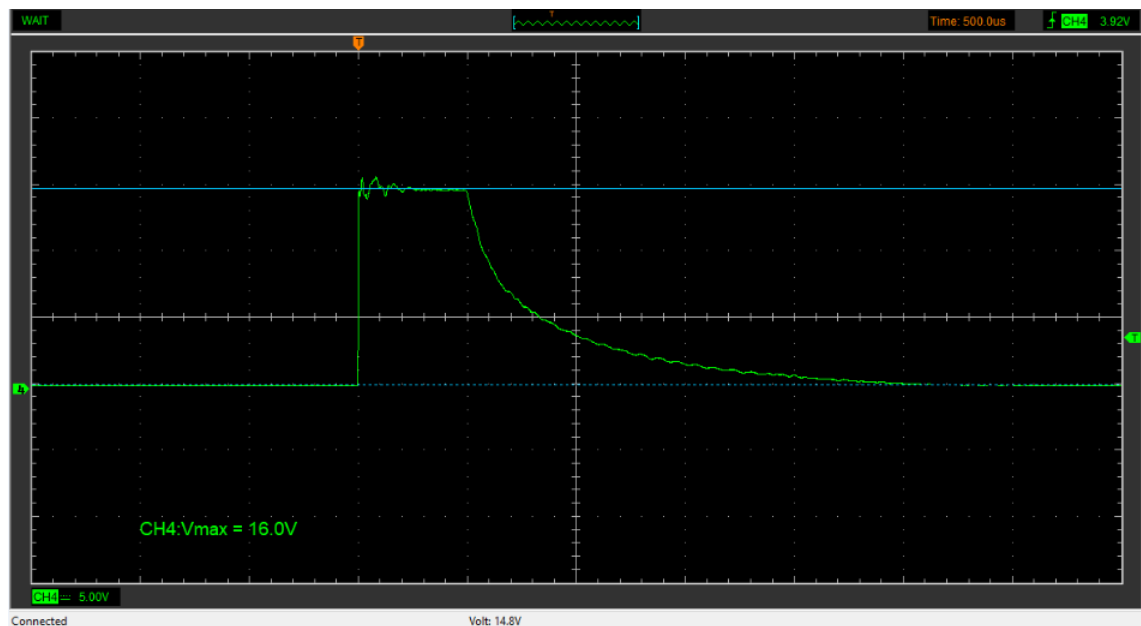


Figura 130 Oscilograma de voltaje para un tiempo de inyección de 0,5 ms

En la figura 130 el valor del voltaje de retención-descarga es de 148 V.

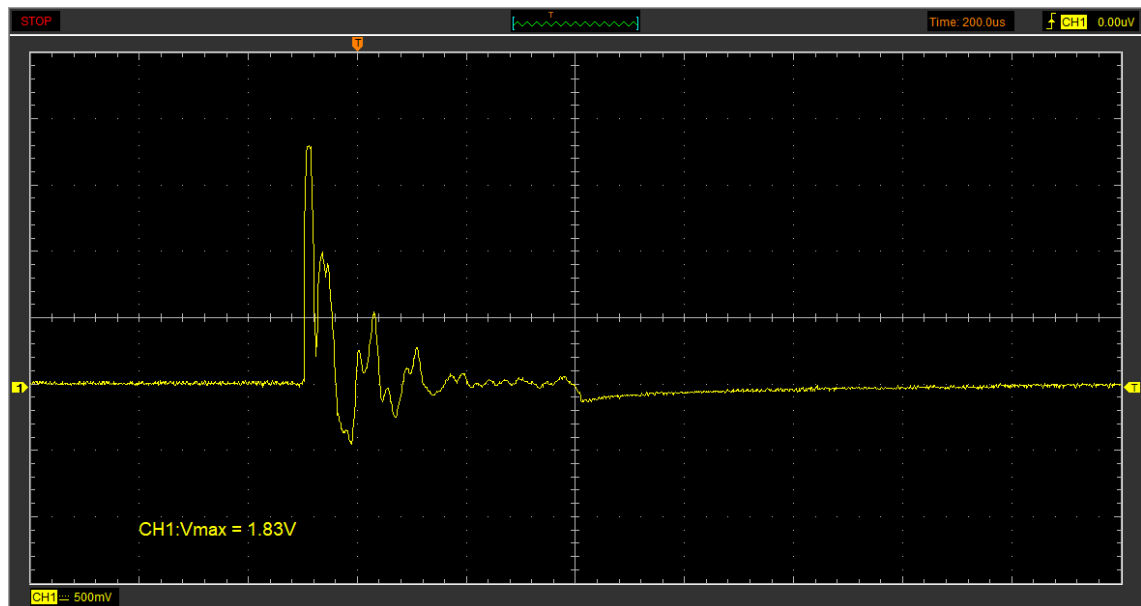


Figura 131 Oscilograma de corriente para un tiempo de inyección de 0,5 ms

En la figura 131 se obtuvo el voltaje de activación de 1,83 V que al transformarlo con la escala el valor de la corriente de activación es de 18,3 A.

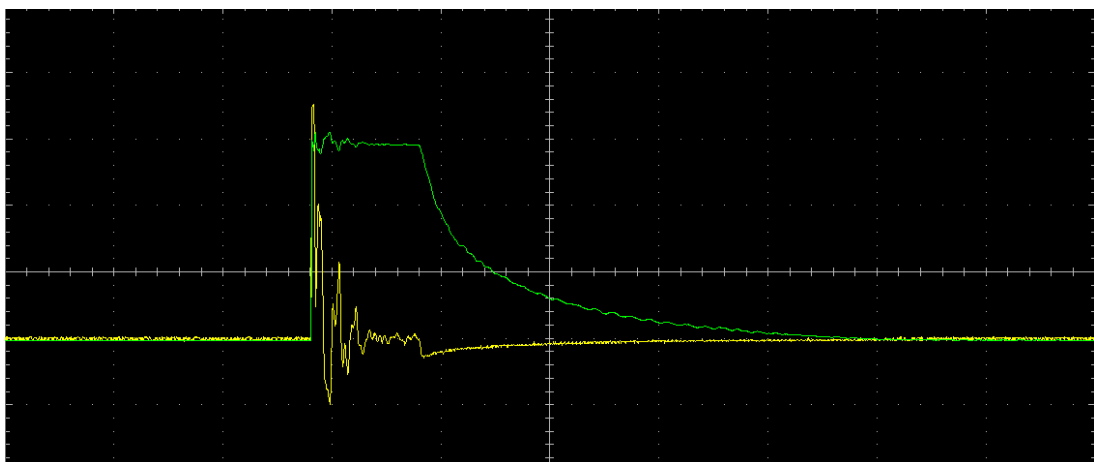


Figura 132 Oscilograma de voltaje y corriente para un tiempo de inyección de 0,5 ms

En la figura 132 se visualiza la activación simultánea del oscilograma de voltaje y de corriente. El pico de voltaje de activación entre las dos señales se aproxima. Al terminar el tiempo de disparo descienden en la zona de retención-descarga y finalmente terminan la inyección manteniéndose las señales.

4.9.2 Oscilogramas de voltaje y corriente del inyector Land Rover Freelander 0445115042 con un tiempo de inyección de 1 ms.

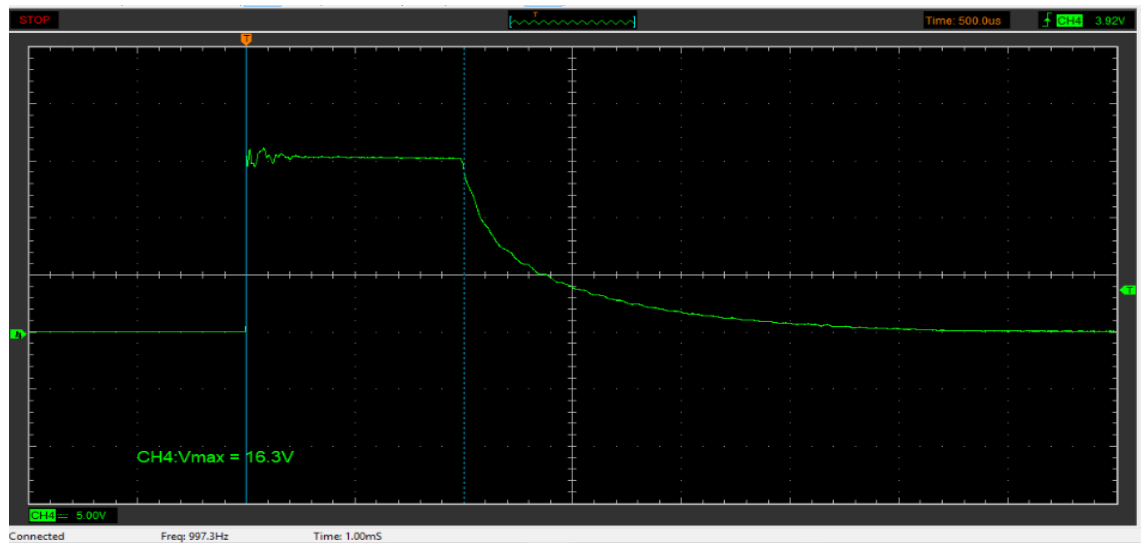


Figura 133 Oscilograma de voltaje para un tiempo de inyección de 1 ms

En la figura 133 el valor del voltaje de activación en el oscilograma es de 163 V y que no varía al cambiar los parámetros de presión del banco de pruebas, pulsos de inyección.

El tiempo de disparo es más prolongado es de 1 ms lo que concuerda con los análisis anteriores; es decir, es igual al tiempo de inyección en este caso de 1 ms.

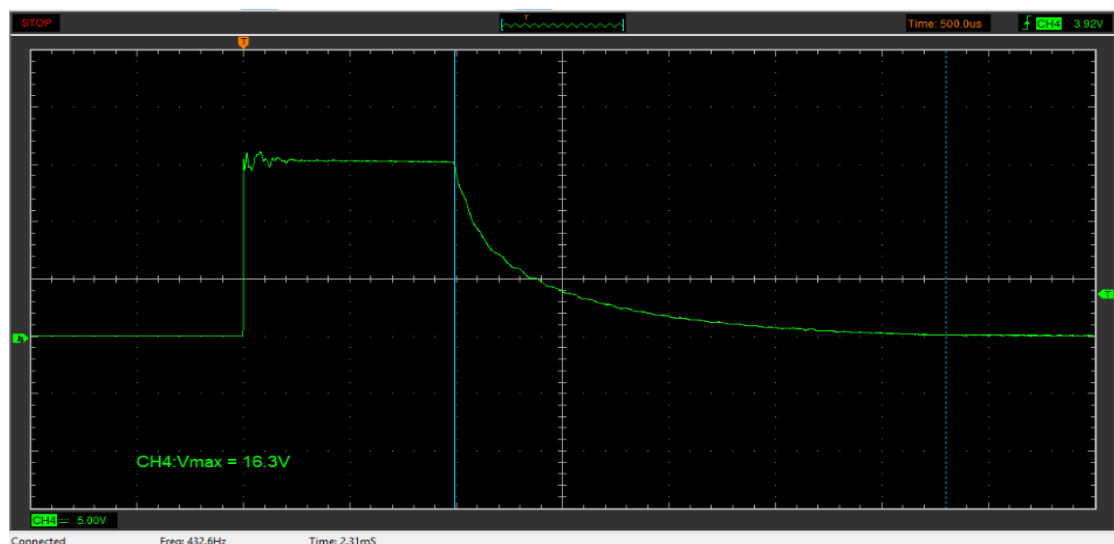


Figura 134 Oscilograma de voltaje para un tiempo de inyección de 1 ms

En la figura 134 el valor del tiempo de retención-descarga es de 2,31 ms.

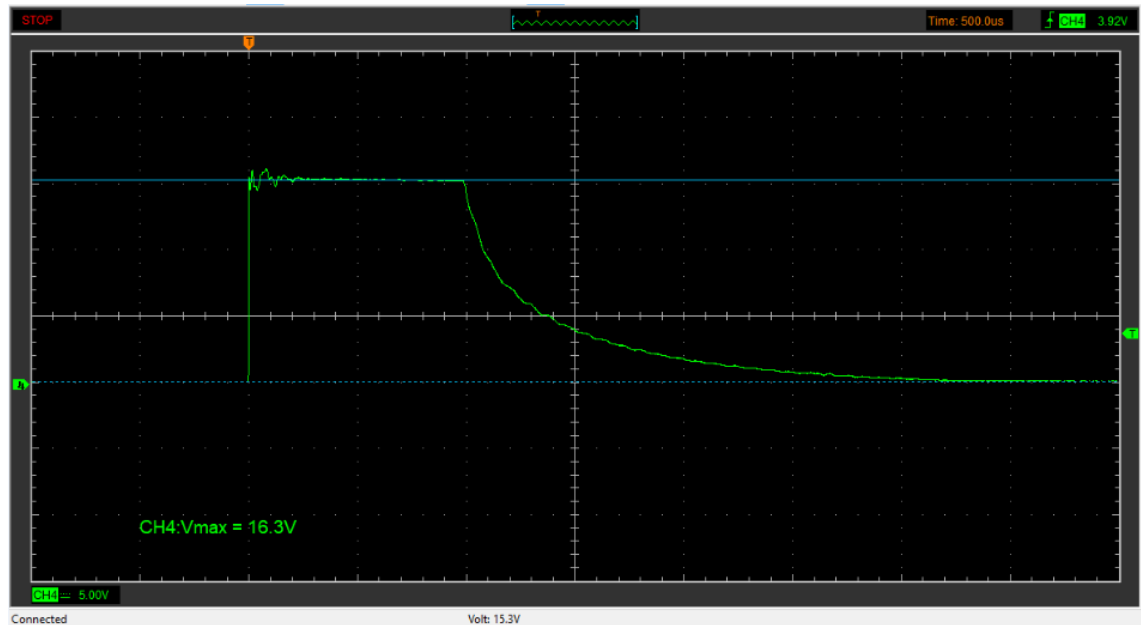


Figura 135 Oscilograma de voltaje para un tiempo de inyección de 1 ms

En la figura 135 el valor del voltaje de retención-descarga es de 153 V.

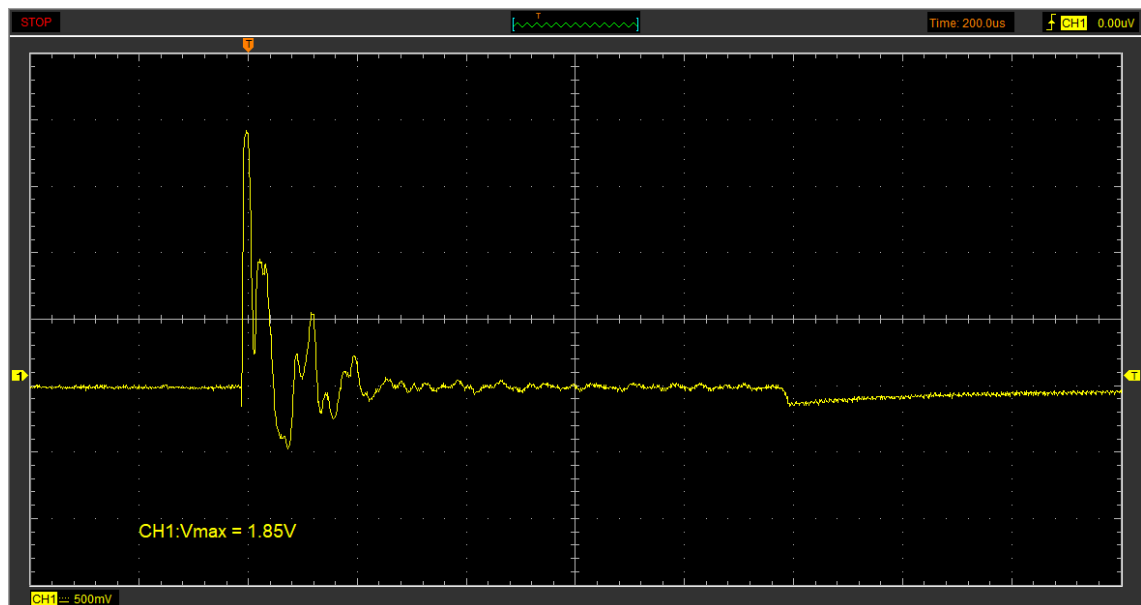


Figura 136 Oscilograma de corriente para un tiempo de inyección de 1 ms

En la figura 136 se obtiene un voltaje de activación de 1,85 V que al transformarlo con la escala el valor de la corriente de activación es de 18,5 A y una zona de disparo más prolongada.

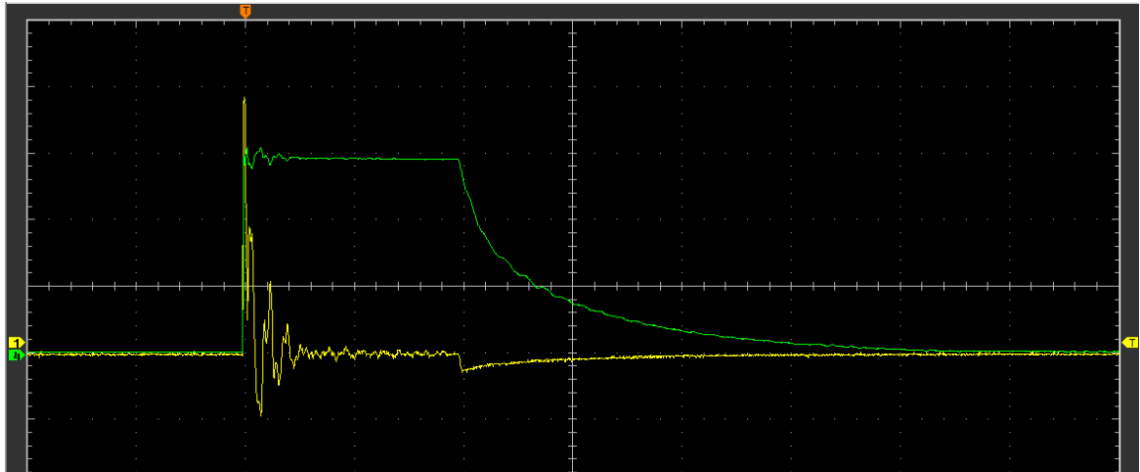


Figura 137 Oscilograma de voltaje y corriente para un tiempo de inyección de 1 ms

En la figura 137 se visualiza la activación simultánea del oscilograma de voltaje y de corriente. El pico de voltaje de activación entre las dos señales se aproxima. Al terminar el tiempo de disparo descienden en la zona de retención-descarga y finalmente terminan la inyección manteniéndose las señales. En la zona de disparo existe una prolongación de ambas ondas.

4.9.3 Oscilogramas de voltaje y corriente del inyector Land Rover Freelander 0445115042 con un tiempo de inyección de 2 ms.

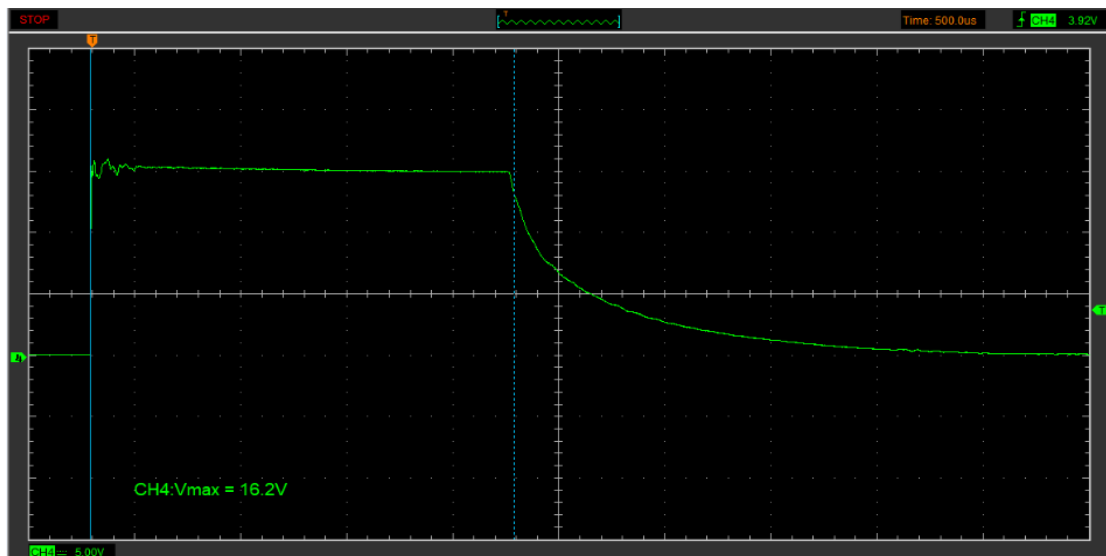


Figura 138 Oscilograma de voltaje para un tiempo de inyección de 2 ms

En la figura 138 el valor del voltaje de activación en el oscilograma es de 162 V y que no varía al cambiar los parámetros de presión del banco de pruebas, pulsos de inyección.

El tiempo de disparo es más prolongado es de 2 ms lo que concuerda con los análisis anteriores; es decir, es igual al tiempo de inyección en este caso de 2 ms.

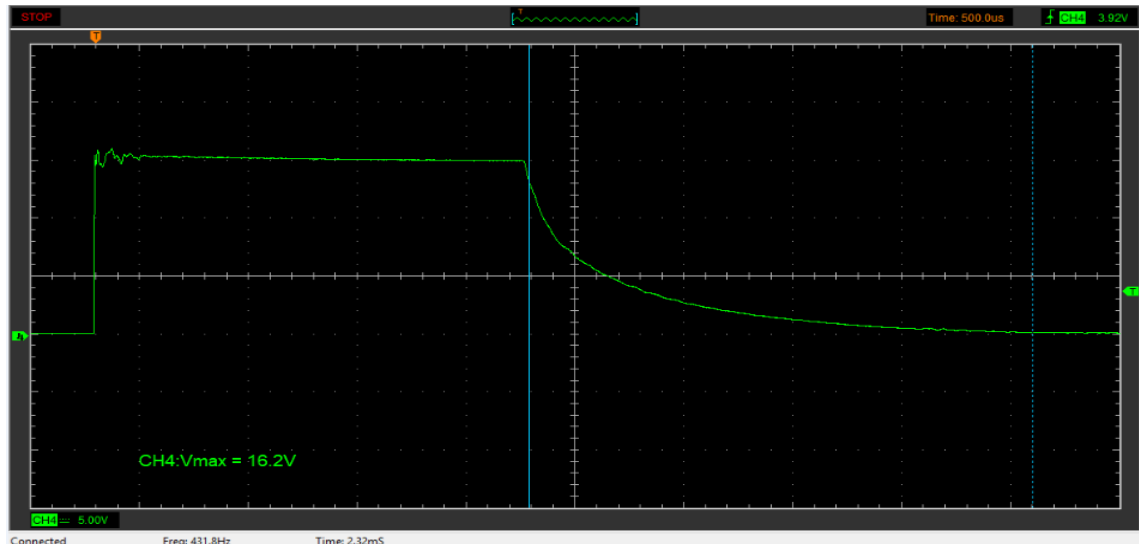


Figura 139 Oscilograma de voltaje para un tiempo de inyección de 2 ms

En la figura 139 el valor del tiempo de retención-descarga es de 2,32 ms.

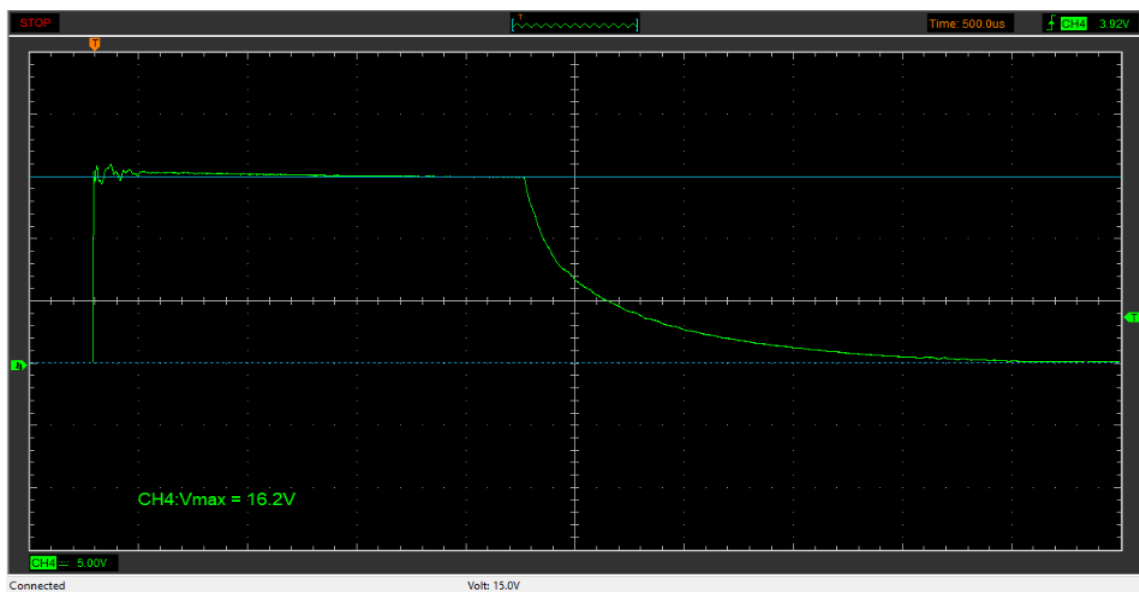


Figura 140 Oscilograma de voltaje para un tiempo de inyección de 2 ms

En la figura 140 el valor del voltaje de retención-descarga es de 150 V.

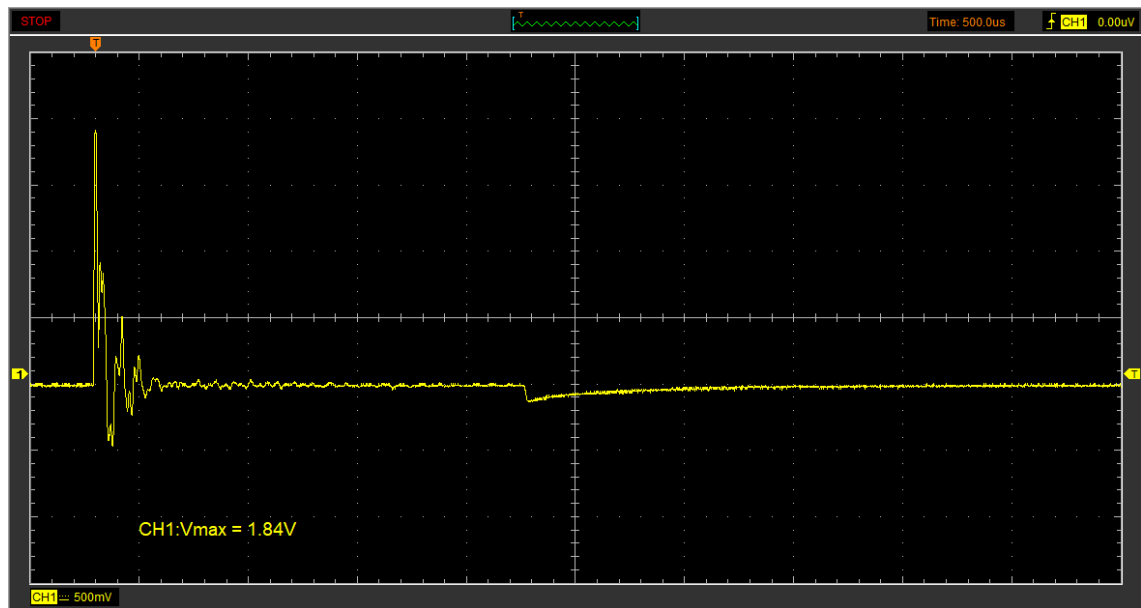


Figura 141 Oscilograma de corriente para un tiempo de inyección de 2 ms

En la figura 141 se obtuvo el voltaje de activación de 1,84 V que al transformarlo con la escala el valor de la corriente de activación es de 18,4 A y una zona de disparo más prolongada.

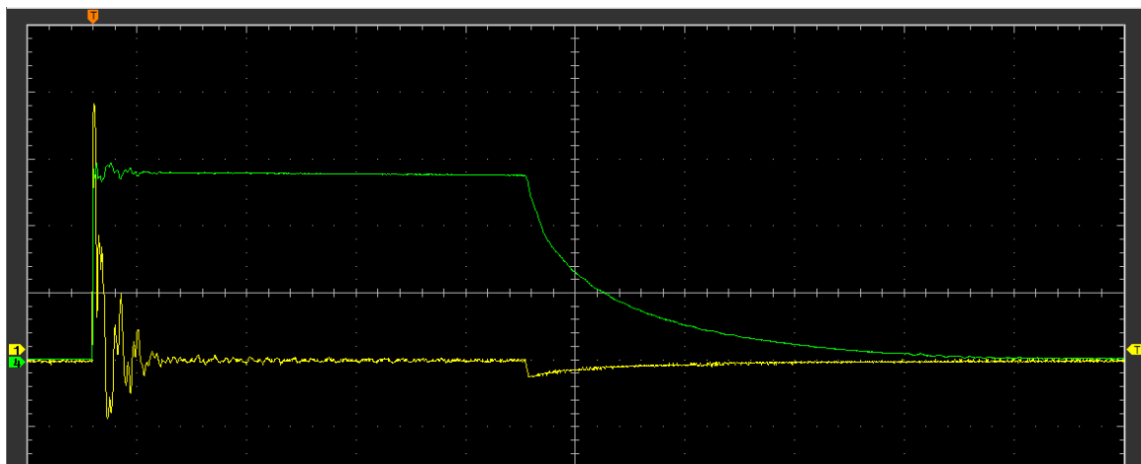


Figura 142 Oscilograma de voltaje y corriente para un tiempo de inyección de 2 ms

En la figura 142 se visualiza la activación simultánea del oscilograma de voltaje y de corriente. El pico de voltaje de activación entre las dos señales se aproxima. Al terminar el tiempo de disparo descienden en la zona de retención-descarga y finalmente terminar la inyección manteniéndose las señales. En la zona de disparo existe una prolongación de ambas ondas.

4.10 Oscilogramas de voltaje y corriente del inyector piezoeléctrico Volkswagen Amarok 0445116034

La calibración para el oscilograma de voltaje se la especificó: el tiempo de 500us en el eje de las “x” o abscisas y el voltaje de 5V en el eje de las “y” u ordenadas. Estos parámetros en todas las pruebas de voltaje.

La calibración para el oscilograma de corriente se la especificó: el tiempo de 200us y 500 us en el eje de las “x” o abscisas y el voltaje de 500 mV en el eje de las “y” u ordenadas de corriente. Estos parámetros en todas las pruebas de corriente respectivamente.

4.10.1 Oscilogramas de voltaje y corriente del inyector Volkswagen Amarok 0445116034 con un tiempo de inyección de 0,5 ms.

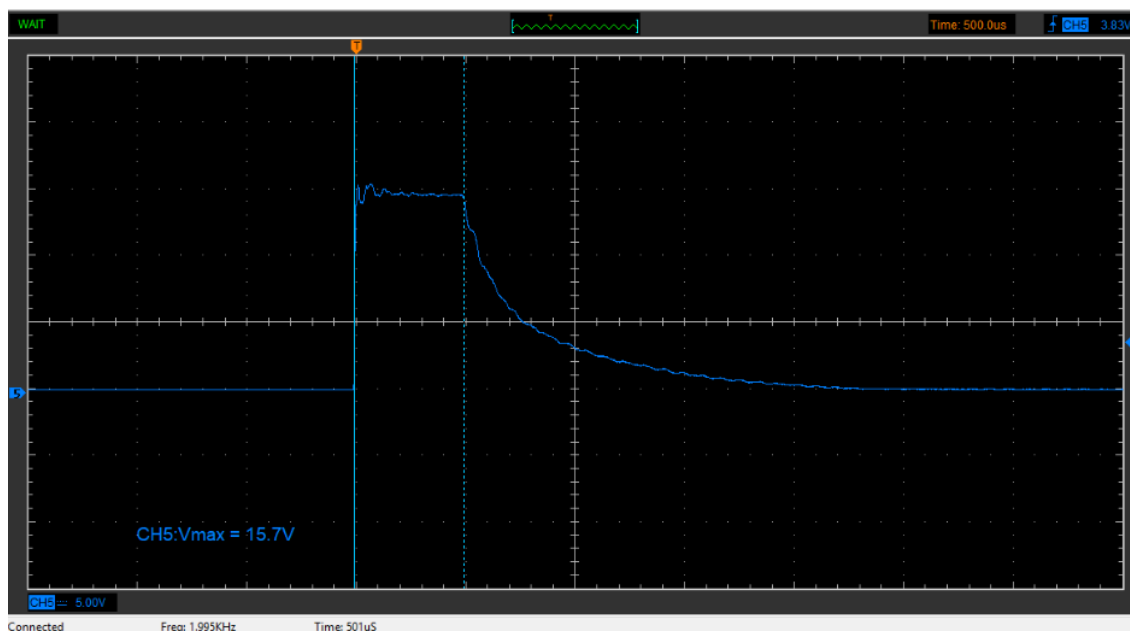


Figura 143 Oscilograma de voltaje para un tiempo de inyección de 0,5 ms

En la figura 143 el valor del voltaje de activación en el oscilograma es de 157 V y que no varía al cambiar los parámetros de presión del banco de pruebas, pulsos de inyección.

El tiempo de disparo es de 501 us lo que concuerda con los análisis anteriores; es decir, es igual al tiempo de inyección en este caso de 0,5 ms.

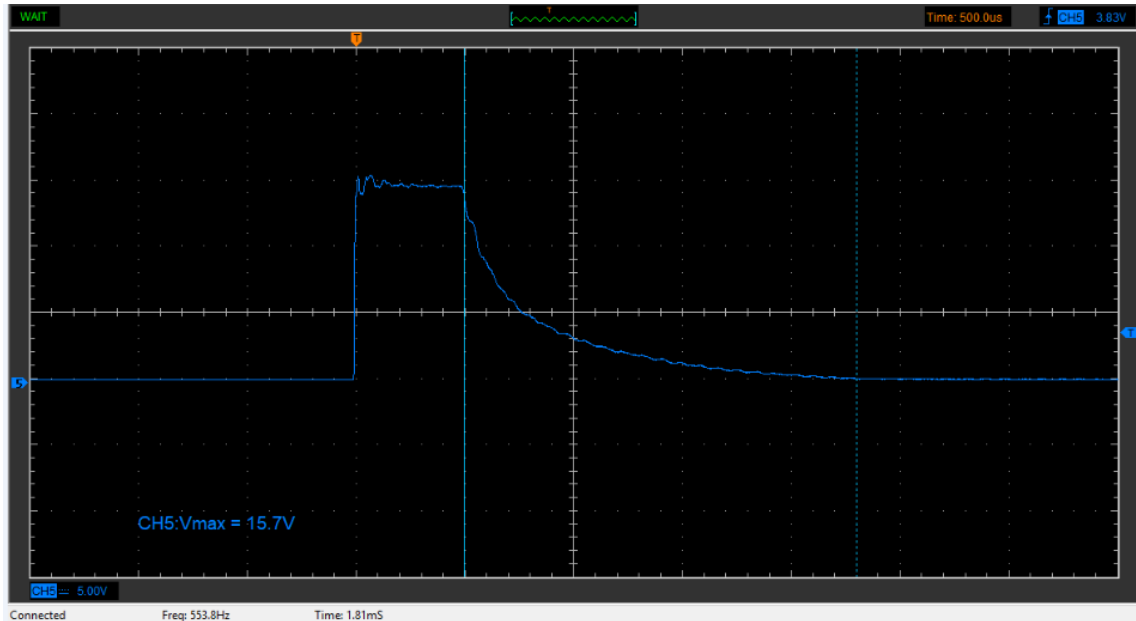


Figura 144 Oscilograma de voltaje para un tiempo de inyección de 0,5 ms

En la figura 144 el valor del tiempo de retención-descarga es de 1,81 ms.

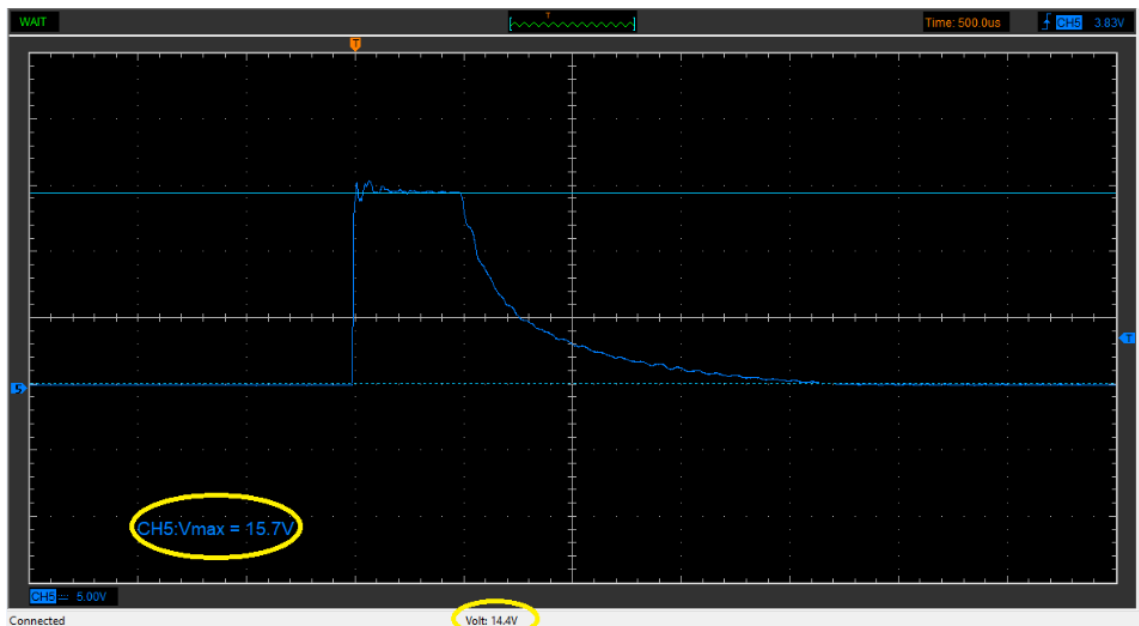


Figura 145 Oscilograma de voltaje para un tiempo de inyección de 0,5 ms

En la figura 145 el valor del voltaje de retención-descarga es de 144 V.

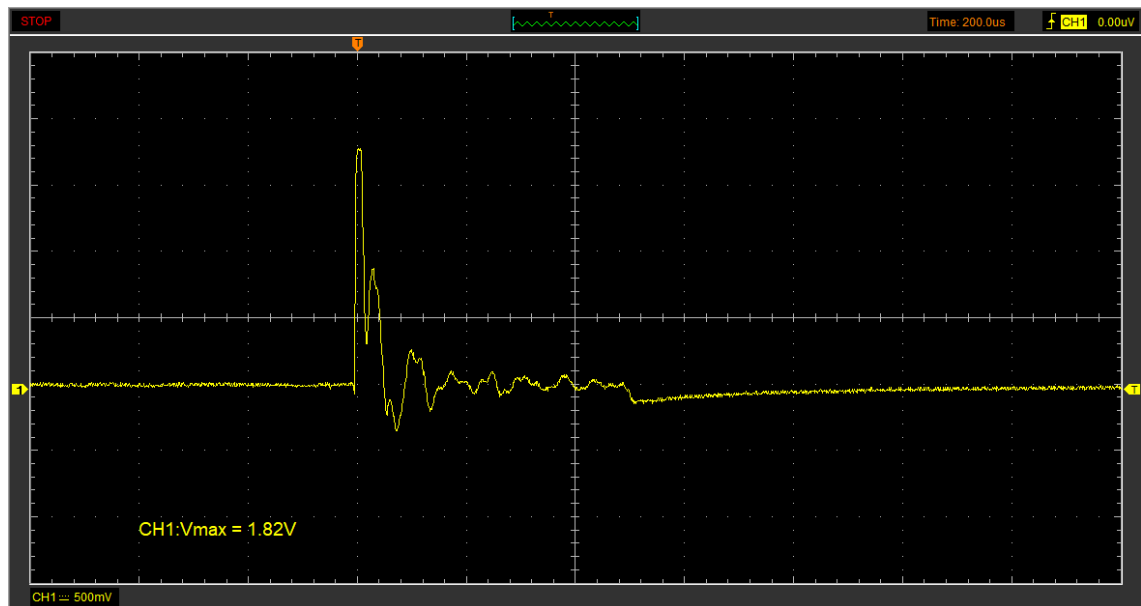


Figura 146 Oscilograma de corriente para un tiempo de inyección de 0,5 ms

En la figura 146 se obtuvo el voltaje de activación de 1,83 V que al transformarlo con la escala el valor de la corriente de activación es de 18,3 A.

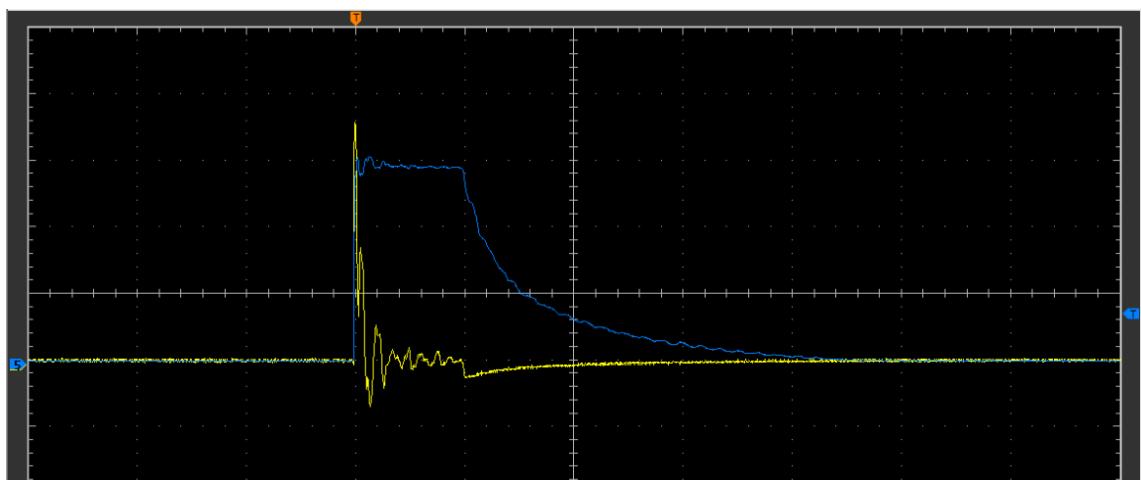


Figura 147 Oscilograma de voltaje y corriente para un tiempo de inyección de 0,5 ms

En la figura 147 se visualiza la activación simultánea del oscilograma de voltaje y de corriente. El pico de voltaje de activación entre las dos señales se aproxima. Al terminar el tiempo de disparo descenden en la zona de retención-descarga y finalmente terminar la inyección manteniéndose las señales.

4.10.2 Oscilogramas de voltaje y corriente del inyector Volkswagen Amarok 0445116034 con un tiempo de inyección de 1 ms.

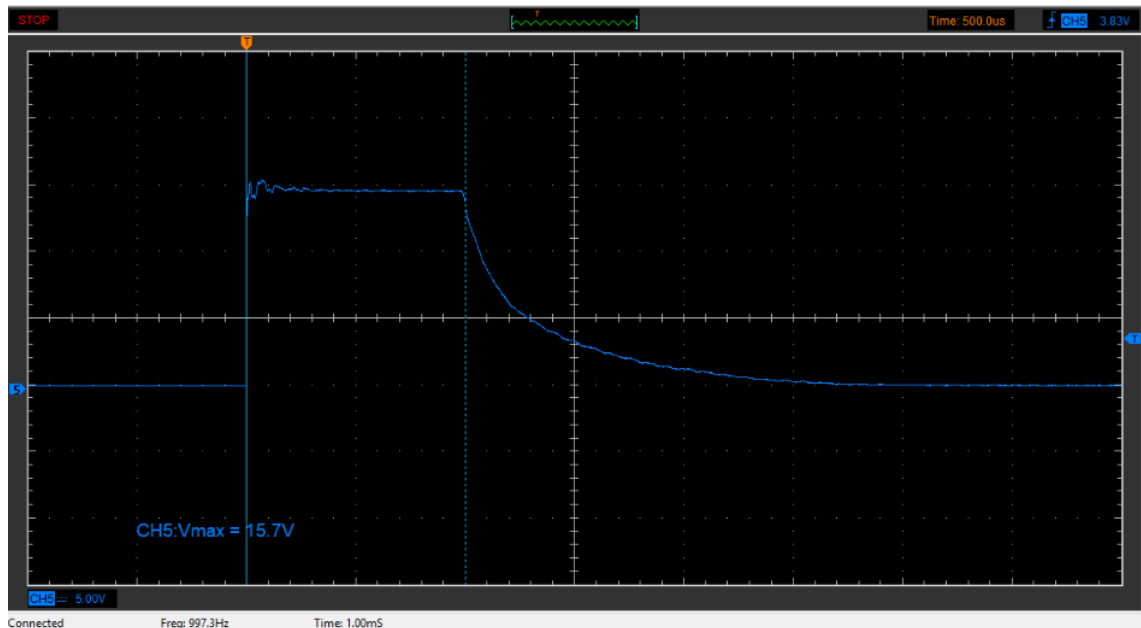


Figura 148 Oscilograma de voltaje para un tiempo de inyección de 1 ms

En la figura 148 el valor del voltaje de activación en el oscilograma es de 157 V y que no varía al cambiar los parámetros de presión del banco de pruebas, pulsos de inyección.

El tiempo de disparo es más prolongado es de 1 ms lo que concuerda con los análisis anteriores; es decir, es igual al tiempo de inyección en este caso de 1 ms.

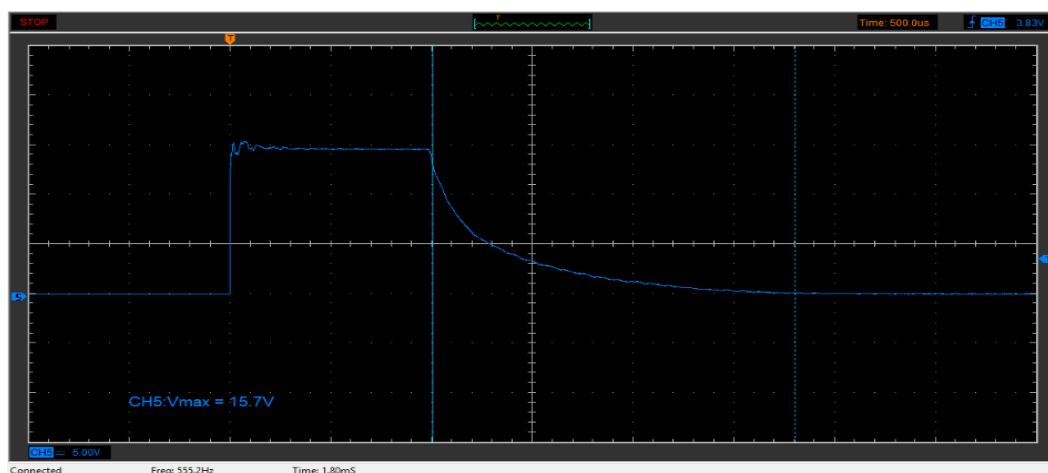


Figura 149 Oscilograma de voltaje para un tiempo de inyección de 1 ms

En la figura 149 el valor del tiempo de retención-descarga es de 1,80 ms.

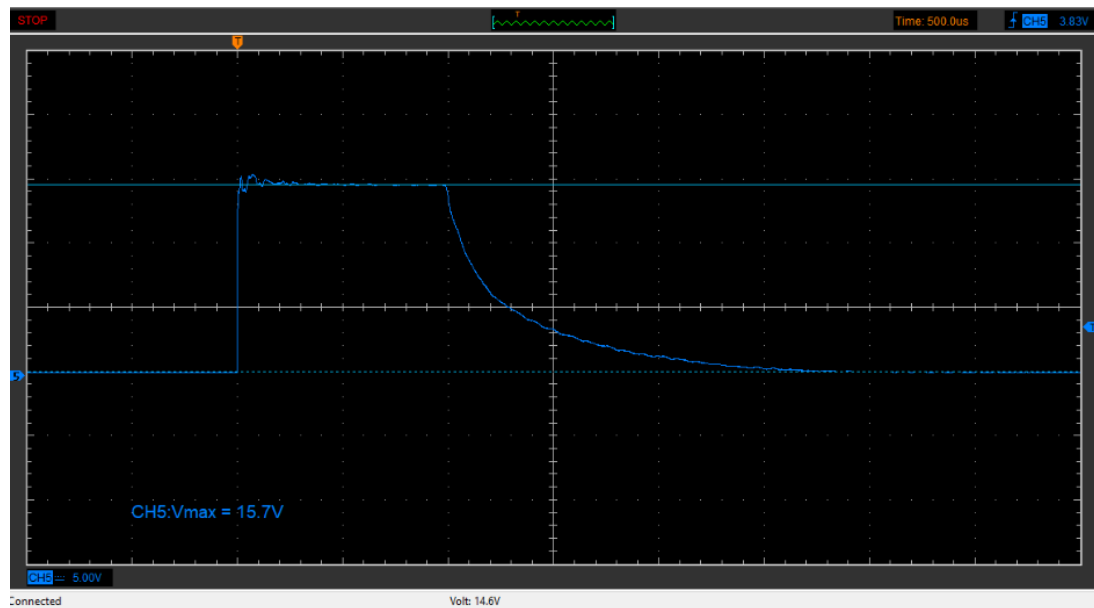


Figura 150 Oscilograma de voltaje para un tiempo de inyección de 1 ms

En la figura 150 el valor del voltaje de retención-descarga es de 146 V.

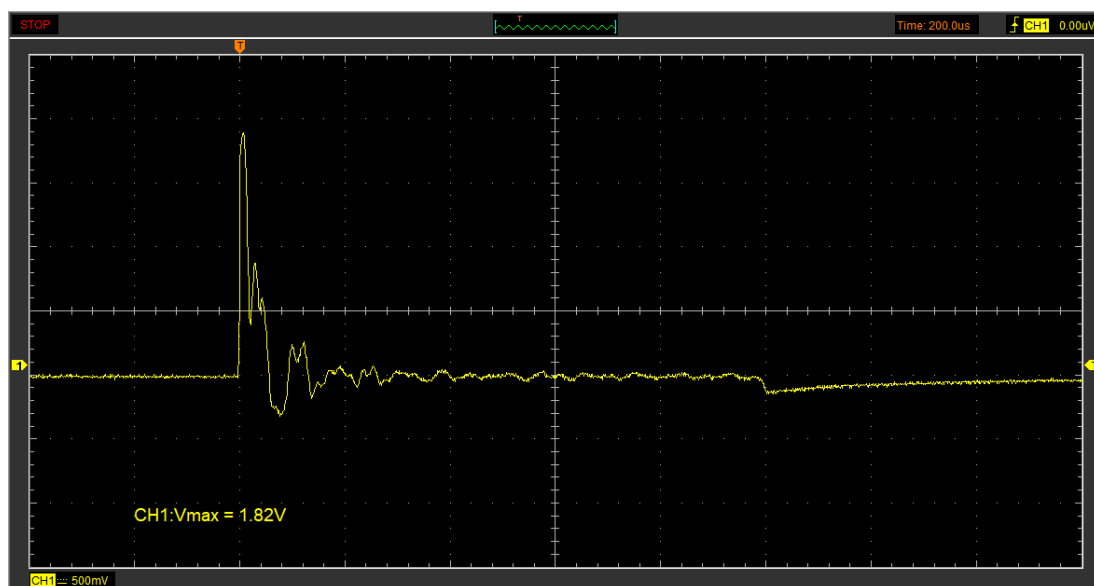


Figura 151 Oscilograma de corriente para un tiempo de inyección de 1 ms

En la figura 151 se obtuvo el voltaje de activación de 1,82 V que al transformarlo con la escala el valor de la corriente de activación es de 18,2 A y una zona de disparo más prolongada.

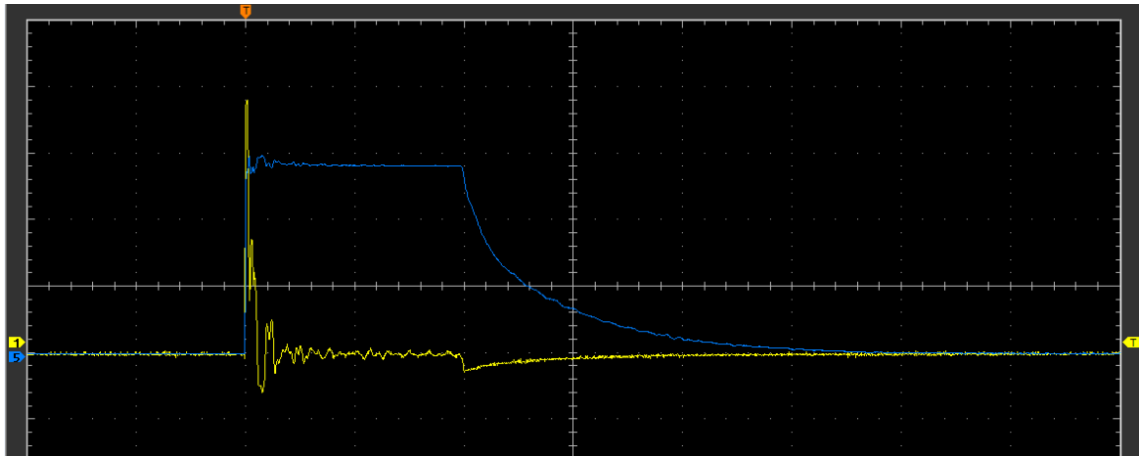


Figura 152 Oscilograma de voltaje y corriente para un tiempo de inyección de 1 ms

En la figura 152 se visualiza la activación simultánea del oscilograma de voltaje y de corriente. El pico de voltaje de activación entre las dos señales se aproxima. Al terminar el tiempo de disparo descienden en la zona de retención-descarga y finalmente terminar la inyección manteniéndose las señales. En la zona de disparo existe una prolongación de ambas ondas.

4.10.3 Oscilogramas de voltaje y corriente del inyector Volkswagen Amarok 0445116034 con un tiempo de inyección de 2 ms.

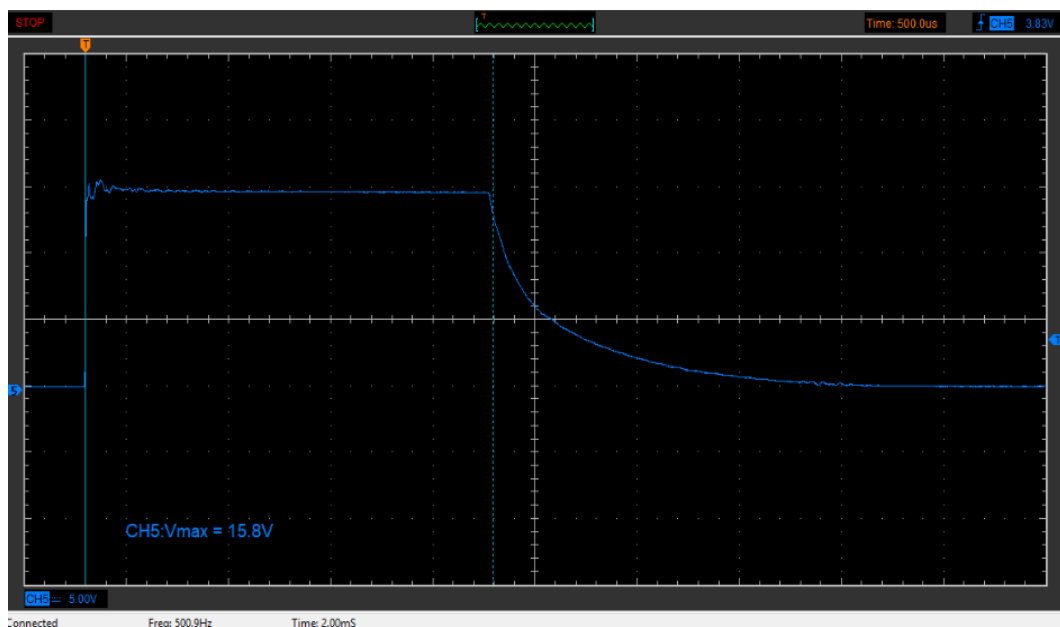


Figura 153 Oscilograma de voltaje para un tiempo de inyección de 2 ms

En la figura 153 el valor del voltaje de activación en el oscilograma es de 158 V y que no varía al cambiar los parámetros de presión del banco de pruebas, pulsos de inyección.

El tiempo de disparo es más prolongado es de 2 ms lo que concuerda con los análisis anteriores; es decir, es igual al tiempo de inyección en este caso de 2 ms.

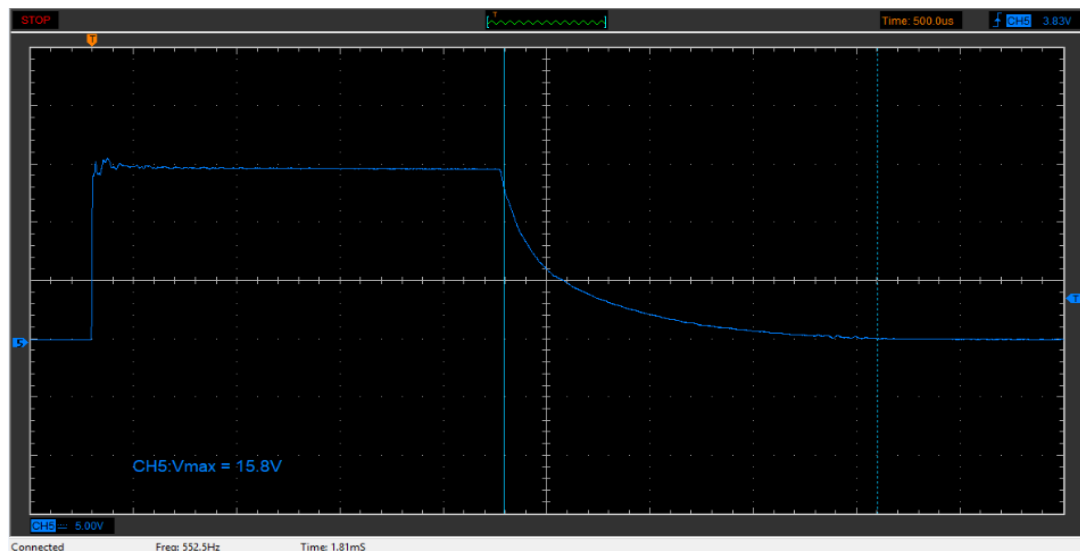


Figura 154 Oscilograma de voltaje para un tiempo de inyección de 2 ms

En la figura 154 el valor del tiempo de retención-descarga es de 1,81 ms.

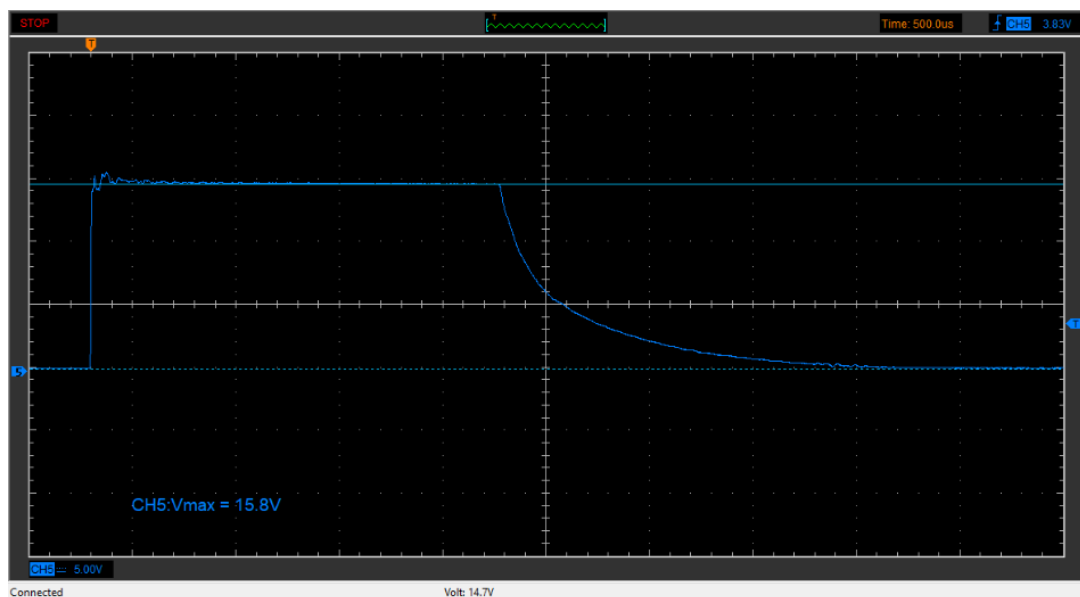


Figura 155 Oscilograma de voltaje para un tiempo de inyección de 2 ms

En la figura 155 el valor del voltaje de retención-descarga es de 147 V.

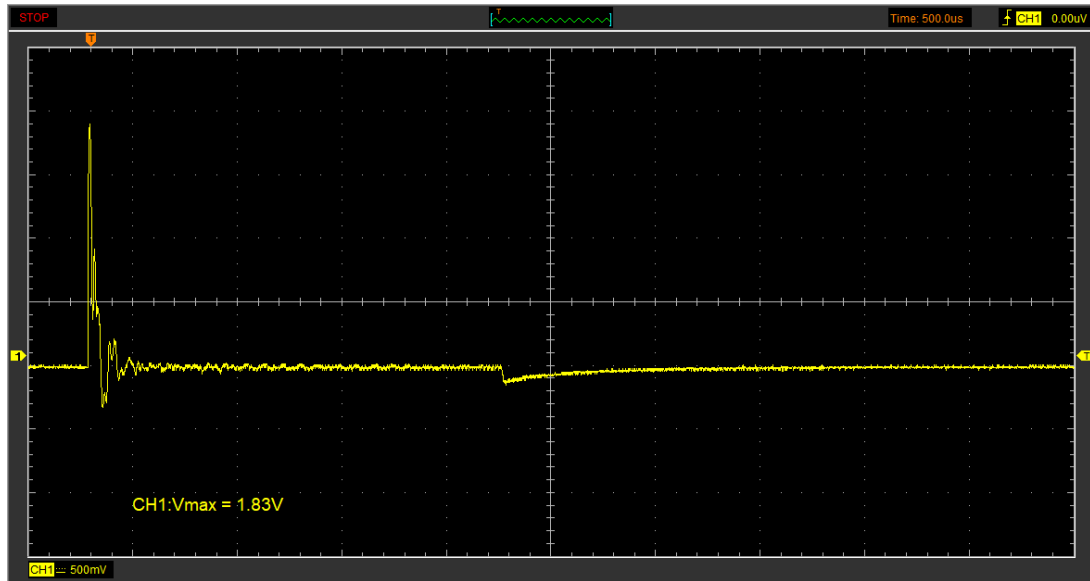


Figura 156 Oscilograma de corriente para un tiempo de inyección de 2 ms

En la figura 156 se obtuvo el voltaje de activación de 1,83 V que al transformarlo con la escala el valor de la corriente de activación es de 18,3 A y una zona de disparo más prolongada.

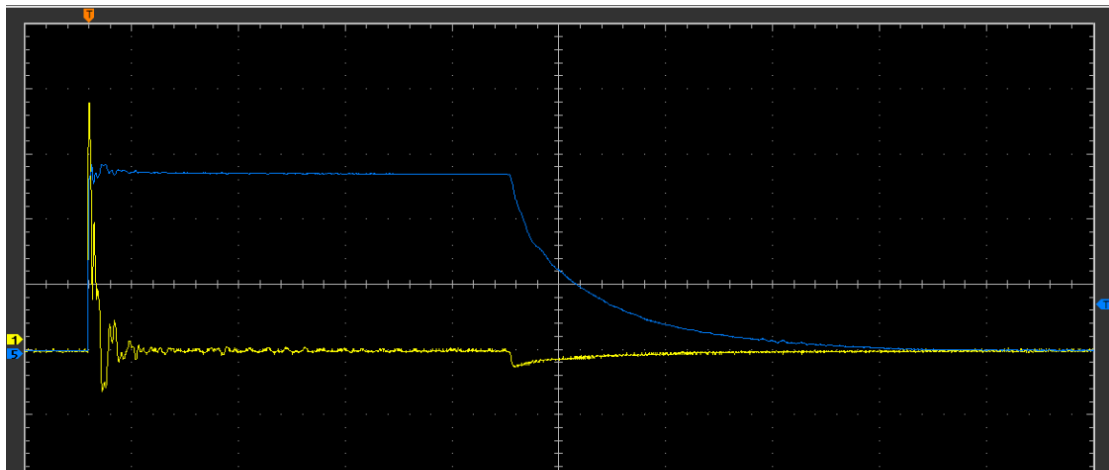


Figura 157 Oscilograma de voltaje y corriente para un tiempo de inyección de 2 ms

En la figura 157 se visualiza la activación simultánea del oscilograma de voltaje y de corriente. El pico de voltaje de activación entre las dos señales se aproxima. Al terminar el tiempo de disparo descienden en la zona de retención-descarga y finalmente terminar la inyección manteniéndose las señales. En la zona de disparo existe una prolongación de ambas onda.

CAPÍTULO V

5. MARCO ADMINISTRATIVO

5.1 Recursos

La investigación se la realizó con un diferente número de aportes que permitieron cumplir las metas propuestas y todos los objetivos de la misma. Se va a dar a conocer todos los recursos necesarios y que ayudaron a la optimización del desarrollo de la investigación.

5.2 Recursos humanos

Las ideas que se necesitaron para poder encaminar la investigación fueron el aporte principal para alcanzar con los objetivos y metas del proyecto. 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 AMAROK 2.0 Y LAND ROVER FREELANDER II 2.2" fue guiada por docentes y señores estudiantes:

Tabla 44

Recursos humanos

Recursos Humanos	
Ing. Germán Erazo	Director
Ing. José Quiroz	Docente
Hjalmar Bustillos	Investigadores
Fabián Simbaña	

5.3 Recursos Físicos

Para la eficiencia de la investigación dependiendo de las actividades a realizar, los sitios adecuados permitieron un mejor análisis y el seguimiento concreto de la misma, con la finalidad de obtener factores acorde al proyecto.

Tabla 45

Recursos físicos

Recursos Físicos	
Pruebas pertinentes de laboratorio	Laboratorio de Autotrónica
	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-Guillermo Rodríguez Lara
	Domicilio de los investigadores
Preparación y desarrollo teórico	Domicilio de los investigadores

5.4 Recursos materiales

Los materiales técnicos como equipos, instrumentos permiten llevar a cabo cada una de las pruebas de una manera específica de acuerdo a lo planteado en la investigación, además de materiales técnicos teóricos que ayudaron en la parte metodológica. Dentro de estos componentes prácticos- teóricos:

Tabla 46

Recursos materiales

Recursos materiales	
Técnicos (Pruebas de laboratorio)	Compresor de aire de 4 HP
	Pinza amperimétrica
	Batería 9V
	Osciloscopio Hantek 1008c
	Herramientas automotrices
	Equipos de protección personal
	Adhesivos
	Calibrador pie de rey
	Taípe
	Papel milimetrado
	Cables de conexión
	Técnicos teóricos(desarrollo)
	Calculadora

CONTINÚA 

	Libros
Suministros	Productos de limpieza

5.5 Recursos tecnológicos

Las pruebas de laboratorio se las realizó con equipos, instrumentos de una manera específica de acuerdo a lo planteado en la investigación, además de materiales técnicos teóricos que ayudaron en la parte metodológica. Dentro de estos componentes prácticos- teóricos:

Tabla 47

Recursos tecnológicos

Recursos tecnológicos	
	Compresor de aire de 4 HP
	Banco de pruebas VNP 3500
	Pinza amperimétrica
Técnicos (Pruebas de laboratorio)	Computador
	Osciloscopio Hantek 1008c
	Herramientas automotrices
	Calibrador pie de rey
	Cables de conexión
	Impresora
Técnicos teóricos(Desarrollo)	Calculadora
	Internet
	Bases digitales

5.6 Recursos financieros

Los recursos financieros son los recursos que directa o indirectamente se utilizaron para la ejecución de la investigación. Una investigación de calidad como la que se realizó constituyen rubros económicos que son asumidos por parte de los integrantes de la investigación.

Tabla 48**Recursos financieros**

Ord.	Detalle	Cantidad	Valor unitario	Valor Total
1	Impresiones	1000	0.15	\$150
2	Fotocopias	1000	0.02	\$20
3	Inyector piezoeléctrico Bosch CRDI 0445116034	1	480	\$480
4	Inyector piezoeléctrico Bosch CRDI 0445115042	1	500	\$500
5	Pruebas de Laboratorio	3	250	\$750
6	Traslado para pruebas	2	350	\$700
7	Socket Inyectores	2	30	\$60
8	Otros (Cd's, movilización, etc.)	8% del Total		\$213
TOTAL				\$2.873

5.7 Análisis del costo del proyecto

La ejecución de la investigación tuvo como finalidad analizar el comportamiento mecánico y electrónico de los inyectores piezoeléctricos de los vehículos Land Rover Freelander y Volkswagen Amarok, de tal manera que la adquisición y el precio de los mismos es elevado.

Para los parámetros que se consideraron y las pruebas realizadas en los inyectores se utilizaron equipos especializados es por ellos las pruebas de laboratorio.

El presupuesto de la investigación realizada es relativo por lo que puede variar dependiendo del tipo de inyector a utilizar así como también con el pasar del tiempo las pruebas de laboratorio pueden variar el costo.

5.8 Análisis costo-beneficio

El costo que implicó la investigación se lo relacionó con la viabilidad que tendría el mismo dentro de la universidad.

La investigación posee una variedad de pruebas por lo que la calidad técnica-teórica de la misma implicó la utilización de equipos especializados de alta gama en función de la precisión, medición correcta que presenten estas al realizar las pruebas.

La información que se obtuvo en la investigación permitió desarrollar el protocolo de pruebas con parámetros óptimos estableciendo así el desempeño y comportamiento mecánico y electrónico de los inyectores piezoeléctricos Bosch del sistema de inyección CRDI (Common rail diesel injection) de los vehículos Volkswagen Amarok 2.0 y Land Rover Freelander II 2.2

Se desarrolló y aportó con información académica como fuente de consulta para posteriores investigaciones, sin perder de vista los objetivos de investigación e innovación continua que posee la universidad.

5.9 Cronograma

	Nombre de tarea	Duración	julio 2017	agosto 2017	septiembre 2017	octubre 2017	noviembre 2017	diciembre 2017	enero 2018	febrero 2018	marzo 2018	abril 2018		
1	Solicitud del tema	20 días	Fabian Simbaña-Hjalmar Bustillos											
2	Desarrollo del plan	20 días	Fabian Simbaña-Hjalmar Bustillos											
3	Presentacion del plan	1 día	Ing.Germán Erazo											
4	Correccion del plan	15 días	Fabian Simbaña-Hjalmar Bustillos											
5	Aprobación del plan de investigación	1 día	Ing.Germán Erazo											
6	Desarrollo del marco metodológico	20 días	Fabian Simbaña-Hjalmar Bustillos											
7	Aprobación de marco metodológico	1 día	Ing.Germán Erazo											
8	Desarrollo del marco teórico	30 días	Fabian Simbaña-Hjalmar Bustillos											
9	Aprobacion del marco teórico	1 día	Ing.Germán Erazo											
10	Desarrollo del protocolo de pruebas	7 días	Fabian Simbaña-Hjalmar Bustillos											
11	Aprobación del protocolo de pruebas	1 día	Ing.Germán Erazo											
12	Desarrollo de pruebas de laboratorio	20 días	Fabian Simbaña-Hjalmar Bustillos											
13	Tabulacion de resultados y graficas	8 días	Fabian Simbaña-Hjalmar Bustillos											
14	Desarrollo de analisis de resultados	15 días	Fabian Simbaña-Hjalmar Bustillos											
15	Aprobación de analisis de resultados	1 día	Ing.Germán Erazo											
16	Desarrollo del marco administrativo	15 días	Fabian Simbaña-Hjalmar Bustillos											
17	Aprobación del marco administrativo	1 día	Ing.Germán Erazo											
18	Desarrollo de conclusiones y recomendaciones	10 días	Fabian Simbaña-Hjalmar Bustillos											
19	Presentacion del borrador de la investigación	1 día	Ing.Germán Erazo											
20	Correccion de borrador	10 días	Fabian Simbaña-Hjalmar Bustillos											
21	Predefensa de la investigación	1 día	Fabian Simbaña-Hjalmar Bustillos											
22	Defensa de la investigación	1 día	Fabian Simbaña-Hjalmar Bustillos											

CONCLUSIONES

- Se investigó el comportamiento mecánico y electrónico de los inyectores piezoeléctricos de series 0445116034 y 0445115042 de la marca Bosch del sistema de inyección CRDI (Common rail diésel injection).
- Se recopiló información en bases digitales como ResearchGate, Science Direct, DieselNet, SAGE Publications, Google Académico las cuales sirvieron de guía para desarrollar la presente investigación.
- Se realizó las pruebas mecánicas siguiendo el protocolo establecido en el banco tester VNP v-3500 bajo parámetros de variación disponibles en el mismo tales como presión de trabajo, tiempo de inyección pulsos de inyección o strk.
- Se realizó las pruebas eléctricas en los inyectores objeto de estudio con el uso de equipos específicos para este tipo de pruebas tales como: Osciloscopio Hantek, pinza amperimétrica, multímetro automotriz, puntas de osciloscopio.
- Se determinó los parámetros ideales de funcionamiento de los inyectores piezoeléctricos mediante las pruebas realizadas, obteniendo valores reales de caudal de entrega y retorno, tiempos de inyección, tiempo de retención, tiempo de descarga, voltaje y corriente de activación, voltaje de descarga y ángulos de pulverización, conseguidos bajo ciertos parámetros de operación del banco VNP V-3500.
- Se analizó que los resultados obtenidos son completamente diferentes de un inyector respecto al otro, variando completamente caudal de entrega y retorno, tiempos de inyección, tiempo de retención, tiempo de descarga, voltaje y corriente de activación, voltaje de descarga y ángulos de pulverización, se observó que únicamente los valores de caudal de inyección y retorno se asemejan conforme se aumenta la presión de trabajo. Esto se debe a que cada inyector está destinado para un motor con cierta cilindrada y al tipo de trabajo que el vehículo está diseñado.

- Se comprobó mediante el análisis de resultados que en las pruebas de caudal de inyección y de retorno con parámetros de 200 bar de presión, 850 strk y 2 ms de tiempo de inyección, existe una relación inyección/retorno de 3:1 para los dos inyectores piezoeléctricos.
- Se determinó que al emplear las condiciones de 550 bar de presión, 300 strk y 2ms de tiempo de inyección los resultados de caudal de inyección y retorno se asemejan en los dos inyectores, dando como resultado $31 \text{ mm}^3 \pm 4,9 \text{ mm}^3$ en el inyector Land Rover Freelander y $31 \text{ mm}^3 \pm 4 \text{ mm}^3$ en el inyector Volkswagen Amarok.
- Se verifico que los inyectores al carecer de bobina no poseen un valor específico de resistencia, por lo tanto al usar el modo uno del banco tester VNP v-3500 la pantalla refleja un valor superior a 18 que representa a los inyectores piezoeléctricos.
- Se determinó que al trabajar con el tiempo de inyección de 0.5 ms y presión de 200 bar, valores relativamente mínimos, el patrón de pulverización es muy reducido, de ser la presión inferior ya no existe pulverización y el derrame producido por el inyector es laminar, ya que la apertura del inyector oscila entre 150 y 250 bar.
- Se estableció que el voltaje de activación para el inyector 0445115042 es de 162 voltios $\pm 1\text{v}$ y este valor se mantuvo constante durante todas las pruebas sin ser afectado por la presión de inyección, numero de strk o tiempo de inyección.
- Se determinó un caudal entregado por el inyector 0445115042 de 87.2 mm³ al establecer las condiciones máximas de 2ms de tiempo de activación, 550 bar de presión de inyección y 850 strk.
- Se visualizó un caudal de retorno por el inyector 0445115042 de 15.2 mm³ al establecer las condiciones máximas de 2ms de tiempo de activación, 550 bar de presión de inyección y 850 strk.
- Se estableció que el voltaje de activación para el inyector 0445116034 es de 158 voltios $\pm 1\text{v}$ y este valor se mantuvo constante durante todas las pruebas sin ser afectado por la presión de inyección, numero de strk o tiempo de inyección.

- Se determinó un caudal entregado por el inyector 0445116034 de 88.4 mm³ al establecer las condiciones máximas de 2ms de tiempo de activación, 550 bar de presión de inyección y 850 strk.
- Se visualizó un caudal de retorno por el inyector 0445116034 de 12.1 mm³ al establecer las condiciones máximas de 2ms de tiempo de activación, 550 bar de presión de inyección y 850 strk.
- Se determinó que el grado de activación en ambos inyectores es directamente proporcional al tiempo de inyección.

RECOMENDACIONES

- Colocar el selector de inyectores tanto piezoeléctrico o inductivos de manera correcta ya que pueden ocasionar daños irreparables en el banco tester VNP3500.
- Liberar la presión del banco antes del desmontaje de los inyectores.
- No encender el banco de pruebas cuando no se ha finalizado el montaje de los inyectores ya que podrían ocasionar daños severos.
- Los inyectores antes de empezar alguna prueba deben someterse a un test de resistencia en nuestro caso al usar inyectores piezoeléctricos nos refleja un valor de 18,1 o 18,9 que el banco lo analiza como valores infinitos ya que los mismos nos poseen bobina.
- Drenar la trampa de agua y verificar el nivel de aceite que posee el banco de pruebas.
- Verificar el nivel de viscosidad antes y después de realizar las pruebas para evitar inconveniente durante su funcionamiento
- Evitar el ingreso de partículas a los inyectores o a las roscas del banco de pruebas.
- Se recomienda la utilización de un compresor de mayor capacidad para lograr la presión máxima de trabajo del banco VNP V-3500.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, B., & Morales, S. (2016). Análisis del comportamiento de los materiales de fabricación del inyector y la bomba de alta presión al trabajar con mezcla combustible obtenido a partir del aceite reciclado de frituras. Latacunga, Cotopaxi.
- Agarwal, A. K., Dhar, A., Gupta, J. G., Kim, W. I., Lee, C. S., & Park, S. (2014). Effect of fuel injection pressure and injection timing on spray characteristics and particulate size–number distribution in a biodiesel fuelled common rail direct injection diesel engine. *Applied Energy*, 130, 212-221. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.05.041>
- AngelFire. (s.f.). Recuperado el 26 de Octubre de 2017, de <http://www.angelfire.com/nd/mingopage/gasoil.htm>
- Archilla. (2015). *Grup EINA Digital*. Recuperado el 25 de Octubre de 2017
- Arellano, H., & Falconi, D. (2015). Diseño y construcción de un banco de pruebas para inyectores mecánicos motores diesel. Riobamba.
- Augeri, F. (2010). Funcionamiento de Inyectores Piezoeléctricos. Recuperado el 25 de Octubre de 2017, de <http://www.cise.com/portal/notas-tecnicas/item/140-funcionamiento-de-inyectores-piezolectricos.html>
- Barros, & Pulla. (2016). *Análisis de fallas del sistema de alimentación de combustible de un motor Hyundai Santa Fe 2.0 CRDi basado en curvas de osciloscopio*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Bosch. (2002). *Regulación Electrónica Diesel (EDC)*.
- Bosch. (2011). *Entrenamiento del Sistema Common Rail*. Centro de Capacitación-Asistencia Técnica. Robert Bosch Ltda. Recuperado el 16 de Julio de 2017

Bosch. (2015). *Sistema de inyección Diesel por acumulador Common Rail*.

Recuperado el 25 de Octubre de 2017, de <https://books.google.com.ec/books?id=3Jl1hs3QiMC&pg=PA38&lpg=PA38&dq=inyectores+piezoelectricos+bosch&source=bl&ots=rv84KZ1Hgy&sig=zXKmvXU7LYxdXyPUoTH3fnH1k3k&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwidz56c1rHVAhWCQSYKHfVnBj44ChDoAQhMMAc#v=onepage&q=inyectores%20piezoelect>

Bosch. (2015). *Sistema de inyección Diesel por acumulador Common Rail*.

Bosch. (s.f). *Bosch Automóvil*. Recuperado el 25 de Julio de 2017, de Bosch

Automóvil: http://es.bosch-automotive.com/es/internet/parts/parts_and_accessories/motor_and_systems/diesel/common_rail_injection/common_rail_diesel_motorsys_parts.html

BruixotV. (15 de 05 de 2011). *High Pressure Common Fuel Supply Rail*.

Recuperado el 16 de Julio de 2017, de High Pressure Common Fuel Supply Rail: <https://forum.wordreference.com/threads/high-pressure-common-fuel-supply-rail.2147841/>

Cabascango, & Dávila. (2014). *Diseño y construcción de un simulador*.

Latacunga, Cotopaxi, Ecuador.

Calleja, D. G. (2015). *Mantenimiento de sistemas auxiliares del motor de ciclo*

diésel. Madrid: Praninfo.

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

Castro, M. d. (2002). *Sistemas electronicos de la inyección diesel*. Barcelona:

CEAC.

- CISE ELECTRÓNICA. (2011). *Funcionamiento de Inyectores Piezoeléctricos*. Buenos Aires: Cise Electronica & Cise Electronics Corp. Recuperado el 24 de Octubre de 2017
- Coral, F. (2013). *Diseño e implementación de un banco de pruebas de inyectores de vehículos a diesel crdi para la escuela de ingeniería automotriz*. Riobamba : ESPOCH.
- FRAM. (2016). *Filtros Diesel*. Recuperado el 16 de Julio de 2017, de Filtros Diesel: <http://www.fram-europe.com/es/productos/filtros-de-diesel.html>
- Gómez. (2012). *Estudio de factibilidad para la construcción de un banco de pruebas para inyectores del sistema Common Rail Bosch*. Cuenca, Azuay, Ecuador.
- Gomez, D. (2012). Estudio de factibilidad para la construcción de un banco de pruebas para inyectores del sistema Common Rail Bosch. Cuenca.
- Granda, R., & Estevez, S. (2014). Módulo didáctico de los inyectores del sistema Common Rail de la camioneta Volkswagen Amarok. Ibarra, Imbabura, Ecuador. Recuperado el 26 de Octubre de 2017, de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/4200/1/05%20FECYT%202109%20TESIS.pdf>
- Imperial, J. M. (1991). *Bombas de Inyección Diesel*. Barcelona: CEAC.
- Kia Motors. (2015). *Manual de Entrenamiento de Servicio*. Centro de Entrenamiento de Servicio Técnico KIA. Santiago-Chile: Departamento de Asistencia Técnica de DIASA Ltda.
- Morán, & Passo. (2016). *Diseño y construcción del sistema de activación y control de inyectores diesel riel común CRDI*. Latacunga.

PicoTechnology. (s.f.). Recuperado el 24 de Octubre de 2017, de <https://www.picoauto.com/library/automotive-guided-tests/piezo-current/>

Portal, A. T. (s.f.). Recuperado el 27 de Octubre de 2017, de <https://www.audi-technology-portal.de/de/antrieb/tdi-motoren/piezo-injektoren>

Ruiz, J. (2003). *Metodología de la investigación cualitativa*. Bilbao: IPAR.

S., d'Ambrosio, & A., F. (2018). Diesel engines equipped with piezoelectric and solenoid injectors: hydraulic performance of the injectors and comparison of the emissions, noise and fuel consumption. *Applied Energy*, 211, 1324-1342. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.11.065>

Salvador, Plazas, Gimeno, & Carreres. (2014). Complete modelling of a piezo actuator last generation injector for diesel injection systems. Valencia. doi:10.1177/1468087412455373.

Shashank, M. (1 de Enero de 2015). Piezoelectric Diesel Injectors & Emission Control. India. Recuperado el 26 de Octubre de 2017, de <https://www.ijsr.net/archive/v4i1/SUB1576.pdf>

Wiesinger, J. (2015). *kfztech.de*. Recuperado el 26 de Octubre de 2017, de <https://www.kfztech.de/kfztechnik/motor/diesel/duesen/duesen2.htm>

NORMAS:

- Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. (2008). INEN 017:2008, Control de Emisiones Contaminantes de Fuentes Móviles Terrestres. Ecuador.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. (2000). NTE INEN 2203:2000, Gestión Ambiental. Aire. Vehículos Automotores. Determinación de la Concentración de Emisiones de Escape en Condiciones de Marcha Mínima o "Ralentí". Prueba Estática. Ecuador.



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el siguiente trabajo fue desarrollado por los Señores Hjalmar Fabricio Bustillos Chicaiza y Fabián David Simbaña Quinsasamin bajo la supervisión.

Ing. Germán Erazo

Director del Proyecto

Ing. Danilo Zambrano

Director de Carrera



Dr. Freddy Jaramillo

Secretario Académico