



**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
MARCA BOSCH SERIE 0 445 110 290 Y 0 445 110 293
UTILIZADOS EN EL SISTEMA CRDI (COMMON RAIL
DIESEL INJECTION)"**

**AUTORES: CARLOS AMILCAR CABEZAS BEJARANO
EDWIN DAMIÁN FREIRE POVEDA**

DIRECTOR: ING. FABIÁN SALAZAR

LATACUNGA

2018



DEPARTAMENTO DE CIENCIA 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 DE MARCA BOSCH “0445110290” Y “0445110293” DEL SISTEMA DE INYECCIÓN CRDI (COMMON RAIL DIESEL INJECTION)”** realizado por los señores **CARLOS AMILCAR CABEZAS BEJARANO** y **EDWIN DAMIÁN FREIRE POVEDA**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a los señores **CARLOS AMILCAR CABEZAS BEJARANO** y **EDWIN DAMIÁN FREIRE POVEDA** para que lo sustenten públicamente.

Latacunga, 20 de febrero del 2018



Ing. Fabián Salazar
Director



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **CARLOS AMILCAR CABEZAS BEJARANO**, con cédula de identidad N° 1782248425-8 y **EDWIN DAMIÁN FREIRE POVEDA** con cedula de identidad N° , declaramos que este trabajo de titulación **“INVESTIGACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y ELECTRÓNICO DE LOS INYECTORES DE MARCA BOSCH “0445110290” Y “0445110293” DEL SISTEMA DE INYECCIÓN CRDI (COMMON RAIL DIESEL INJECTION)”** 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 ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 20 de febrero del 2018



Carlos Amilcar Cabezas Bejarano
C.C.: 1722484258



Edwin Damián Freire Poveda
C.C.: 1715182885



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **CARLOS AMILCAR CABEZAS BEJARANO** y **EDWIN DAMIÁN FREIRE POVEDA**, Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en el repositorio de la institución el presente trabajo y titulación **“INVESTIGACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y ELECTRÓNICO DE LOS INYECTORES DE MARCA BOSCH “0445110290” Y “0445110293” DEL SISTEMA DE INYECCIÓN CRDI (COMMON RAIL DIESEL INJECTION)”** cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga, 20 de febrero del 2018



Carlos Amilcar Cabezas Bejarano
C.C.: 1722484258



Edwin Damián Freire Poveda
C.C.: 1715182885

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado especialmente para mi hermano Byron Cabezas sé que desde el cielo él me va brindando sus bendiciones simplemente gracias a ti hermano por enseñarme tu humildad, paciencia y perseverancia y ser más que un hermano un amigo incondicional.

A mi linda madre por siempre estar conmigo en todo momento por enseñarme el valor de la vida, la lucha constante y el trabajo arduo que siempre serán recompensados con el pasar del tiempo, además de expresarme su sencillez, amor constantemente, dedicación y entrega con su hijo, sus consejos, experiencias fueron y siguen siendo fundamentales para lograr mis metas.

A mi padre que a pesar de la distancia siempre tuve un consejo, un apoyo nunca faltaron su fortaleza, su lucha por siempre verme realizado profesionalmente y sus sabios consejos para ser una persona de bien.

A mis hermanos Javier Cabezas, Elsa Cungan que de igual manera tuve el apoyo incondicional siempre pendientes de mi persona, animándome y gracias a ellos por demostrarme mucho cariño y aprecio.

Carlos Amilcar Cabezas Bejarano.

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a dios por darme unos padres ejemplares y enseñarme lo grandioso que es la vida, apoyarme para lograr siempre mis sueños a mi madre por ser el pilar fundamental, mi amiga, confidente y a la persona que más quiero en este mundo, siempre dios me tenga a su lado y le mantenga muchos años con salud para disfrutar gratos y buenos momentos.

Agradezco infinitamente al Ing. Fabián Salazar por transmitir sus sabios conocimientos, por el tiempo, paciencia prestada para la culminación de mi proyecto.

Al Ing. German Erazo por brindarme sus conocimientos durante el tiempo de mi carrera y brindar su sincera amistad.

A todos mis maestros que estuvieron a lo largo de mi carrera y compartiendo experiencias y conocimientos.

A mi familia por preguntar, apoyarme durante todo el tiempo estar pendientes de mi persona en especial a mis tíos Oscar, Omar, Alfonso, Eugenia y Laurita su apoyo fue fundamental y esencial para culminar mi carrera.

A mis abuelitos Carlos y Cesar que ya no están presentes en este mundo, pero que me ayudaron a conocer el valor de la amistad y fomentarme sabios consejos.

A mi cuñado Washington y Sobrino Anthony les considero como mis hermanos gracias por compartir lindos momentos y por mostrarme su infinito cariño y formar parte de mi vida.

A mis padrinos que siempre estuvieron permanentes con su apoyo.

A mis Amigos que compartimos momentos únicos y que formaron parte de mi vida.

Carlos Amilcar Cabezas Bejarano.

DEDICATORIA

El proyecto de investigación está dedicado en primer lugar a Dios que ha permitido la culminación de mi carrera con éxito y es quien me ha dado la fuerza y sabiduría para superar las adversidades que se han presentado durante mi formación profesional.

En segundo lugar, a mi madre Zenobia Emilia Poveda Proaño quien ha sido padre y madre a la vez, siempre estuvo ahí para apoyarme en los buenos y malos momentos, ha sido mi apoyo incondicional desde el inicio de mi carrera, quien me enseñó que en la vida “No todo lo que brilla es oro” y que con esfuerzo y dedicación se puede cumplir los sueños, a mis hermanos Nelly y Agustín que siempre me ayudaron a levantarme en los momentos más difíciles.

A mi novia Maribel que jamás me abandono ni en las peores situaciones de mi vida y que siempre estuvo a mi lado para apoyarme y acompañarme en todo momento y a quien amo con toda mi alma, a cada uno de mis compañeros y amigos de esta maravillosa carrera de tan prestigiosa Universidad, aprendí que la amistad no se ve en la cantidad sino en la calidad.

Edwin Damián Freire Poveda.

AGRADECIMIENTO

Agradezco inmensamente al Ing. Fabián Salazar, que me ha brindado sus conocimientos en el transcurso de mi formación profesional y me ha guiado para poder efectuar el presente proyecto, por la paciencia y el tiempo que tuvo para con nosotros y lograr sobresalir la carrera.

Al Ing. German Erazo que más que un docente, un gran amigo y un segundo padre ya que con sus enseñanzas y anécdotas de la vida profesional me ha motivado para ser un gran profesional y seguir cumpliendo todas mis metas.

A mi maravillosa madre, que siempre me estuvo animando para que logre ser un profesional en la vida y porque la mejor herencia que una madre puede dar a sus hijos es la educación, a mis hermanos Nelly Freire, Agustín Freire y Senovia Espín que con sus consejos me formaron para ser un hombre perseverante, luchador y solidario.

A todos mis colegas y compañeros que estuvieron junto a mí a lo largo de toda la carrera, que, con sus innumerables locuras, y grandiosos momentos los considero como parte de mi familia.

Edwin Damián Freire Poveda.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA.....	1
CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
AGRADECIMIENTO.....	viii
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xxiv
RESUMEN.....	xxv
ABSTRACT.....	xxvi

CAPITULO I

MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Planteamiento del problema.....	3
1.3. Descripción resumida del proyecto	4
1.4. Justificación e importancia	5
1.5. Objetivos.....	6
1.5.1. Objetivo General.....	6
1.5.2. Objetivos Específicos	6
1.6. Metas.....	7
1.7. Hipótesis.....	7
1.8. Variables de investigación	7
1.9. Cuadro de operacionalización de variables	7
1.10. Metodología de la investigación	9

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO	13
2.1. Fundamentos del sistema de inyección diésel con CRDI	13
2.1.1. Principio de funcionamiento	16
2.1.2. Componentes de activación para la inyección del sistema common rail	16
2.2. Sistemas de sobrealimentación por turbocompresor	17
2.3. Inyectores	18
2.3.1. Inyector common rail con válvula electromagnética	18
2.3. Inyectores	21
2.3.1. Inyector common rail con válvula electromagnética	22
2.3.2. Principio de funcionamiento del inyector	24
2.3.3. Contaminantes	28
2.3.4. Funcionamiento del inyector.	29
2.4. Activación del inyector	33
2.5. Ángulo de apertura del chorro	35
2.6 Pruebas del inyector	45

CAPÍTULO III

PROTOCOLO DE PRUEBAS	48
3.1. Equipos	48
3.1.2. Osciloscopio Hantek 1008c	50
3.1.3. Banco de pruebas Tester CRDI V-3500	52
3.1.4. Multímetro	54
3.1.5 Pinza amperimétrica Brain Bee	55
3.2. Especificaciones de los inyectores CRDI Bosch	56
3.2.2. Inyector Bosch 0445110293	58
3.4. Protocolo para el montaje de inyectores	62
3.5. Precauciones	64
3.6. Instalación del osciloscopio Owon	65
3.6.1. Instalación del software Owom	65
3.6.2. Instalación del USB Driver	65
3.6.3. Conexión del osciloscopio Owon hacia los inyectores	65

3.7. Instalación del osciloscopio Hantek	67
3.7.1 Instalación USB Drive.....	67
3.7.2. Conexión del osciloscopio Hantek hacia los inyectores	68
3.8. Procedimiento de pruebas inyector Bosch 0445110290	70
3.8.1. Pruebas mecánicas e hidráulicas	70
3.8.2 Pruebas eléctricas	73
3.8.3 Parámetros del inyector.	77
3.9 Procedimiento pruebas de inyector Bosch 0445110293	77
3.9.1 Pruebas mecánicas e hidráulicas.....	77
3.9.2. Pruebas eléctricas	80
3.9.3 Parámetros del inyector.....	85
3.10. Protocolo de extracción de inyectores	85
3.11. Precauciones	87

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y ELECTRÓNICO DE LOS INYECTORES CRDI BOSCH.....	88
4.1. Introducción	88
4.2. Desarrollo de la investigación.....	88
4.3 Pruebas mecánicas.....	89
4.4 Pruebas eléctricas.....	89
4.5 Grados de activación	90
4.6. Inyector CRDI Bosch 04451102126	95
4.6.1 Despiece y nomenclatura de las partes del inyector CRDI 04451102126	96
4.6.2. Análisis de las pruebas a la presión de 300 bar	101
4.6.3. Análisis de las pruebas a la presión de 400 bar.	106
4.6.4. Análisis de las pruebas a la presión de 500 bar	111
4.6.5. Análisis de las pruebas a la presión de 600 bar	116
4.6.6. Análisis de las pruebas a la presión de 700 bar	121
4.6.7. Análisis comparativo de los caudales de inyección y retorno del inyector CRDI Bosch 0445110126 a (300, 400, 500, 600, 700) bar de presión.	126

4.6.8. Análisis de las pruebas eléctricas del inyector CRDI Bosch 0445110126	130
4.6.9. Oscilogramas de voltaje y corriente inyector 0445110126	132
4.6.10. Parámetros del inyector CRDI Bosch 0445110126	143
4.6.11. Ángulo de pulverización.....	145
4.6.12. Presión de retorno	149
4.7. Inyector CRDI Bosch 0445110293	150
4.7.1 Despiece y nomenclatura de las partes del inyector CRDI 0445110293.....	151
4.7.2. Análisis de las pruebas a la presión de 300 bar	152
4.7.3. Análisis de las pruebas a la presión de 400 bar	157
4.7.4. Análisis de las pruebas a la presión de 500 bar	162
4.7.5. Análisis de las pruebas a la presión de 600 bar	167
4.7.6. Análisis de las pruebas a la presión de 700 bar	172
4.7.7. Análisis comparativo de los caudales de inyección y retorno del inyector CRDI Bosch 0445110293 a (300, 400, 500, 600, 700) bar de presión.	177
4.7.8. Análisis de las pruebas eléctricas del inyector CRDI Bosch 0445110293	181
4.7.9. Oscilogramas de voltaje y corriente inyector 0445110293	183
4.7.10. Parámetros del inyector CRDI Bosch 0445110293	195
4.7.11. Ángulo de pulverización.....	197
4.6.12. Presión de retorno	201

CAPÍTULO V

MARCO ADMINISTRATIVO.....	202
5.1. Recursos.....	202
5.1.1. Recursos humanos	202
5.1.2. Recursos físicos.....	203
5.1.3. Recursos materiales	203
5.1.4. Recursos tecnológicos	204
5.1.5. Recursos financieros	205
5.2. Análisis de costo del proyecto	205
5.3. Cronograma de actividades	207

CONCLUSIONES.....	208
RECOMENDACIONES.....	211
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	213

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Ventajas del sistema de inyección CRDI	2
Tabla 2 Variable independiente: Inyectores CRDI Bosch	8
Tabla 3 Variable dependiente: Parámetros mecánicos y eléctricos	8
Tabla 4 Metodología del Proyecto	11
Tabla 5 Presiones máximas de combustible en sistemas common rail.....	37
Tabla 6 Toberas Bosch.	43
Tabla 7 Sistemas common rail	46
Tabla 8 Vehículos con sistema Common Rail marca Bosch.....	47
Tabla 9 Especificaciones técnicas osciloscopio Owon PDS5022T	48
Tabla 10 Especificaciones del osciloscopio Owon.....	50
Tabla 11 Especificaciones técnicas del banco de pruebas CRDI V-3500	53
Tabla 12 Características Tester CRDI V – 3500	54
Tabla 13 Especificaciones técnicas de la pinza amperimétrica	56
Tabla 14 Aplicación inyector Bosch 00445110126	57
Tabla 15 Aplicación inyector Bosch 0445110290	57
Tabla 16 Aplicación inyector Bosch 00445110126	58
Tabla 17 Inspección previa del banco Tester CRDI V-3500	59
Tabla 18 Inspección previa del banco Tester CRDI V-3500	62
Tabla 19 Conexión del osciloscopio a los inyectores.....	66
Tabla 20 Conexión del osciloscopio Hantek 1008c.	68
Tabla 21 Ángulos del inyector Bosch 0445110126.	72
Tabla 22 Procedimiento para la medición de amperaje.	74
Tabla 23 Tabla de datos para las pruebas mecánicas- hidráulicas y eléctricas inyector Bosch 0445110126	75
Tabla 24 Parámetros del inyector	77
Tabla 25 Ángulos del inyector Bosch 0445110293.....	79
Tabla 26 Procedimiento para la medición de amperaje	81
Tabla 27 Tabla de datos para las pruebas mecánicas- hidráulicas y eléctricas inyector Bosch 0445110293	83
Tabla 28 Parámetros del inyector.....	85
Tabla 29 Protocolo extracción de inyectores.	86
Tabla 30 Valores para la realización de las pruebas mecánicas	89
Tabla 31 Análisis de los grados de activación con respecto al tiempo de activación y giro del cigüeñal	94
Tabla 32 Pruebas Mecánicas	97

Tabla 33 Pruebas Eléctricas.....	99
Tabla 34 Prueba del inyector Bosch 0445110126 a una presión de 300 bar con una variación del número de inyecciones o STRK de (250, 500, 750, 990) y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms. Ver (tabla 32 y tabla 33)	101
Tabla 35 Prueba del inyector Bosch 0445110126 a una presión de 300 bar con una variación del número de pulsos de (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms. Ver (tabla 33).....	102
Tabla 36 Prueba del inyector Bosch 0445110126 a una presión de 400 bar con una variación de números de pulsos de (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms. Ver (tabla 32 y tabla 33)	106
Tabla 37 Prueba del inyector Bosch 0445110126 a una presión de 400 bar con una variación de números de pulsos de (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms. Ver (tabla 33).....	107
Tabla 38 Prueba del inyector Bosch 0445110126 a una presión de 500 bar con una variación de números de pulsos de (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms. Ver (tabla 32 y tabla 33)	111
Tabla 39 Prueba del inyector Bosch 0445110126 a una presión de 500 bar con una variación de números de pulsos de (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms. Ver (tabla 33).....	112
Tabla 40 Prueba del inyector Bosch 0445110126 a una presión de 600 bar con una variación de números de pulsos de (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms. Ver (tabla 32 y tabla 33)	116
Tabla 41 Prueba del inyector Bosch 9445110126 a una presión de 600 bar con una variación de números de pulsos de (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms. Ver (tabla 33).....	117
Tabla 42 Prueba del inyector Bosch 0445110126 a una presión de 700 bar con una variación de números de pulsos de (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms. Ver (tabla 32 y tabla 33)	121
Tabla 43 Prueba del inyector Bosch 0445110126 a una presión de 700 bar con una variación de números de pulsos de (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms. Ver (tabla 33).....	122
Tabla 44 Análisis comparativo de los caudales de inyección y de retorno del inyector CRDI Bosch 0445110126 a (300, 400, 500, 600, 700) bar de presión	126

Tabla 45 Análisis comparativo de los caudales de retorno del inyector CRDI Bosch 0445110126 a (300, 400, 500, 600, 700) bar de presión	128
Tabla 46 Características eléctricas del inyector CRDI Bosch 0445110126 a presiones de (300, 400, 500, 600, 700) bar y tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms	130
Tabla 47 Parámetros del inyector CRDI Bosch 0445110126.....	143
Tabla 48 Cálculos de los ángulos de pulverización	146
Tabla 49 Valores obtenidos del cálculo de ángulo de disparo y dispersión	149
Tabla 50 Presión caudal de retorno.....	150
Tabla 51 Prueba del inyector Bosch 0445110293 a una presión de 300 bar con una variación de número de inyecciones o STRK de (250, 500, 750, 990) y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms. Ver (tabla 32 y tabla 33)	152
Tabla 52 Prueba del inyector Bosch 0445110293 a una presión de 300 bar con una variación de números de inyecciones de (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms. Ver (tabla 33).....	153
Tabla 53 Prueba del inyector Bosch 0445110293 a una presión de 400 bar con una variación del número de inyecciones de (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms. Ver (tabla 32 y tabla 33)	157
Tabla 54. Prueba del inyector Bosch 0445110293 a una presión de 400 bar con una variación de números de inyecciones a (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección a (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms. Ver (tabla 33)	158
Tabla 55 Prueba del inyector Bosch 0445110293 a una presión de 500 bar con una variación de número de inyecciones a (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección a (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms. Ver (tabla 32 y tabla 33)	162
Tabla 56 Prueba del inyector Bosch 0445110293 a una presión de 500 bar con una variación de números de inyecciones a (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección a (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms. Ver (tabla 33)	163
Tabla 57 Prueba del inyector Bosch 0445110293 a una presión de 600 bar con una variación del número de inyecciones a (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección a (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms. Ver (tabla 32 y tabla 33)	167
Tabla 58 Prueba del inyector Bosch 0445110293 a una presión de 500 bar con una variación de números de inyecciones a (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección a (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms. Ver (tabla 33)	168
Tabla 59 Prueba del inyector Bosch 0445110293 a una presión de 700 bar con una variación del número de inyecciones a (250, 500,	

750, 990) STRK y con tiempos de inyección a (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms.....	172
Tabla 60 Prueba del inyector Bosch 0445110293 a una presión de 700 bar con una variación de número de inyecciones a (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección a (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms.....	173
Tabla 61 Análisis comparativo de los caudales de inyección inyector CRDI Bosch 0445110293 a (300, 400, 500, 600,700) bar de presión.	177
Tabla 62 Análisis comparativo de los caudales de retorno del inyector CRDI Bosch 0445110293 a (300, 400, 500, 600,700) bar de presión.....	179
Tabla 63 Características eléctricas del inyector CRDI Bosch 0445110293 a presiones de (300, 400, 500, 600, 700) bar y tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms	181
Tabla 64 Parámetros del inyector CRDI Bosch 0445110293.....	195
Tabla 65 Cálculos de los ángulos de pulverización	198
Tabla 66 Valores obtenidos del cálculo de ángulo de disparo y dispersión	201
Tabla 67 Presión caudal de retorno.....	201
Tabla 68 Recursos Humanos	202
Tabla 69 Recursos Físicos	203
Tabla 70 Recursos materiales.....	204
Tabla 71 Recursos Tecnológicos	204
Tabla 72 Recursos Financieros	205

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Árbol de problemas	4
Figura 2 Esquema sistema de inyección diésel Common-Rail	14
Figura 3 Gama de vehículos con motores diésel debido a su alta rentabilidad y aplicaciones comerciales.....	15
Figura 4 Componentes de activación para la inyección del sistema common rail.....	16
Figura 5 Sistema de sobrealimentación por turbocompresor	17
Figura 6 Esquema del sistema de alimentación de alta y baja presión.....	18
Figura 7 Sensor de posición del cigüeñal.....	19
Figura 8 Curva característica del sensor de temperatura NTC (Coeficiente de Temperatura Negativo)	20
Figura 9 Curva característica del sensor del pedal del acelerador	21
Figura 10 Proceso de activación de la válvula electromagnética de alta presión para una inyección	23
Figura 11 Desarrollo del sistema commol rail Bosch.....	25

Figura 12	Desactivación de la electroválvula	28
Figura 13	Límites de emisión de gases	29
Figura 14	Funcionamiento del inyector	31
Figura 15	Esquema del inyector.....	32
Figura 16	Funcionamiento inyector Common- Rail.....	33
Figura 17	Chorros de inyección	35
Figura 18	Agujeros de inyección	36
Figura 19	Oscilograma de inyección	38
Figura 20	Circuito equivalente inyector Bosch	38
Figura 21	Oscilograma inyector Bosch volumen a 2 milisegundos	39
Figura 22	Oscilograma caudal inyector Bosch a 2 milisegundos.....	39
Figura 23	Oscilograma caudal inyector Bosch a 2 milisegundos con daño de tobera.....	40
Figura 24	Características inyector Bosch.....	41
Figura 25	Orificios tobera Bosch	44
Figura 26	Identificación de las toberas	44
Figura 27	Probador de inyectores EPS 100	46
Figura 28	Osciloscopio Owon PDS5022T	49
Figura 29	Unidad exterior Osciloscopio Hantek 1008c para PC.....	51
Figura 30	Tester CRDI V-3500.....	53
Figura 31	CSF clamp multimeter MT 5211	55
Figura 32	Pinza amperimétrica Bran Bee.....	55
Figura 33	Trampa de agua.....	59
Figura 34	Filtro de aceite	59
Figura 35	Control principal de purga	59
Figura 36	Control nivel del fluido.....	59
Figura 37	Recipientes para la pulverización.....	60
Figura 38	Sockets- Bosch.....	60
Figura 39	Cañerías- Bosch	60
Figura 40	Cañerías de retorno- Bosch	60
Figura 41	Entrada de aire	61
Figura 42	Compresor	61
Figura 43	Encendido principal.....	61
Figura 44	Sockets- Bosch	62
Figura 45	Cañerías-Bosch	62
Figura 46	Protectores del inyector	63
Figura 47	Ubicación del inyector	63
Figura 48	Ajuste de cañerías	63
Figura 49	Cañería de retorno	64
Figura 50	Conexión de sockets.....	64
Figura 51	Conexión osciloscopio	66
Figura 52	Colocación de las puntas en el inyector	66
Figura 53	Conexión de los lagartos.....	66
Figura 54	Ajuste de la onda	66

Figura 55	Interface del osciloscopio Owon.....	67
Figura 56	Conexión de las puntas.....	68
Figura 57	Conexión de las puntas en los inyectores	68
Figura 58	Conexión de lagartos en las agujas	68
Figura 59	Conexión cable USB	69
Figura 60	Oscilograma del inyector.....	69
Figura 61	Ajuste de la onda	69
Figura 62	Selección de datos software Hantek 1008c.....	69
Figura 63	Voltaje Batería	74
Figura 64	Onda de corriente	74
Figura 65	Escala amperimétrica.....	74
Figura 66	Conexión de la pinza amperimétrica.	74
Figura 67	Voltaje de la batería	81
Figura 68	Onda de corriente.	82
Figura 69	Escala amperimétrica.....	82
Figura 70	Conexión de la pinza amperimétrica	82
Figura 71	Opción Stop	86
Figura 72	Opción Drain.....	86
Figura 73	Purga del sistema	86
Figura 74	Cañerías de ingreso y retorno de fluido.....	86
Figura 75	Soporte de Inyector.....	87
Figura 76	Protectores del inyector	87
Figura 77	Periodo y giro del cigüeñal en inyección diésel	90
Figura 78	Gráfica pulsos de inyección	91
Figura 79	Análisis de los grados de activación con respecto al tiempo de activación y giro del cigüeñal / independientemente del valor de las presiones y el número de STRK.....	95
Figura 80	Despiece del inyector 0445110126	96
Figura 81	Datos de entrada	97
Figura 85	Tiempo de Disparo.....	97
Figura 83	Tiempo de Retención	97
Figura 84	Caudal de inyección y retorno	98
Figura 85	Datos de entrada	99
Figura 86	Corriente de Activación	99
Figura 87	Voltaje de Activación.....	99
Figura 88	Voltaje de Retención	100
Figura 89	Resistencia de la Bobina.....	100
Figura 90	Inductancia	100
Figura 91	Interpretación gráfica del inyector Bosch 0445110126 a una presión de 300 bar con variación de números de pulsos en (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms, calculando el tiempo de disparo y el tiempo de retención.	103

Figura 92	Interpretación gráfica del inyector Bosch 0445110126 con una presión de 300 bar, variación de número de inyecciones a (250, 500, 750, 990) y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms, calculando el caudal de inyección y retorno	104
Figura 93	Interpretación gráfica del inyector Bosch 0445110126 a una presión de 400 bar con variación de números de pulsos en (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms, calculando el tiempo de disparo y el tiempo de retención.	108
Figura 94	Interpretación gráfica del inyector Bosch 0445110126 con una presión de 400 bar, variación de número de inyecciones a (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms, calculando el caudal de inyección y retorno.	109
Figura 95	Interpretación gráfica del inyector Bosch 0445110126 a una presión de 500 bar con variación de números de pulsos en (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms, calculando el tiempo de disparo y el tiempo de retención.	113
Figura 96	Interpretación gráfica del inyector Bosch 0445110126 a una presión de 500 bar con variación de números de pulsos en (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms, calculando el caudal de inyección y retorno.	114
Figura 97	Interpretación gráfica del inyector Bosch 0445110126 a una presión de 600 bar con variación de números de pulsos en (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms, calculando el tiempo de disparo y el tiempo de retención.	118
Figura 98	Interpretación gráfica del inyector Bosch 0445110126 a una presión de 600 bar con variación de números de pulsos en (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms, calculando el caudal de inyección y retorno.	119
Figura 99	Interpretación gráfica del inyector Bosch 0445110126 a una presión de 700 bar con variación de números de pulsos en (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms, calculando el tiempo de disparo y el tiempo de retención.	123
Figura 100	Interpretación gráfica del inyector Bosch 0445110126 a una presión de 700 bar con variación de números de pulsos en (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms, calculando el caudal de inyección y retorno.	124

Figura 101	Análisis gráfico de los caudales de inyección con variación de número de inyecciones y número de STRK a (300, 400, 500, 600, 700) bar de presión, en referencia a los datos de la tabla 44.	127
Figura 102	Análisis gráfico de los caudales de retorno con variación de número de inyecciones y número de STRK a (300, 400, 500, 600, 700) bar de presión, en referencia a los datos de la tabla 45.	129
Figura 103	Análisis comparativo gráficamente de voltajes de inyección, voltajes de retención con variación del tiempo de inyección y presiones de trabajo a (300, 400, 500, 600, 700) bar del inyector 0445110126.	131
Figura 104	Partes oscilograma de tensión inyector 0445110126.	132
Figura 105	Partes oscilograma de corriente inyector 0445110126.	133
Figura 106	Oscilograma de voltaje, tiempo de inyección 0,25ms inyector CRDI Bosch 0445110126.	134
Figura 107	Oscilograma de corriente, tiempo de inyección 0,25ms del inyector CRDI Bosch 0445110126.	134
Figura 108	Oscilograma de corriente y voltaje, tiempo de inyección 0,25ms del inyector CRDI Bosch 0445110126.	135
Figura 109	Oscilograma de voltaje, tiempo de inyección 0.50 ms inyector CRDI Bosch 0445110126.	136
Figura 110	Oscilograma de corriente, tiempo de inyección 0.25ms del inyector CRDI Bosch 0445110126.	136
Figura 111	Oscilograma de corriente y voltaje, tiempo de inyección 0.50ms del inyector CRDI Bosch 0445110126.	137
Figura 112	Oscilograma de voltaje, tiempo de inyección 1 ms inyector CRDI Bosch 0445110126.	138
Figura 113	Oscilograma de corriente, tiempo de inyección 1 ms del inyector CRDI Bosch 0445110126.	138
Figura 114	Oscilograma de corriente y voltaje, tiempo de inyección 1 ms del inyector CRDI Bosch 0445110126.	139
Figura 115	Oscilograma de voltaje, tiempo de inyección 1.5 ms inyector CRDI Bosch 0445110126.	140
Figura 116	Oscilograma de corriente, tiempo de inyección 1.5 ms del inyector CRDI Bosch 0445110126.	140
Figura 117	Oscilograma de corriente y voltaje, tiempo de inyección 1.5 ms del inyector CRDI Bosch 0445110126.	141
Figura 118	Oscilograma de voltaje, tiempo de inyección 2 ms inyector CRDI Bosch 0445110126.	142
Figura 119	Oscilograma de corriente, tiempo de inyección 2 ms del inyector CRDI Bosch 0445110126.	142
Figura 120	Oscilograma de corriente y voltaje, tiempo de inyección 2 ms del inyector CRDI Bosch 0445110126.	143

Figura 121	Presión manómetro.....	143
Figura 122	Presión manómetro.....	144
Figura 123	Orificios inyector	144
Figura 124	Presión de retorno.....	144
Figura 125	Ángulo de dispersión.....	144
Figura 126	Ángulo de disparo	144
Figura 127	Bomba	145
Figura 128	Tobera	145
Figura 129	Inyector CRDI Bosch 0445110126.....	145
Figura 130	Identificación de las partes del ángulo de pulverización.	146
Figura 131	Distancia del inyector	146
Figura 132	Diámetro del cilindro.	147
Figura 133	Distancia de la punta a los orificios de pulverización.....	147
Figura 134	Ubicación de la medida del inyector.....	147
Figura 135	Diámetro del chorro.....	148
Figura 136	Ángulos de pulverización	148
Figura 137	Presión de retorno.....	150
Figura 138	Despiece del inyector 0445110293	151
Figura 139	Interpretación gráfica del inyector Bosch 0445110293 a una presión de 300 bar con variación de número de inyecciones en (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms, calculando el tiempo de disparo y el tiempo de retención.	154
Figura 140	Interpretación gráfica del inyector Bosch 0445110293 a una presión de 300 bar con variación de número de inyecciones en (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms, calculando el caudal de inyección y retorno.	155
Figura 141	Interpretación gráfica del inyector Bosch 0445110293 a una presión de 400 bar con variación de número de inyecciones en (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms, calculando el tiempo de disparo y el tiempo de retención.	159
Figura 142	Interpretación gráfica del inyector Bosch 0445110293 a una presión de 400 bar con variación de número de inyecciones en (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms, calculando el caudal de inyección y retorno.	160
Figura 143	Interpretación gráfica del inyector Bosch 0445110293 a una presión de 500 bar con variación de número de inyecciones en (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms, calculando el tiempo de disparo y el tiempo de retención.	164

Figura 144	Interpretación gráfica del inyector Bosch 0445110293 a una presión de 500 bar con variación de número de inyecciones en (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms, calculando el caudal de inyección y retorno.	165
Figura 145	Interpretación gráfica del inyector Bosch 0445110293 a una presión de 600 bar con variación de número de inyecciones en (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms, calculando el tiempo de disparo y el tiempo de retención.	169
Figura 146	Interpretación gráfica del inyector Bosch 0445110293 a una presión de 600 bar con variación de número de inyecciones en (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms, calculando el caudal de inyección y retorno.	170
Figura 147	Interpretación gráfica del inyector Bosch 0445110293 a una presión de 700 bar con variación de número de inyecciones en (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms, calculando el tiempo de disparo y el tiempo de retención.	174
Figura 148	Interpretación gráfica del inyector Bosch 0445110293 a una presión de 700 bar con variación de número de inyecciones en (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms, calculando el caudal de inyección y retorno.	175
Figura 149	Análisis comparativo gráficamente del inyector Bosch 0445110293 de los caudales de inyección con variación de número de inyecciones y número de STRK a (300, 400, 500, 600, 700) bar de presión, en referencia a los datos de la tabla 61.	178
Figura 150	Análisis comparativo gráficamente del inyector Bosch 0445110293 de los caudales de retorno con variación de número de inyecciones y número de STRK a (300, 400, 500, 600, 700) bar de presión, en referencia a los datos de la tabla 62.	180
Figura 151	Análisis comparativo gráficamente de voltajes de inyección, voltajes de retención con variación del tiempo de inyección y presiones de trabajo a (300, 400, 500, 600, 700) bar del inyector Bosch 04451101293.	182
Figura 152	Partes oscilograma de tensión inyector 04451101293.	183
Figura 153	Partes oscilograma de corriente inyector 0445110293.	184
Figura 154	Oscilograma de voltaje, tiempo de inyección 0,25ms inyector CRDI Bosch 0445110293.	185

Figura 155	Oscilograma de corriente, tiempo de inyección 0,25ms del inyector CRDI Bosch 0445110293.	185
Figura 156	Oscilograma de corriente y voltaje, tiempo de inyección 0,25ms del inyector CRDI Bosch 0445110293.	186
Figura 157	Oscilograma de voltaje, tiempo de inyección 0,50 ms inyector CRDI Bosch 0445110293.	187
Figura 158	Oscilograma de corriente, tiempo de inyección 0.50ms del inyector CRDI Bosch 0445110293.	187
Figura 159	Oscilograma de corriente y voltaje, tiempo de inyección 0,50ms del inyector CRDI Bosch 0445110293.	188
Figura 160	Oscilograma de voltaje, tiempo de inyección 1 ms inyector CRDI Bosch 0445110293.	189
Figura 161	Oscilograma de corriente, tiempo de inyección 1 ms del inyector CRDI Bosch 0445110293.	189
Figura 162	Oscilograma de corriente y voltaje, tiempo de inyección 1 ms del inyector CRDI Bosch 0445110293.	190
Figura 163	Oscilograma de voltaje, tiempo de inyección 1,5 ms inyector CRDI Bosch 0445110293.	191
Figura 164	Oscilograma de corriente, tiempo de inyección 1,5 ms del inyector CRDI Bosch 0445110293.	191
Figura 165	Oscilograma de corriente y voltaje, tiempo de inyección 1,5 ms del inyector CRDI Bosch 0445110293.	192
Figura 166	Oscilograma de voltaje, tiempo de inyección 2 ms inyector CRDI Bosch 0445110293.	193
Figura 167	Oscilograma de corriente, tiempo de inyección 2 ms del inyector CRDI Bosch 0445110293.	194
Figura 168	Oscilograma de corriente y voltaje, tiempo de inyección 2 ms del inyector CRDI Bosch 0445110293.	194
Figura 169	Presión manómetro.....	195
Figura 170	Presión manómetro.....	195
Figura 171	Orificios inyector	195
Figura 172	Presión de retorno.....	196
Figura 173	Ángulo de dispersión.....	196
Figura 174	Ángulo de disparo	196
Figura 175	Bomba	196
Figura 176	Tobera	196
Figura 177	Inyector CRDI Bosch 0445110293	197
Figura 178	Identificación de las partes del ángulo de pulverización.	197
Figura 179	Distancia del inyector.	198
Figura 180	Diámetro del cilindro.	198
Figura 181	Distancia de la punta a los orificios de pulverización.....	199
Figura 182	Ubicación de la medida del inyector.....	199
Figura 183	Diámetro del chorro.....	199
Figura 184	Ángulo de inyección.	200

Figura 185 Presión de retorno.....	201
-------------------------------------------	-----

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Ángulo de disparo	71
Ecuación 2 Ángulo de dispersión.....	72
Ecuación 3 Ángulo de disparo	79
Ecuación 4 Ángulo de dispersión.....	79
Ecuación 5 Período individual.....	91
Ecuación 6 Ángulo individual.....	91
Ecuación 7 Grado de activación para un tiempo de inyección de 0,25ms.	92
Ecuación 8 Grado de activación para un tiempo de inyección de 0,50ms.	92
Ecuación 9 Grado de activación para un tiempo de inyección de 1ms.....	93
Ecuación 10 Grado de activación para un tiempo de inyección de 1.5ms...	93
Ecuación 11 Grado de activación para un tiempo de inyección de 2ms.....	93
Ecuación 12 Grado de activación para el tiempo de disparo 0,090ms.	94
Ecuación 13 Cálculo Tiempo de Retención	98

RESUMEN

La tecnología en los sistemas de inyección diesel avanzan conforme las necesidades y prestaciones lo requieran como, por ejemplo: En el caso del de inyección directa por conducto común, este sistema reduce la emisión de gases contaminantes gracias a la mezcla estequiométrica más eficiente, proporcionando las siguientes ventajas: menor consumo de combustible, tiempos de inyección más precisos, reducción de ruidos en el motor, y la más importante es que permite el control del suministro de combustible electrónicamente a la cámara de combustión logrando preparar mejor la mezcla para una combustión óptima. El presente proyecto consiste en el análisis del comportamiento mecánico y electrónico del inyector marca Bosch serie 00445110290 y 0445110293 del sistema de inyección diesel CRDI determinando parámetros para un recomendable funcionamiento, estableciendo una base de datos permitiendo a estudios futuros servir de guía para nuevos análisis relacionados con este tema de investigación. Para el desarrollo de este proyecto se utilizan herramientas y equipos de alta tecnología cuales con: TESTER VNP – 3500 CRDI, osciloscopio Hantek 1008c, osciloscopio Owon, LCR multímetro MT 5211, pinza amperimétrica Brain Bee, analizando los oscilogramas que nos brindan estos equipos tecnológicos ya mencionados, constituyendo las características de funcionamiento de los inyectores a diferentes parámetros de operación en el sistema de inyección CRDI.

PALABRAS CLAVE:

- **AUTOMÓVILES DIESEL**
- **SISTEMA DE INYECCIÓN**
- **INYECTORES BOSCH**
- **INDUCTANCIA**

ABSTRACT

Technology in diesel injection systems are moving as the needs and benefits so require, such as: in the case of the of direct injection for common duct, this system reduces the emission of pollutant gases by mixing stoichiometric more efficient, providing the following advantages: less fuel consumption, more precise injection times, reduction of noise in the engine, and the most important is that it allows the control of fuel supply electronically to the combustion chamber making better prepare the mixture for optimum combustion. This project consists in the analysis of the mechanical and electronic behavior of the injector brand Bosch series 0445110290 and 0445110293 injection system diesel CRDI determining parameters for a recommended operation, establishing a base data allowing future studies provide guidance for new analyses related to this research theme. Of high-tech tools and equipment are used for the development of this project which with: TESTER VNP - 3500 CRDI, oscilloscope Hantek 1008c, oscilloscope Owon, LCR multimeter MT 5211, clamp meter Brain Bee, analyzing the waveforms to us They provide these technological equipment already mentioned, becoming CRDI injection system performance characteristics of injectors to different operating parameters.

KEYWORDS:

AUTOMOBILE-DIESEL

INJECTION SYSTEM

INJECTORS BOSCH

INDUCTANCE

CAPÍTULO I

MARCO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Antecedentes

En la última década las grandes ciudades como México, Madrid y Barcelona regulan la emisión de gases tóxicos tales como: Óxido Nitroso (NOx) o Hidrocarburos no combustionados (HC), En Quito se genera el 20 % de las emisiones de monóxido de carbono a nivel nacional producidos por automotores que utilizan como combustible diesel. Cabe destacar que, si se tiene un estudio de los sistemas que trabajan en base al combustible diesel conociendo el comportamiento de ciertos elementos claves tales como inyectores y bomba de alta presión, se puede desarrollar planes de mantenimiento para reducir la contaminación ambiental.

(Casanova, 2014) afirma. “El sistema CRDI Bosch CP1 tiene una bomba eléctrica de baja presión situada en el tanque de combustible, que es la encargada de transferir el combustible desde el tanque hacia la bomba de alta presión. Al comprobar que esta presión baja, se encuentra trabajando dentro de los límites recomendados (1 a 3 bares de presión aproximadamente) se verifica que el sistema CRDI (Common Rail Diesel Injection) opera normalmente; por ende, las emisiones contaminantes pueden ser controladas”.

(Cobo, 2009) afirma. “Al igual que la bomba de alta presión los inyectores son comandados mediante la computadora, para proveer el caudal necesario según el requerimiento del motor, se conecta por medio de un socket que llega a una bobina donde controla el tiempo de apertura del inyector, puede presentarse averías como: fallas eléctricas suscitadas por alzas y bajas de tensión provocadas por el alternador o batería; así mismo la inadecuada

manipulación al momento de realizar la conexión de los inyectores, puede ocasionar un cortocircuito en la bobina, un análisis eléctrico en los inyectores nos ayuda a controlar un trabajo erróneo en el sistema”.

Existen algunas ventajas del sistema de inyección CRDI:

Tabla 1

Ventajas del sistema de inyección CRDI

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

Fuente: (Coral, 2013)

De acuerdo a (Arrègle, 1997) afirma. “En el Departamento de Máquinas y Motores Térmicos de la UPV (Universidad Politécnica de Valencia) se han realizado numerosas tesis doctorales donde se tratan temas desde el modelado de inyectores hasta el estudio del comportamiento del chorro, pasando por la influencia de la geometría de la tobera de inyección en el flujo interno”.

El autor (Salvador, 2003) afirma. “Que realizó un profundo estudio sobre los efectos que puede tener la geometría de los orificios de inyección sobre el flujo en su interior y el posterior efecto sobre el desarrollo del chorro. Gran parte de este trabajo se enfocó al estudio de la cavitación y sus consecuencias para el comportamiento de la inyección”.

(Bosch R. , 2005) define qué. “El inyector controla la presión de inyección a través de la cámara de control, la función de la válvula de dos vías es controlar la presión dentro de la cámara, evitando que haya fugas de combustible, la generación de presión de inyección es independiente del

número de revoluciones del motor y del caudal de inyección, el comienzo de inyección se controla con el sistema ángulo-tiempo mediante el inyector activado eléctricamente por medio de la EDC (regulación electrónica diesel).” (p.29)

En el manual (Electronics., 2010) señala que. “El inyector dispone en su interior u dispositivo piezoeléctrico, que es el encargado de producir el movimiento mecánico necesario para posibilitar la inyección de combustible, el elemento piezoeléctrico está formado por unas placas metálicas separadas por un dieléctrico de cuarzo.” (p.1)

Por lo tanto, esta investigación se basa en el análisis del comportamiento mecánico y electrónico de los inyectores Bosch; para establecer una base de datos que permita apreciar los parámetros correctos de operación de los inyectores y de esta manera lograr un óptimo desempeño dentro del sistema CRDI, dando como resultado la disminución de gases contaminantes al medio ambiente, mimos que son perjudiciales para la salud de la población.

1.2. Planteamiento del problema

En su mayoría autos que utilizan diesel en sus motores de combustión interna según el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) durante el año 2014, se matricularon en el país 1.752.712 vehículos. Destacando que, del total de vehículos matriculados, el 56 % son vehículos que apenas tienen entre uno y siete años de uso. (Años 2008-2014). El número de vehículos con tipo de combustible diesel es de 194.942 vehículos.

Al contar con un alto número de vehículos que utilizan diesel y en su mayoría son modelos nuevos como Hyundai, Kia, Great Wall, Mercedes, Volkswagen, la probabilidad de que utilicen inyectores con el sistema CRDI (Common Rail Diesel Injection) al menos un 60 %. Estableciendo parámetros de control que ayuden a mantener estos en buenas condiciones de

funcionamiento y esto a su vez permita la reducción de al menos el 10% de emisiones de gases contaminantes.

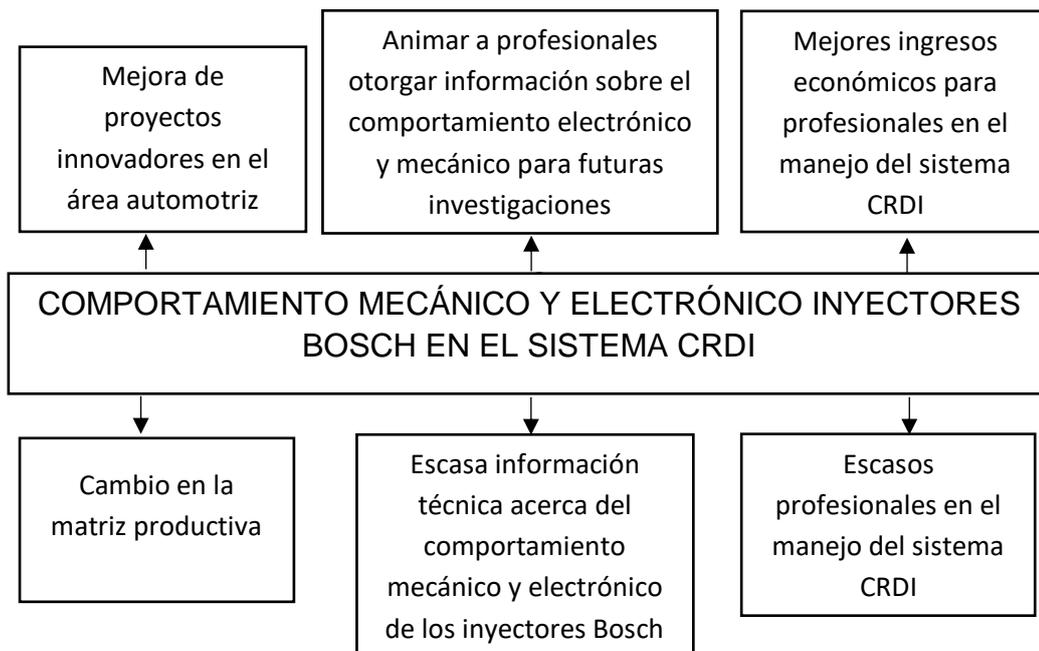


Figura 1 Árbol de problemas

1.3. Descripción resumida del proyecto

La investigación del comportamiento mecánico y electrónico de los inyectores marca Bosch, serie “0 445 110 290” y “0 445 110 293” del sistema de inyección CRDI (Common Rail Diesel Injection), abarca los siguientes puntos:

En Inicio, se tomó información de fuentes confiables como son: libros, tesis, manuales, fichas técnicas, normas y publicaciones gubernamentales, que permitan sustentar técnica y metodológicamente la investigación. Seguido a esto se realizan las pruebas de parámetros de funcionamiento de los inyectores Bosch entre las cuales, se encuentran: pruebas de caudal, pulverización, eléctricas de corriente de activación, voltaje de activación resistencia de la bobina, impedancia e inductancia en el banco de pruebas Marca VNP modelo CRDI - 3500.

En tercer grado se procedió a analizar el comportamiento de los inyectores Bosch a través del uso de oscilogramas e interfaces, señales eléctricas y electrónicas; dando como resultado la tabulación de los datos obtenidos para generar un registro que permita observar el comportamiento de los inyectores Bosch CRDI, mismos que serán presentados de forma técnica y científica en una base de datos que servirá de guía para que 1 técnicos automotrices lo utilicen de mejor manera.

1.4. Justificación e importancia

En el país durante la última década el mercado automotriz se ha desarrollado de tal manera, que cuenta con una importante participación dentro de la economía, debido a los rubros que esta actividad genera (PRO ECUADOR, 2017, p.3). La producción y venta de automotores diesel se ha incrementado entre un 10% y 12% ya que la contaminación emitida por este tipo de vehículos es menor en comparación a los que utilizan gasolina.

La ventaja de utilizar un sistema CRDI, en un motor diesel es que permite controlar el consumo de combustible y emisiones contaminantes dependiendo de los requerimientos del motor.

Los inyectores más utilizados dentro del país son los de marca Bosch, es por ello que el estudio del sistema CRDI es muy importante, debido a que de esta manera se analizara el comportamiento mecánico y electrónico de este tipo de inyectores, cabe recalcar que dentro del país las investigaciones de esta índole son muy pocas, lo que incrementa el valor de la investigación, misma que servirá de base en posteriores estudios

En este sentido la investigación se torna trascendental debido a que permitirá obtener información relevante con la cual se desarrollará un protocolo de pruebas y metodologías que permitan obtener el desempeño mecánico y electrónico de los inyectores Bosch. De esta manera, se establecerá el rango

de funcionamiento y desempeño de estos sistemas CRDI Bosch así mismo se obtendrá información tecnológica - científica, es por ello que los principales beneficiarios estudiantes de Ingeniería Automotriz, técnicos y maestros involucrados con temas relacionados a este tema de investigación.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Investigar el comportamiento mecánico y electrónico de los inyectores marca Bosch “00 445 110 290” Y “0 445 110 293” para generar información técnica, y relevante de los parámetros de operación de los inyectores CRDI.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Analizar la información en fuentes bibliográfica, manuales y datos técnicos confiables que permitan el desarrollo del proyecto planteado.
- Determinar la marca y años de los vehículos que hagan uso de este tipo de inyectores marca Bosch.
- Realizar el protocolo de pruebas que permita verificar el comportamiento mecánico y eléctrico de los inyectores Bosch.
- Establecer parámetros de funcionamiento óptimo de los inyectores mediante la variación de tiempo de inyección, número de inyecciones y presión.
- Ejecutar las pruebas para el comportamiento mecánico a los inyectores marca Bosch, las cuales son: pruebas de caudal, de pulverización.
- Realizar las pruebas para el comportamiento eléctrico-electrónico de los inyectores CRDI marca Bosch.
- Tabular los datos obtenidos para generar una base de datos de las variaciones de los tiempos de activación y de retención, así como de

los voltajes respectivamente comparando los parámetros medidos

- Analizar los resultados efectuados en la investigación.
- Establecer los recursos necesarios para un estudio del comportamiento mecánico y electrónico de los inyectores Bosch

1.6. Metas

Generar una base de datos técnica que disponga de los parámetros óptimos de funcionamiento de los inyectores marca Bosch CRDI, con el fin de que esta información sea de ayuda para futuras investigaciones académicas, misma que se llevara a cabo durante el periodo de un año

1.7. Hipótesis

La investigación del desempeño mecánico y electrónico de los inyectores Bosch “00 445 110 290” Y “0 445 110 293” permitirá establecer el comportamiento de los parámetros de operación del sistema de inyectores CRDI que se realiza en los vehículos Marca Kia, y Great Wall modelos Sportage y Wingle respectivamente.

1.8. Variables de investigación

- **Variable Independiente:** Inyectores CRDI Bosch
- **Variable dependiente:** Parámetros mecánicos y eléctricos

1.9. Cuadro de operacionalización de variables

- **Variable Independiente:** Inyectores CRDI Bosch

Tabla 2

Variable independiente: Inyectores CRDI Bosch

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Son los parámetros que se medirán en el sistema en varios puntos de funcionamiento en donde nos demuestra el conjunto de piezas que posee el inyector el encargado de provocar un fino aerosol y atomizar dentro de la cámara de combustión.	Tecnología	Número de orificios del inyector	#	Observación	Guía de laboratorio
	Tecnología	Presión de operación	Bar	Medición	Guía de laboratorio
	Tecnología	Tipo de tobera	Corta-larga	Observación	Guía de laboratorio
	Tecnología	Largo del talio	Mm	Medición	Guía de laboratorio
	Tecnología	Presión de retorno	Bar	Medición	Guía de laboratorio
	Tecnología	Tipo de boquilla	diseño	Observación	Guía de laboratorio
	Tecnología	Ángulos de cono de pulverización	°	Medición	Guía de laboratorio

- **Variable Dependiente:**

Parámetros mecánicos y eléctricos

Tabla 3

Variable dependiente: Parámetros mecánicos y eléctricos

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
El inyector common rail contiene la boquilla de inyección, válvula de solenoide y conexiones eléctricas e hidráulicas para accionar el	Tecnología	Caudal	$\frac{cm^3}{min}$	Medición	Protocolo de pruebas de laboratorio
	Tecnología	Angulo de pulverización	°	Medición	Protocolo de pruebas de laboratorio
	Tecnología	Estanqueidad	Bar	Medición	Protocolo de pruebas de laboratorio

CONTINÚA



módulo de la boquilla. En cada cilindro del motor, se instala un inyector conectado al raíl mediante una línea corta de alta presión, por el cual el combustible es aspirado directamente del depósito de combustible.	Tecnología	Corriente de activación	A	Medición	Protocolo de pruebas de laboratorio
	Tecnología	Voltaje de activación	V	Medición	Protocolo de pruebas de laboratorio
	Tecnología	Resistencia	Ohm	Medición	Protocolo de pruebas de laboratorio
	Tecnología	Impedancia	Ohm	Medición	Protocolo de pruebas de laboratorio
	Tecnología	Inductancia	H	Medición	Protocolo de pruebas de laboratorio

1.10. Metodología de la investigación

- **Método Inductivo**

Para el desarrollo de esta investigación fue necesario la aplicación de este método ya que se requiere el razonamiento de las diferentes situaciones presentadas durante la elaboración de las pruebas mecánicas y eléctricas de los inyectores marca Bosch, de esta manera con los resultados obtenidos proponer una base teórica la cual contenga las realidades de la investigación a base del análisis de los hechos.

- **Método deductivo**

La investigación se enfoca principalmente en las afirmaciones de los parámetros característicos de los inyectores como son la inductancia, presión, resistencia, voltaje de activación, voltaje de retención y tiempos respectivamente, mismas que permitirán establecer una base de datos para el funcionamiento óptimo de los inyectores en el sistema

CRDI que regulara el consumo de combustible y la reducción de gases contaminantes.

- **Método analítico**

Se utilizó este método debido a los valores medidos mediante el TESTER VNP 3500 CRDI a los inyectores Bosch de los cuales se utilizaron para analizar su comportamiento mecánico y eléctrico que inciden en el sistema de inyección CRDI.

- **Método experimental**

La utilización de este método es importante dentro de la investigación ya que es necesario el desarrollo de cada una de las pruebas de laboratorio pertinentes en conjunto con los inyectores, para determinar de esta manera los parámetros mecánicos y eléctricos que permiten estudiar el buen funcionamiento del sistema CRDI.

- **Método comparativo**

Este método permitió establecer variaciones en los parámetros analizados de los inyectores basándose en datos y valores previamente establecidos por los fabricantes de los inyectores Bosch, realizando una comparación con los resultados tabulados y analizados se comparan con marcas de inyectores existentes en el mercado local y que tengan acogida de los usuarios.

- **Método de observación directa**

Este método permitió establecer variaciones en los parámetros analizados de los inyectores basándose en datos y valores previamente establecidos por los fabricantes de los inyectores Bosch, realizando una comparación con los resultados tabulados y analizados

se comparan con marcas de inyectores existentes en el mercado local y que tengan acogida de los usuarios.

Tabla 4

Metodología del Proyecto

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
Método inductivo	Para el desarrollo de esta investigación fue necesario la aplicación de este método ya que se requiere el razonamiento de las diferentes situaciones presentadas durante la elaboración de las pruebas mecánicas y eléctricas de los inyectores marca Bosch, de esta manera con los resultados obtenidos proponer una base teórica la cual contenga las realidades de la investigación a base del análisis de los hechos.	Osciloscopio Owom Banco de pruebas CRDI V-3500	Autotrónica
Método deductivo	La investigación se enfoca principalmente en las afirmaciones de los parámetros característicos de los inyectores como son la inductancia, presión, resistencia, voltaje de activación, voltaje de retención y tiempos respectivamente, mismas que permitirán establecer una base de datos para el funcionamiento óptimo de los inyectores en el sistema CRDI que regulara el consumo de combustible y la reducción de gases contaminantes.	Inyector CRDI marca Bosch	Autotrónica
Método Analítico	Se utilizó este método debido a los valores medidos mediante el TESTER VNP 3500 CRDI a los inyectores Bosch de los cuales se utilizaron para analizar su comportamiento mecánico y eléctrico que inciden en el sistema de inyección CRDI.	Osciloscopio Owom Banco de pruebas CRDI V-3500	Autotrónica

CONTINÚA



Método experimental	<p>La utilización de este método es importante dentro de la investigación ya que es necesario el desarrollo de cada una de las pruebas de laboratorio pertinentes en conjunto con los inyectores, para determinar de esta manera los parámetros mecánicos y eléctricos que permiten estudiar el buen funcionamiento del sistema CRDI.</p>	<p>Osciloscopio Owom Banco de pruebas CRDI V-3500</p>	Autotrónica
Método comparativo	<p>Este método permitió establecer variaciones en los parámetros analizados de los inyectores basándose en datos y valores previamente establecidos por los fabricantes de los inyectores Bosch, realizando una comparación con los resultados tabulados y analizados se comparan con marcas de inyectores existentes en el mercado local y que tengan acogida de los usuarios.</p>	Computador personal	Autotrónica
Método de observación directa	<p>Este método permitió establecer variaciones en los parámetros analizados de los inyectores basándose en datos y valores previamente establecidos por los fabricantes de los inyectores Bosch, realizando una comparación con los resultados tabulados y analizados se comparan con marcas de inyectores existentes en el mercado local y que tengan acogida de los usuarios.</p>	<p>Osciloscopio Owom Banco de pruebas CRDI V-3500</p>	Autotrónica

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Fundamentos del sistema de inyección diésel con CRDI

Según (Joaquín, 2010) afirma. “El sistema Common Rail (Conducto Común) fue inventado por los ingenieros de la empresa Magnetti Marelli y Alfa Romeo, pero no lograron desarrollar con éxito el sistema y fue Bosch quien patentó la inyección. También se le da el nombre de inyección por acumulador de combustible, en este sistema la generación de presión y la inyección se realizan de forma separada, ya que la generación de presión es mecánica, mientras que la inyección es electrónica (ver figura 2).

Una bomba de pistones axiales ubicada en el motor se encarga de generar una presión continua, esta presión se acumula en el conducto común y suministra el combustible a los inyectores por medio de tuberías cortas; una unidad electrónica se encarga de regular el avance y la cantidad necesaria de gasoil de manera individual para cada inyector y a cualquier régimen de funcionamiento del motor.

De esta manera se consigue una de las principales premisas de una buena inyección: caudal y avance individual para cada cilindro. El hecho de disponer de una bomba independiente para la alta presión da la posibilidad de tener una alta presión incluso a bajas revoluciones con las ventajas que ello conlleva. Por otro lado, las electro-válvulas de los inyectores ofrecen la ventaja de inyectar en varias etapas (pre inyección, inyección principal y post inyección) en el momento justo y con la cantidad de gasoil necesaria para cada estado del motor.

Con este sistema además de lograr mejoras de potencia importantes en el motor y reducir los niveles de sonoridad se consigue rebajar los índices de polución de manera considerable, en las versiones de 1ª generación en HDI (High pressure Diesel Injection) del grupo PSA (Peugeot Société Anonyme) se cumplen las normas L3: Euro 96 , estando por debajo de la norma Euro 3 para diésel que está en vigor desde el año 2000 en Europa y cercana a la Euro 4, severa norma, que reduce las emisiones en un 50 % con respecto a la anterior y que entrará en vigor en el año 2005”(p. 3).

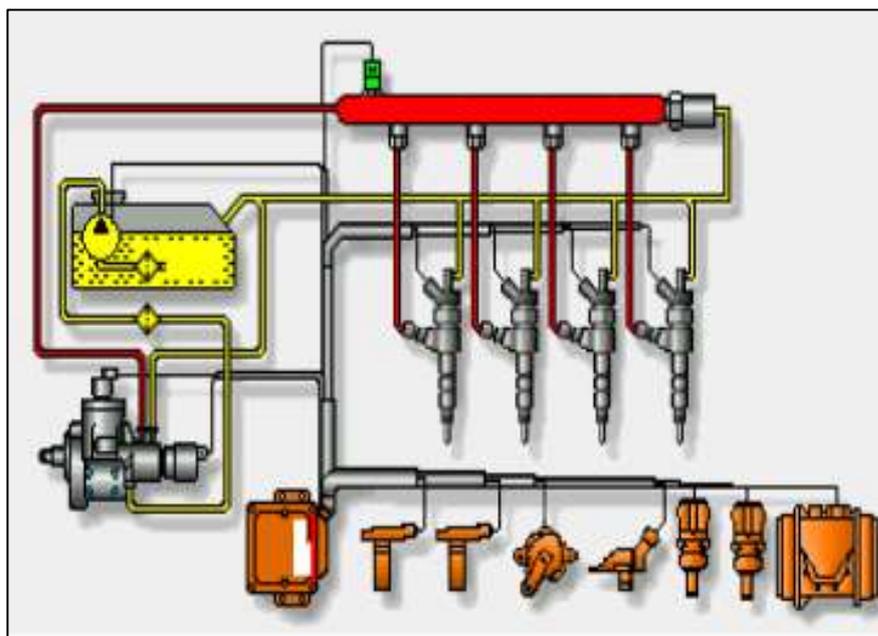


Figura 2 Esquema sistema de inyección diésel Common-Rail

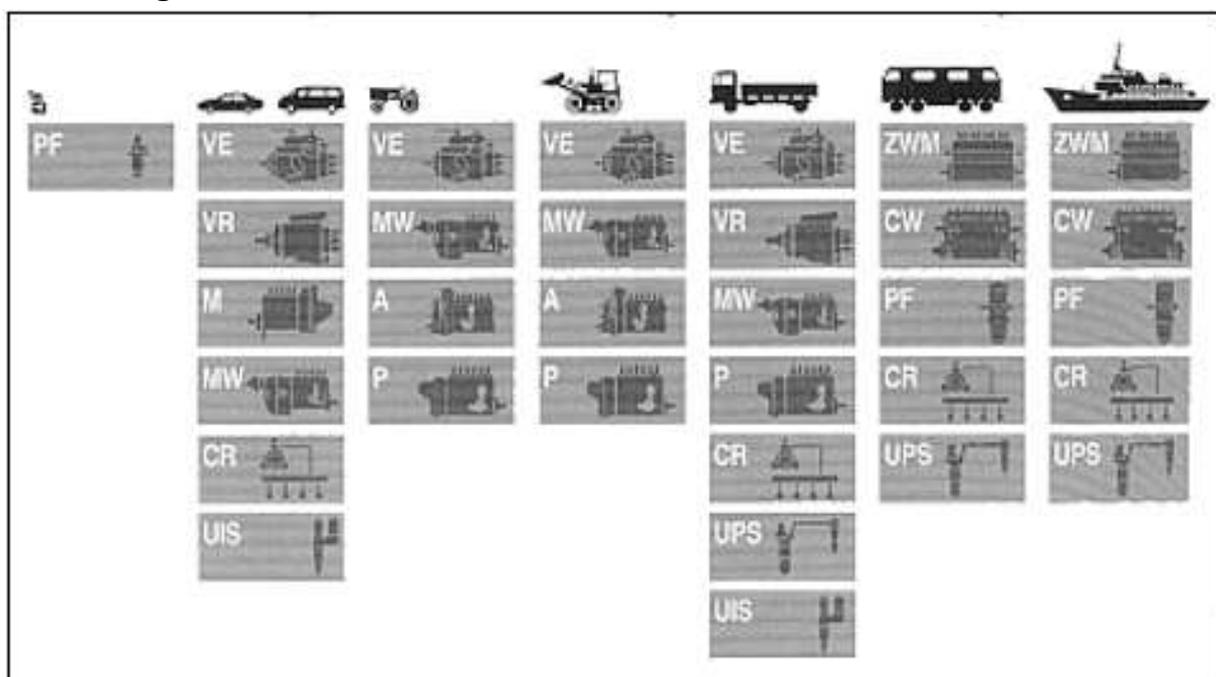
Fuente: (Joaquín, 2010)

(Castro & Salazar, 2015) afirma. “El motor diésel requiere de sistemas de inyección que cumplan parámetros de funcionamiento exigentes, entre estos se tiene presiones de trabajo de aproximadamente 1800 bar, presiones de inyección que se adapten a las condiciones de trabajo desde 200 a 1800 bar incluyendo inicios de inyección variable con características de inyecciones previas y posteriores que hacen del motor diésel eficiente.

El sistema de inyección CRDI determina parámetros de funcionamiento propios en presión e inyección a diferencia de sus antecesores sistemas convencionales de bomba en línea y rotativa de accionamiento directo. Al generar presión de inyección de forma independiente de las revoluciones por minuto del motor y del volumen de combustible a inyectar en función de rangos de trabajo definidos.

Dentro del sistema de inyección CRDI se encuentra una extensa gama de vehículos con motores diésel debido a su alta rentabilidad y aplicaciones comerciales, que a continuación se detallan (ver figura 3)” (p.3).

Figura 3 Gama de vehículos con motores diésel debido a su alta



rentabilidad y aplicaciones comerciales

Fuente: (Bosch R. , 2005)

2.1.1. Principio de funcionamiento

(Bosch R. , 2005) afirma. “El control del sistema de inyección Common Rail está a cargo del sistema de Regulación Electrónica Diésel (EDC), mediante la interacción de sensores y actuadores.” (p.6)

2.1.2. Componentes de activación para la inyección del sistema common rail

(Bosch R. , 2002) afirma.” Que la presión en el riel de inyectores (3) y con ello la presión de inyección, es generada por la bomba de alta presión (1) de forma independiente de las revoluciones por minuto del motor y del caudal de inyección, el control de esta presión esta monitoreada por el circuito de regulación para la presión de riel compuesto por el sensor de presión (4), la unidad de control del motor (5) y la válvula reguladora de presión (8). El proceso de inyección diésel lo controla el inyector (6) mediante la electroválvula de alta presión (7)” (p.58) (ver figura 4).

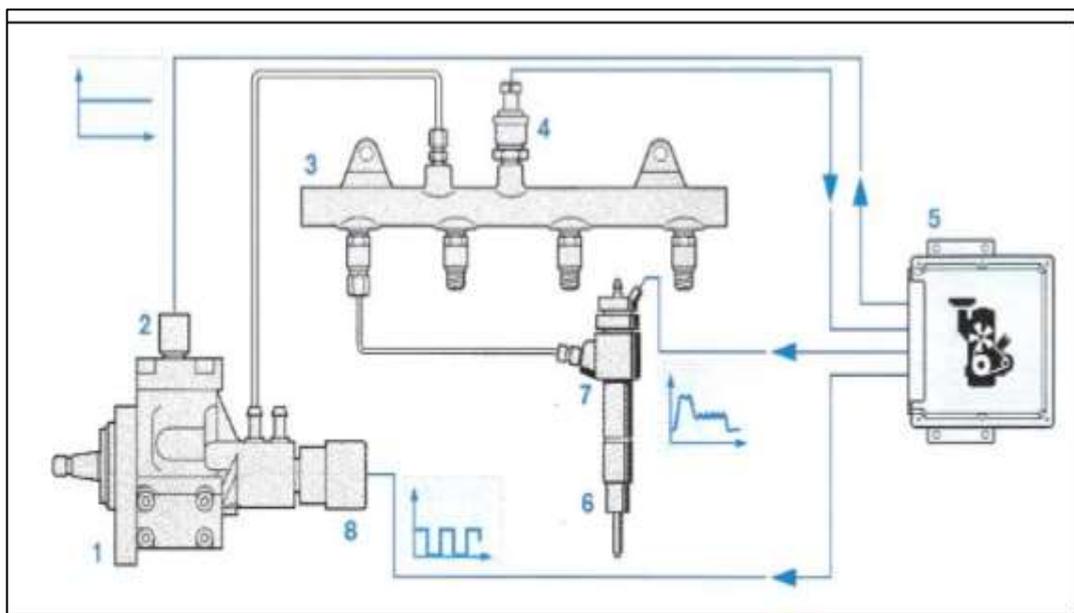


Figura 4 Componentes de activación para la inyección del sistema common rail

Fuente: (Bosch R. , 2002)

2.2. Sistemas de sobrealimentación por turbocompresor

La alimentación en los motores diésel se realiza introduciendo por separado el aire y el combustible en el interior de los cilindros, el aire durante el tiempo de combustión puede alcanzar los 600 °C, mientras que el combustible se inyecta a alta presión, mismos que se mezclan en el interior de la cámara de combustión para producir la combustión (ver figura 5).

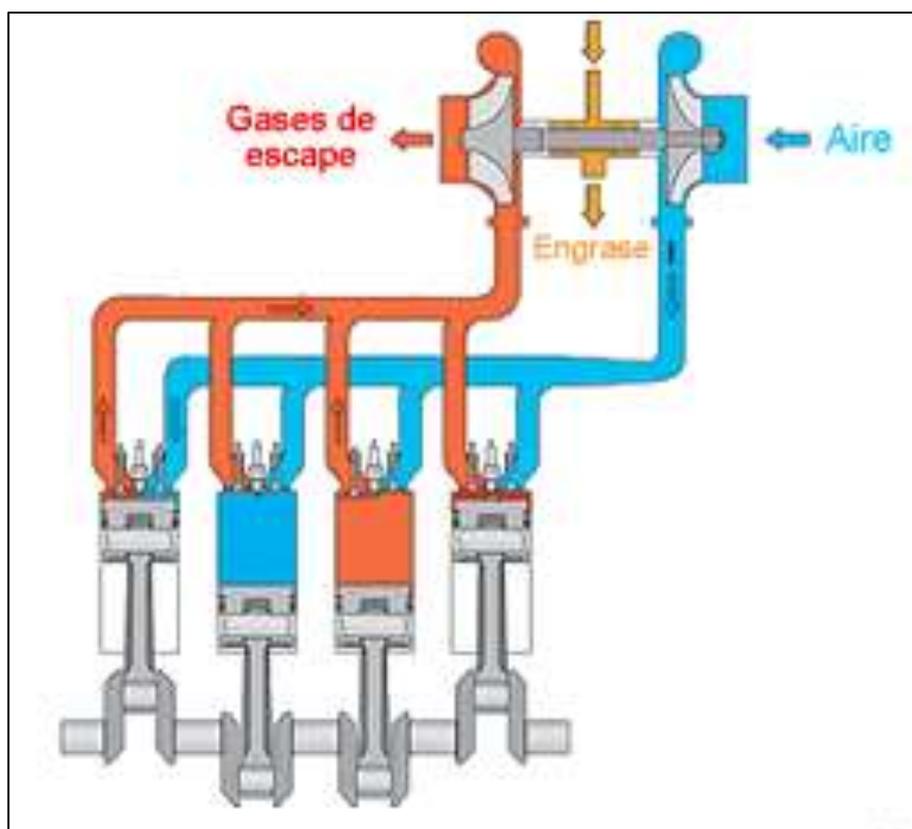


Figura 5 Sistema de sobrealimentación por turbocompresor

Fuente: (Coral, 2013)

Este sistema consta de dos partes: (ver figura 6) el sistema de alta presión y de baja presión, que consta de una bomba eléctrico que suministra el diésel a la bomba de alta presión, misma que se eleva a un valor aproximado desde los 4 hasta los 6 bares desde el encendido, y a su vez este comprime el combustible desde los 150 bares hasta los 1500 bares y lo envía a la cámara de combustión (Common Rail).

La computadora mide la presión del acumulador y se encarga de atenuar los golpes de la bomba de alta presión para enviar la presión a cada uno de los inyectores y estos actúan en función de la orden del acelerador lo que permite la salida del combustible, una vez cortada la señal del acelerador se abre el circuito del inyector y se corta el ingreso del combustible.

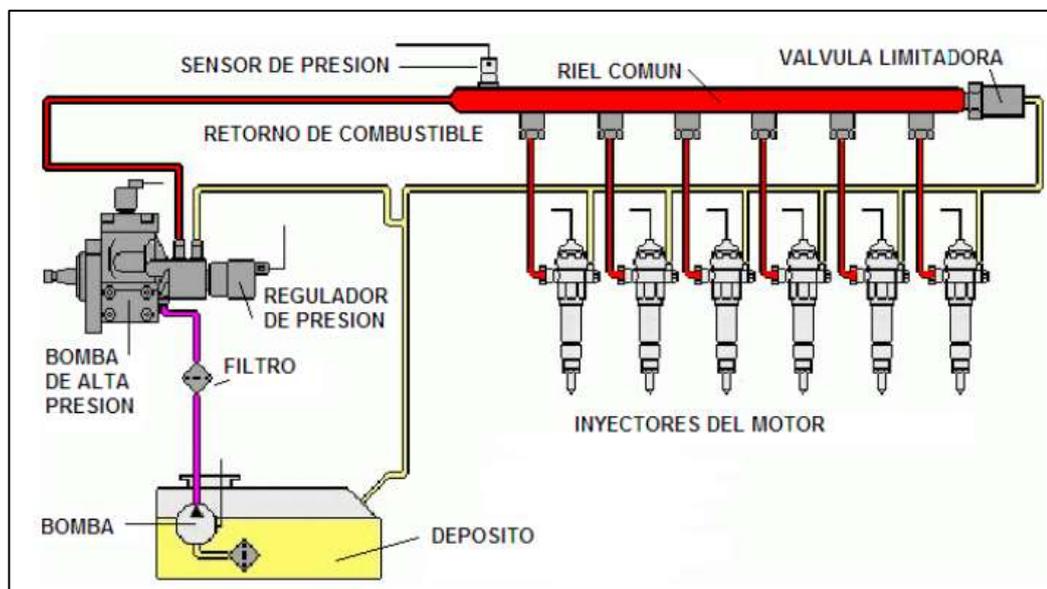


Figura 6 Esquema del sistema de alimentación de alta y baja presión

Fuente: (Coral, 2013)

2.3. Inyectores

2.3.1. Inyector common rail con válvula electromagnética

(Bosch R. , 2005) afirma. “Dentro del sistema de inyección diésel Common Rail el componente principal es el inyector, es el encargado de inyectar diésel en el motor de forma sincronizada. Estos poseen una válvula de conmutación rápida (válvula electromagnética o piezoeléctrica), la cual es la encargada de conmutar la apertura y cierre del inyector. Mediante este sistema se puede controlar de manera separada la inyección de cada cilindro “(p.5).

La fase de inyección se controla mediante la regulación electrónica diésel (EDC) con el sistema ángulo-tiempo que se obtiene por la interacción de los sensores de posición del árbol de levas y cigüeñal.

- **Sensor del cigüeñal**

Este sensor es de tipo inductivo (ver figura 7) funciona mediante la variación del campo magnético generada por el paso de los dientes de la rueda dentada que se encuentra situada al interior del block y fijada al contrapeso del cigüeñal. La rueda dentada se encuentra conformada por 58 dientes más un espacio equivalente al hueco ocupado por dos dientes suprimidos, que a su vez constituyen la base para detectar el punto de sincronismo, PMS.

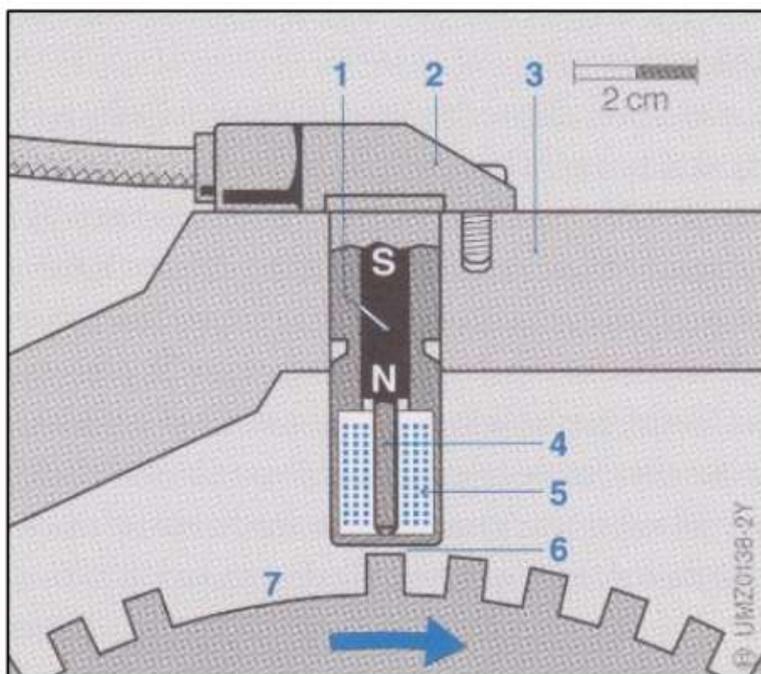


Figura 7 Sensor de posición del cigüeñal

Fuente: (Bosch R. , 2002)

- **Sensor de temperatura**

(Bosch R. , 2002) afirma. “El sensor posee un componente termo sensible de material semiconductor que generalmente posee un coeficiente de temperatura negativo (NTC), es decir que su resistencia es inversamente proporcional a la temperatura. Y cuya resistencia está conformada por un circuito divisor de tensión alimentada por 5V; la curva característica del sensor temperatura - resistencia (ver figura 8) manifiesta la relación entre la temperatura y la resistencia o tensión de salida” (p.21).

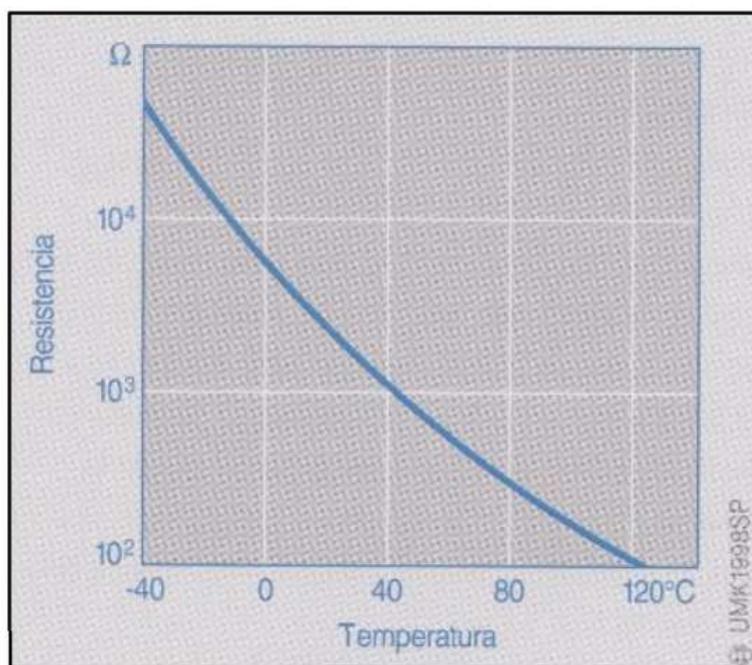


Figura 8 Curva característica del sensor de temperatura NTC (Coeficiente de Temperatura Negativo)

Fuente: (Bosch R. , 2002)

- **Sensor del pedal del acelerador**

(Bosch R. , 2002) afirma. “El deseo de aceleración de marcha constante o de reducir la velocidad lo manifiesta el conductor en un motor de mando convencional accionándolo con el pedal acelerador a la válvula

mariposa o a la bomba de inyección. Mientras el motor este equipado con un sistema de mando electrónico, un sensor de pedal acelerador (también llamado transmisor de posición del pedal), realiza la función de la unión mecánica. El detecta el recorrido o la posición angular del pedal y lo transmite eléctricamente a la unidad de control del motor (ver figura 9) curva característica del sensor del pedal del acelerador recorrido versus voltaje” (p.32).

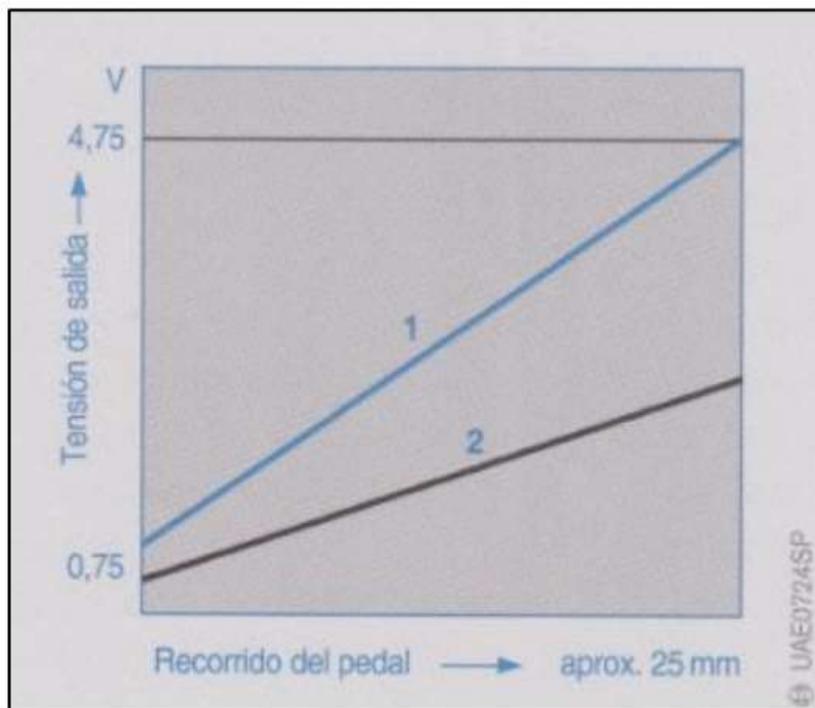


Figura 9 Curva característica del sensor del pedal del acelerador

Fuente: (Bosch R. , 2002)

2.3. Inyectores

El inyector es la pieza fundamental en el sistema de inyección de combustible ya que tiene la misión de realizar la pulverización de una pequeña cantidad de combustible y de esparcir el chorro homogéneamente por toda la cámara de combustión o en el múltiple de admisión (colector) según sea el caso.

En los últimos 20 años se ha reducido la utilización del sistema de inyección mecánica por una bomba inyectora en línea en la cual el inyector era activado por una leva y el cierre se lo hace mediante un resorte, en la actualidad se ha reemplazado este sistema por uno electrónico para poder abrir más o menos tiempo y con más o menos presión el inyector y de esta manera poder regular el ingreso del combustible en la cámara de combustión.

A los inyectores se les exige caudales de preinyección e inyección múltiples muy pequeños, además de que la preparación de la mezcla entre aire y diésel debe ser óptima ya que esto generara la disminución de emisiones de gases de escape y la reducción permanente del nivel de ruido del motor.

2.3.1. Inyector common rail con válvula electromagnética

(Bosch R. , 2005) afirma. “Dentro del sistema de inyección diésel common rail el componente principal es el inyector que es el encargado de inyectar diésel en el motor de forma sincronizada. Estos poseen una válvula de conmutación rápida (válvula electromagnética o piezoeléctrica), la cual es la encargada de conmutar la apertura y cierre del inyector. Mediante este sistema se puede controlar de manera separada la inyección de cada cilindro “(p.5).

La fase de inyección se controla mediante la regulación electrónica diesel (EDC) con el sistema ángulo-tiempo que se obtiene por la interacción de los sensores de posición del árbol de levas y cigüeñal.

(Bosch R. , 2005) afirma. “El proceso de activación de la válvula electromagnética del inyector se divide en cinco fases en las cuales se determinará los estados de reposo e inyección.”

A continuación, se detalla (ver figura 10):

- Fase de apertura (a)
- Fase de corriente inicial de arranque (b)
- Transición a la fase de corriente de mantenimiento (c)
- Fase de corriente de mantenimiento (d)
- Desconexión (e)

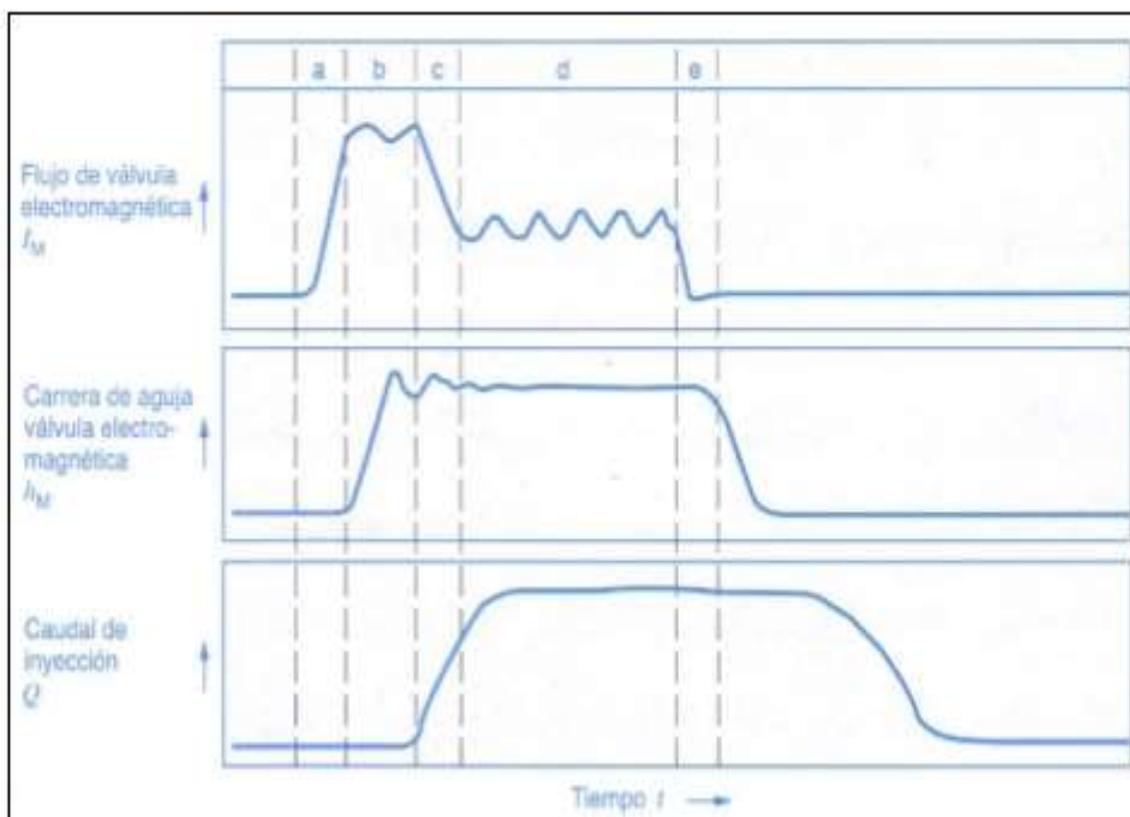


Figura 10 Proceso de activación de la válvula electromagnética de alta presión para una inyección

Fuente: (Bosch R. , 2005)

(Smith & Hashemi, 2006) afirman. “Dentro de los materiales de fabricación de piezas automotrices se encuentran el hierro y sus aleaciones, estos representan casi 90 por ciento de la producción mundial de metales,

sobre todo por su satisfactoria combinación de resistencia, tenacidad y ductilidad a costo relativamente bajo “(p. 359).

2.3.2. Principio de funcionamiento del inyector

(Dohle, Kampmann, Hammer, Wintrich, & Hinrichsen, 2004) afirman. “El combustible suministrado por la bomba de inyección llega a la parte superior del inyector y desciende por el canal practicado en la tobera o cuerpo del inyector hasta llegar a una pequeña cámara situada en la base, que cierra la aguja del inyector posicionado sobre un asiento cónico con la ayuda de un resorte, situado en la parte superior de la aguja, que mantiene el conjunto cerrado.

El combustible, sometido a una presión muy similar el muelle, levanta la aguja y es inyectado en el interior de la cámara de combustión. Cuando la presión del combustible desciende, por haberse producido el final de la inyección en la bomba, el resorte devuelve a su posición a la aguja sobre el asiento del inyector y cesa la inyección.”(Ver figura 11) se indica del desarrollo de los sistemas Common Rail por BOSCH se muestran en la siguiente figura.

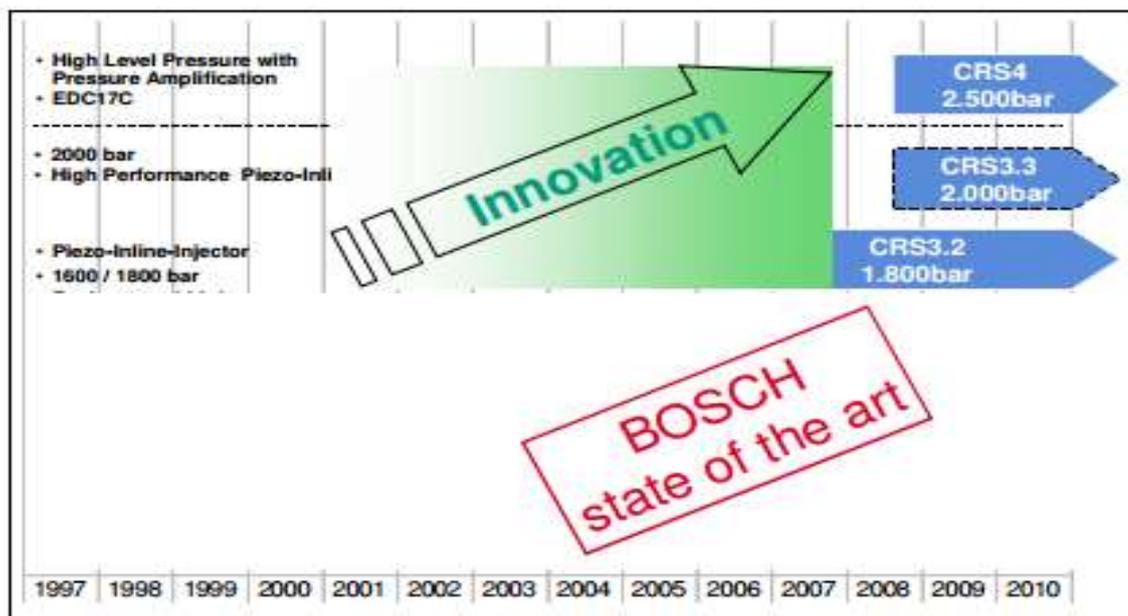


Figura 11 Desarrollo del sistema control rail Bosch

Fuente: (Dohle, Kampmann, Hammer, Wintrich, & Hinrichsen, 2004)

El funcionamiento del inyector está dividido en cuatro estados de servicio, con el motor en marcha y a la bomba de alta presión en funcionamiento. Mediante la distribución de las fuerzas en los componentes del inyector estos estados de servicio son regulables, si el motor no se encuentra en funcionamiento no existe presión en el acumulador la presión de un muelle mantiene el inyector cerrado.

Estados de servicio

Inyector cerrado (con alta presión presente)

La electroválvula está desactivada, de esta manera el estrangulamiento de salida está cerrada, esto hace que la presión del combustible sea igual tanto en la cámara de control como en el volumen de

cámara de la tobera por lo que la aguja del inyector permanece ajustada sobre el asiento de la tobera, presionado por el muelle del inyector.

Apertura del inyector (comienzo de inyección)

(Castillejo, 2014) afirma.” La fuerza del electroimán activado ahora es superior a la fuerza del muelle de la válvula. El inducido levanta la bola de la válvula de su asiento y abre el estrangulador de salida. Tras un breve periodo de tiempo se reduce la corriente de atracción a una corriente de mantenimiento de menor intensidad en el electroimán. Con la apertura del estrangulador de salida puede fluir el combustible desde la cámara de control de válvula a la cámara hueca situada encima y volver al depósito de combustible a través de las tuberías de retorno. El estrangulador de entrada impide una compensación completa de la presión y disminuye la presión en la cámara de control de válvula. Esto conduce a que la presión en la cámara de control sea menor que la presión existente en la cámara de la tobera. La reducción de la presión en la cámara de control de la válvula conduce a una disminución de la fuerza sobre el émbolo de mando y da lugar a la apertura de la aguja del inyector. En este momento comienza la inyección” (p.98).

Inyector totalmente abierto

(Castillejo, 2014) afirma.” La velocidad de apertura de la aguja del inyector queda determinada por la diferencia de flujo entre el estrangulador de entrada y el de salida. El émbolo de mando alcanza su tope superior y permanece retenido ahí mediante un volumen de combustible con efecto amortiguador (tope hidráulico). Este volumen se produce por el flujo de combustible que se establece entre el estrangulador de entrada y de salida. La tobera del inyector está ahora totalmente abierta y el combustible es inyectado en la cámara de combustión con una presión prácticamente

equivalente a la existente en el acumulador. La distribución de fuerzas en el inyector es similar a la existente durante la fase de apertura. El caudal de combustible es, con una presión determinada, proporcional al tiempo de conexión de la válvula electromagnética y es independiente del número de revoluciones del motor o de la bomba (inyección controlada temporalmente)“(p.98).

Cierre del inyector (final de inyección)

(Castillejo, 2014) afirma. “(ver figura 12) en el momento en que se desactiva la electroválvula, el muelle presiona el inducido hacia abajo y la bola de la válvula cierra el estrangulador de salida. Al cerrarse el estrangulador de salida se genera de nuevo en la cámara de control una presión equivalente a la existente en el acumulador, a través del estrangulador de entrada. Este aumento de presión supone un incremento de fuerza ejercido sobre el émbolo de mando. La fuerza generada en la cámara de control de válvula y la fuerza del muelle superan ahora la fuerza del volumen de la cámara de tobera sobre la aguja, por lo que ésta se cierra sobre su asiento y finaliza la inyección. La velocidad de cierre de la aguja queda determinada por el flujo proveniente del estrangulador de entrada. La activación indirecta de la aguja del inyector se efectúa mediante un sistema de servo asistencia hidráulica debido a que la válvula electromagnética no es capaz de generar directamente la fuerza necesaria para abrir rápidamente la aguja. Los volúmenes de control y de fuga en las guías en la aguja y el émbolo se conducen de nuevo al depósito de combustible a través de la tubería de retorno de combustible “(p.98-99).

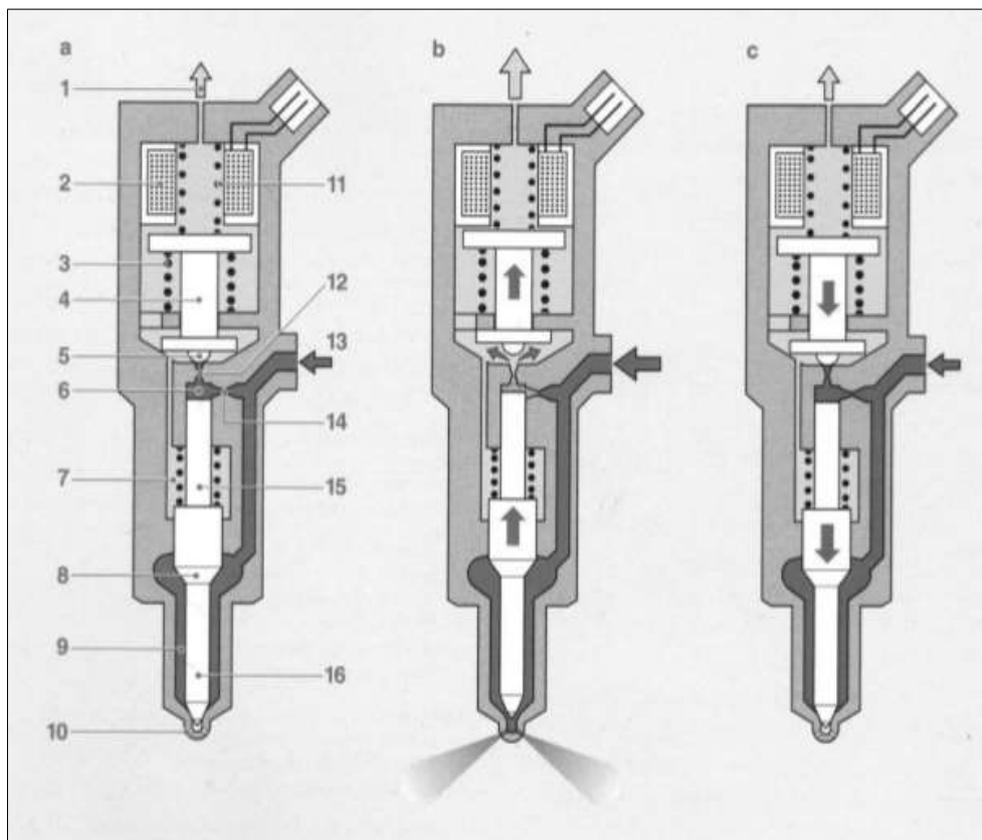


Figura 12 Desactivación de la electroválvula

Fuente: (Castillejo, 2014)

a. estado de reposo, b. inyector abierto, c. inyector cerrado (1. Retorno de combustible, 2. Bobina electromagnética, 3. Muelle de sobrecarrera, 4. Inducido magnético, 5. Bola de válvula, 6. Cámara de control de la válvula, 7. Muelle del inyector, 8. Resalte de presión de la aguja del inyector, 9. Volumen de la cámara, 10. Orificio del inyector, 11. Muelle de válvula electromagnética, 12. Estrangulador de salida, 13. Empalme de alta presión, 14. Estrangulador de alimentación, 15. Embolo de la válvula, 16. Aguja del inyector)

2.3.3. Contaminantes

Muchas soluciones de potencia han entregado los inyectores de 3ra y 4ta generación de BOSCH- Common Rail Systems ya que su diseño mantiene una moderna ingeniería para alcanzar potencias de hasta 70kW/l.

Simultáneamente mantenerse en los límites de emisión futuros EURO 5 (ver figura 13).

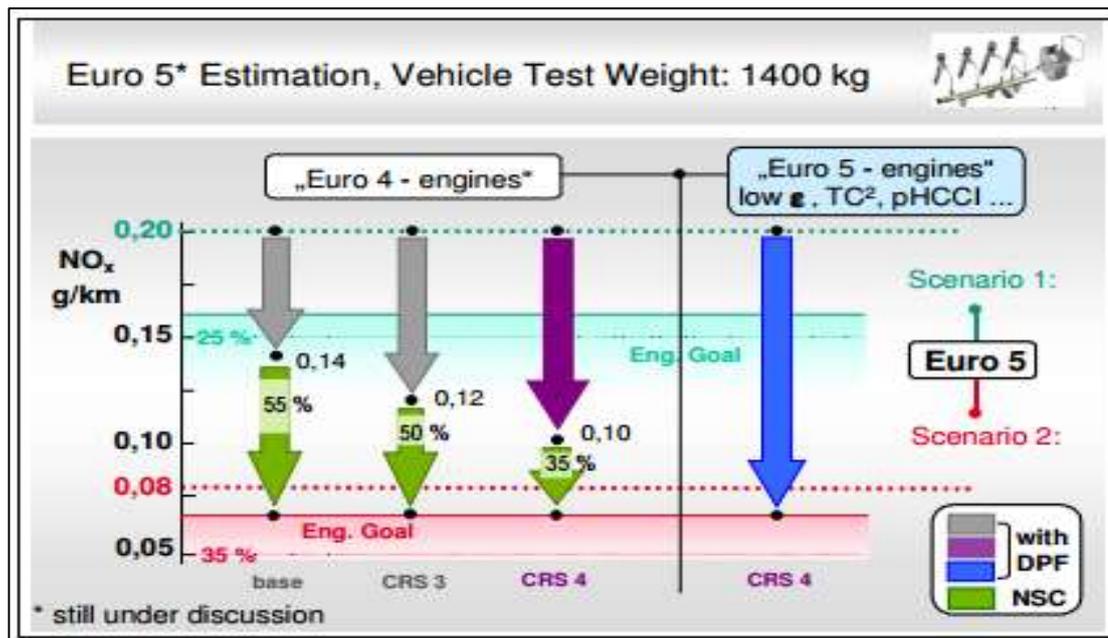


Figura 13 Límites de emisión de gases

Fuente: (Dohle, Kampmann, Hammer, Wintrich, & Hinrichsen, 2004)

(Casanova 2014) afirman. “El tiempo óptimo de inyección es un factor muy importante en la reducción de emisiones de gases en un motor diésel. El inicio de la combustión está determinado por el inicio de la inyección. El retraso de la inyección reduce las emisiones de oxígeno y nitrógeno. El exceso de retraso en la inyección aumenta la emisión de hidrocarburos. Las desviaciones del inicio de la inyección a partir del valor nominal por cada 10 grados de ángulo del cigüeñal pueden aumentar la emisión de Óxido Nitroso (NO_x) o Hidrocarburos no quemados (HC) en aproximadamente un 15%” (p.9-10).

2.3.4. Funcionamiento del inyector.

(Kia Motors, 2012) afirma.” El inyector está en su posición de reposo (ver figura 14). La válvula solenoide es energizada con la corriente de captación la

que sirve para asegurar que esta abra rápidamente. La fuerza ejercida por el solenoide activado ahora excede la del resorte de la válvula y el inducido abre el orificio de descarga. Casi inmediatamente, el alto nivel de la corriente de captación se reduce a una corriente extensa de retención requerida para el electroimán. Esto es posible debido a que la separación del circuito magnético ahora es menor. Cuando se abre el orificio de drenaje, el combustible puede fluir desde la cámara de la válvula de control a la cavidad situada sobre ella y desde ahí al tanque a través de la línea de retorno. El orificio de descarga previene el balance completo de presión y la presión en la cámara de la válvula de control es absorbida como resultado. Esto conduce a que la presión en la cámara de la válvula de control sea inferior que la de la cámara de la tobera que está todavía al mismo nivel de presión del riel. La reducción de presión en la cámara de la válvula de control provoca una reducción en la fuerza ejercida en el vástago de control, como resultado se abre la aguja de la tobera y comienza la inyección. La velocidad de apertura de la aguja es determinada por la diferencia en la relación de flujo a través de los orificios de descarga y alimentación. El vástago de control alcanza su tope máximo si permanece soportado por una almohadilla de combustible que se genera por el flujo de combustible entre los orificios de descarga y alimentación. La tobera del inyector ahora está completamente abierta y el combustible es inyectado en la cámara de combustión a una presión casi igual que en comparación con la del riel de combustible. La distribución de fuerza en el inyector es similar a la que existe durante la fase de inyección “(p. 23).

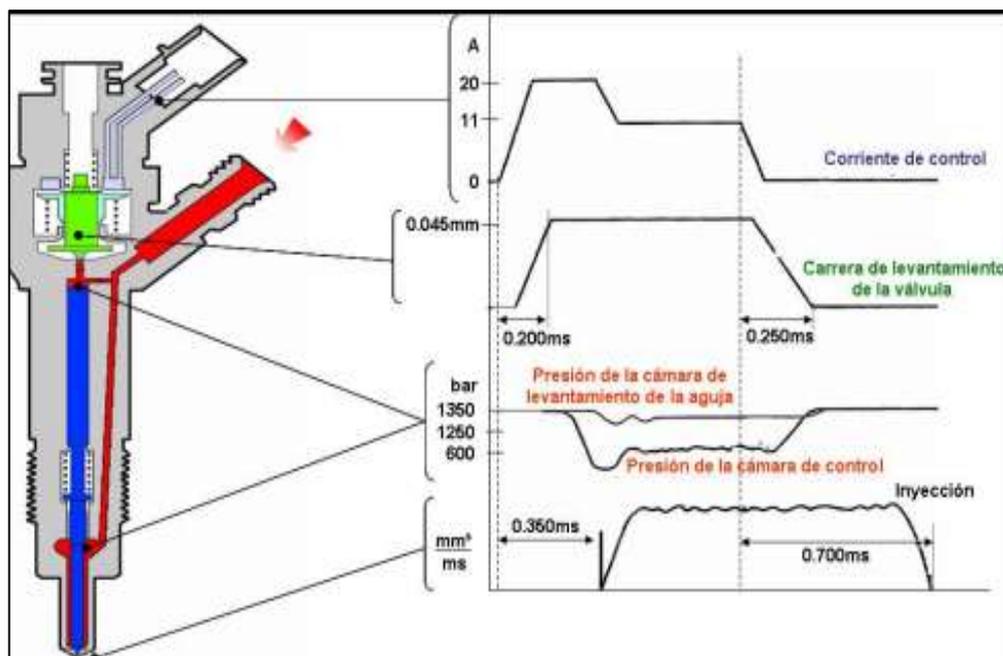


Figura 14 Funcionamiento del inyector

Fuente: (Kia Motors, 2012)

(Payri, Climent, Salvador, & Favennec, 2004) afirman.” La parte más compleja e importante de este tipo de sistemas es el inyector. Se muestra un esquema de un inyector genérico de un sistema common rail (ver figura 15). El inyector se compone de: Una tobera multiorificio, con un muelle presionando la aguja de la tobera contra su asiento. Una varilla, P, que se mueve solidariamente con la aguja de la tobera en el proceso de inyección. Un orificio, E, que suministra el combustible a un volumen de control donde se encuentra la parte superior de la varilla. Un orificio, S, de salida del volumen de control, cuya apertura y cierre están controlados por una válvula solenoide. En la figura 16, está representado un esquema de un inyector common rail, el cual se va emplear para explicar el funcionamiento del inyector.”

(Payri, Tormos, Salvador, & Plazas, 2005)afirman.

“En este esquema se muestran las partes más importantes del inyector, de arriba a abajo: electro-válvula (en este caso accionada por solenoide), volumen de control, varilla, aguja y tobera de inyección. El combustible a alta presión procedente del rail entra al inyector donde se produce una bifurcación

en dos conductos. Uno que se dirige hacia la parte baja del inyector, que es el que alimenta a la tobera, y otro, que alimenta al volumen de control, en la parte superior de la varilla, a través del orificio calibrado de entrada, E.

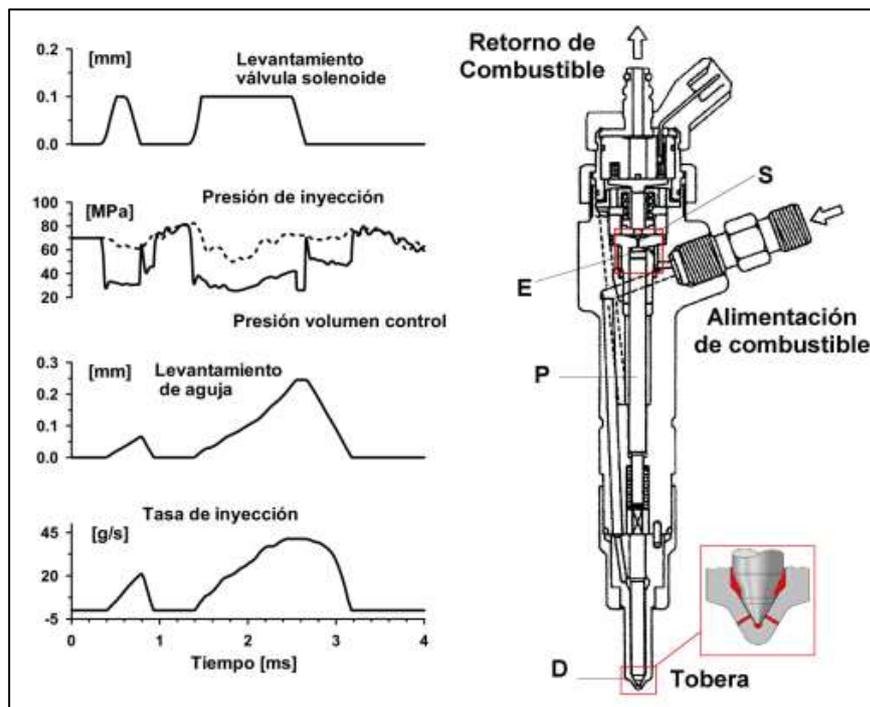


Figura 15 Esquema del inyector

Fuente: (Payri, Climent, Salvador, & Favennec, 2004)

Cuando el solenoide está desactivado, el orificio S se encuentra cerrado (ver figura 16 a). La presión del combustible, igual a la del common rail, actúa en la parte superior de la varilla, a través del orificio E, y en la parte inferior de la aguja de la tobera. Al ser la sección superior de la varilla mayor que la inferior de la aguja, además de la acción de la fuerza de pretensión del muelle, la aguja permanece en su asiento y los orificios de la tobera cerrados. Una vez activado el solenoide, se abre el orificio S y como consecuencia, se reduce la presión en el volumen de control (ver figura 16b).

En esta situación la presión en la parte superior de la varilla es menor que la de la parte inferior de la aguja, produciéndose el levantamiento del conjunto

varilla-aguja, y destapándose los orificios de descarga de la tobera, generando la inyección. El caudal de control liberado a través del orificio S vuelve al depósito a la espera de volver a ser inyectado. Al desactivar de nuevo la válvula del solenoide (ver figura 16c), el orificio S se cierra, y la presión ejercida sobre la parte superior de la varilla se recupera, produciendo el descenso del conjunto varilla-aguja y, como consecuencia, el cierre de los orificios de la tobera y el final de la inyección.”

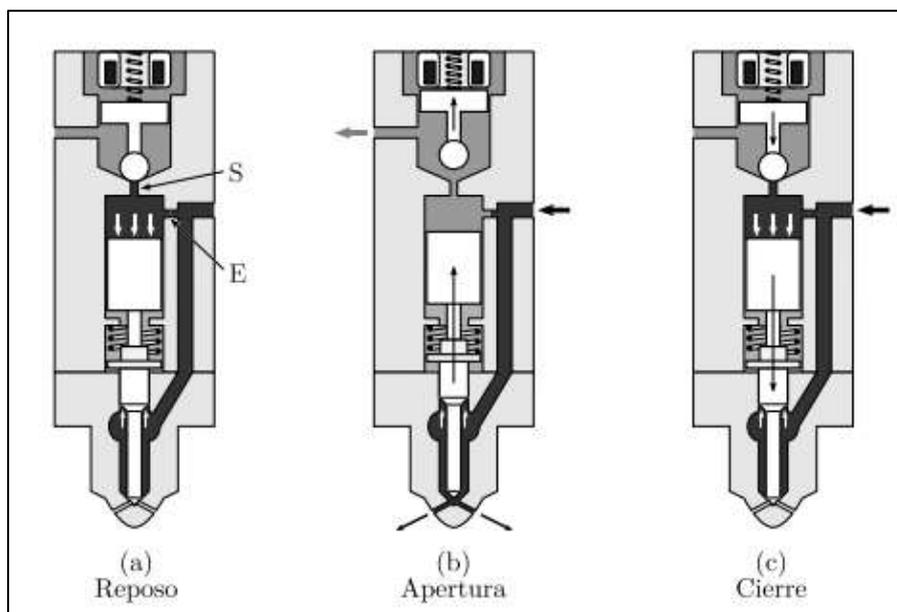


Figura 16 Funcionamiento inyector Common- Rail

Fuente: (Payri, Tormos, Salvador, & Plazas, 2005)

2.4. Activación del inyector

Fase de apertura

(Bosch R. , 2005) afirma. “Para abrir la válvula electromagnética debe incrementarse primero la corriente, con un flanco definido aproximadamente 20 A, para conseguir una reducida tolerancia y una elevada capacidad de reproducción de caudal de inyección. Esto se consigue mediante una tensión de refuerzo de hasta 60V. Se genera en la unidad de control y se almacena

en un acumulador de tensión de refuerzo (condensador) la corriente aumenta con más rapidez aplicando una alta tensión en la válvula electromagnética “(p. 32).

En el manual Cise Electronics (2010) afirma. “La PCM vuelve a la alimentación de la batería y mantiene los 20 A de suministro con esto evita el sobrecalentamiento por potencia eléctrica, la PCM mantiene el voltaje de 12V, pero reduce la corriente sobre el solenoide aproximadamente a 12 A, con esta reducción de corriente se libera energía la cual es enviada al condensador y almacenada” (p. 3-4).

Fase de corriente inicial de arranque

(Bosch R. , 2005) afirma. “En la fase de corriente inicial de arranque, la batería suministra la tensión a la válvula electromagnética, esto contribuye a una apertura rápida, la corriente inicial de arranque se limita con una regulación de corriente aproximadamente 22A” (p. 32).

Fase de corriente de mantenimiento

(Bosch R. , 2005) afirma. “En la fase de mantenimiento se reduce la corriente a 15 A para disminuir la potencia perdida en la unidad de control y en el inyector, al reducir la corriente inicial de arranque hasta la corriente de mantenimiento, se libera energía, esta es conducida hacia el acumulador de tensión de refuerzo” (p. 30).

Para que exista un comportamiento de inyección ideal, el comportamiento de la Inyección con Common Rail debe cumplir con las siguientes exigencias:

- La presión de inyección y el caudal de inyección deben poder establecerse de forma independiente entre sí, para cada punto de servicio del motor.
- El caudal de inyección debe ser lo más reducido posible durante el inicio de la inyección.

2.5. Ángulo de apertura del chorro

(Bosch R. , 2005) afirma. “El chorro de inyección de los motores de los turismos es largo y estrecho, donde estos motores generan una elevada turbulencia en la cámara de combustión. En los motores de los vehículos industriales existe mucha menos turbulencia, por lo que el chorro es más corto y ancho. Los chorros de inyección (ver figura 17) no deben impactar unos con otros, ni siquiera en caso de existir una gran turbulencia, ya que de lo contrario se inyectaría combustible en los sectores en los cuales ya se hubiera producido una combustión, pobres en aire. Esto originaría una fuerte generación de hollín” (p.55).

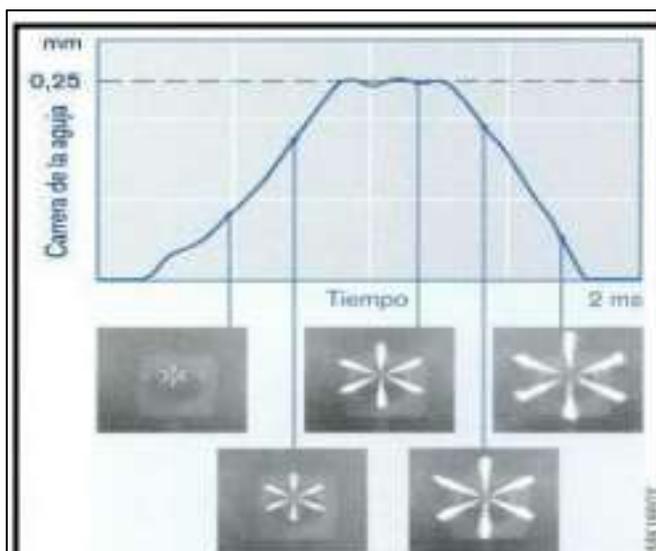


Figura 17 Chorros de inyección

Fuente: (Bosch R. , 2005)

(Bosch 2005) afirma. “La posición de montaje es determinada principalmente por el diseño del motor. Los agujeros de inyección (ver figura 18) dispuestos bajo diferentes ángulos tienen que estar orientados en forma idónea respecto a la cámara de combustión.

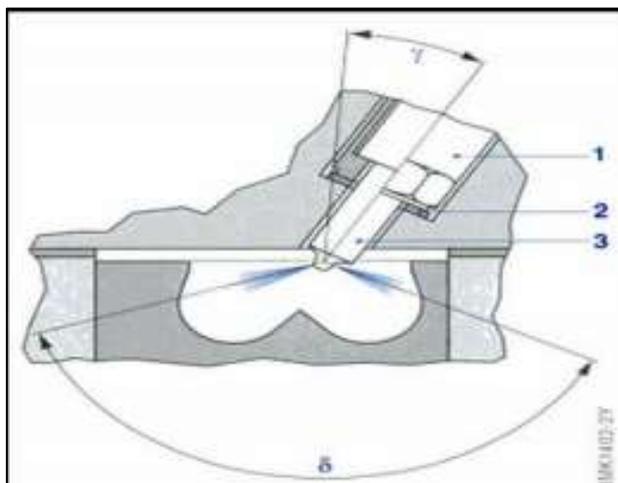


Figura 18 Agujeros de inyección

Fuente: (Bosch R. , 2005)

γ . Inclinación, δ . Ángulo de conicidad de la inyección, 1. Porta inyector o inyector, 2. Arandela estanqueizante, 3. Inyector de orificios. L

Los inyectores de orificios se dividen en inyectores de orificios ciegos e inyectores de orificios en asiento. Además, los inyectores de orificios se distinguen por su tamaño constructivo entre: modelo P, con un diámetro de aguja de 4 mm (inyectores de orificios ciegos y de orificios en asiento), o modelo S, con un diámetro de aguja de 5 y 6 mm (inyectores de orificios ciegos para motores grandes)” (p. 52).

(Payri, Tormos, Salvador, & Plazas, 2005) afirman. “Se suele definir como el ángulo que forman dos rectas que se ajustan al contorno del chorro, y que se cruzan en el orificio del inyector. Como la penetración, depende de la geometría del inyector y de las condiciones de inyección, así como de las propiedades del combustible y de las condiciones ambientales donde se

inyecta. En el proceso de atomización, el chorro diésel se abre a la salida del orificio, y tras un pequeño transitorio, el ángulo se mantiene constante a lo largo del tiempo. A la hora de estudiar el ángulo del chorro hay que tener cierta precaución ya que su determinación ni es universal, ni es fácil de definir, con lo que se trata de una medida relativamente imprecisa y heterogénea. Así, la determinación del ángulo de chorro puede estar afectada por aspectos tan diversos como: la técnica de visualización utilizada, la intensidad y homogeneidad de la iluminación, criterio de obtención a partir del contorno del chorro, las fluctuaciones que pueda tener ese contorno, etc. Todos estos factores tienen como consecuencia que la medida de ángulo sea relativamente imprecisa y poco comparable de un autor a otro.”

Tabla 5

Presiones máximas de combustible en sistemas common rail

MARCA	SISTEMA	PRESIÓN	
		bar	psi
Bosch	Generación 1	200 - 1350	2900 – 19580
	Generación 2	250 - 1600	3625 – 23206
	Generación 3	350 - 1950	5076 – 28282
Denso	Generación 1	300 - 1450	4351 – 21030
	Generación 2	400 - 1800	5801 – 26106
Delphi	Multec	200 - 2000	2900 – 29007
	Sistema CR actuación directa	500 - 1800	7251 - 26106

Fuente: (Barros & Pulla, 2016)

(Barros & Pulla, 2016) afirman.

“Para la obtención de los oscilogramas (ver figura 19) deben encontrarse los sockets conectados en cada inyector, con el motor funcionando se procede a colocar el puntal positivo del osciloscopio al terminal (1) y el puntal negro al terminal (2) del inyector” (p.62).

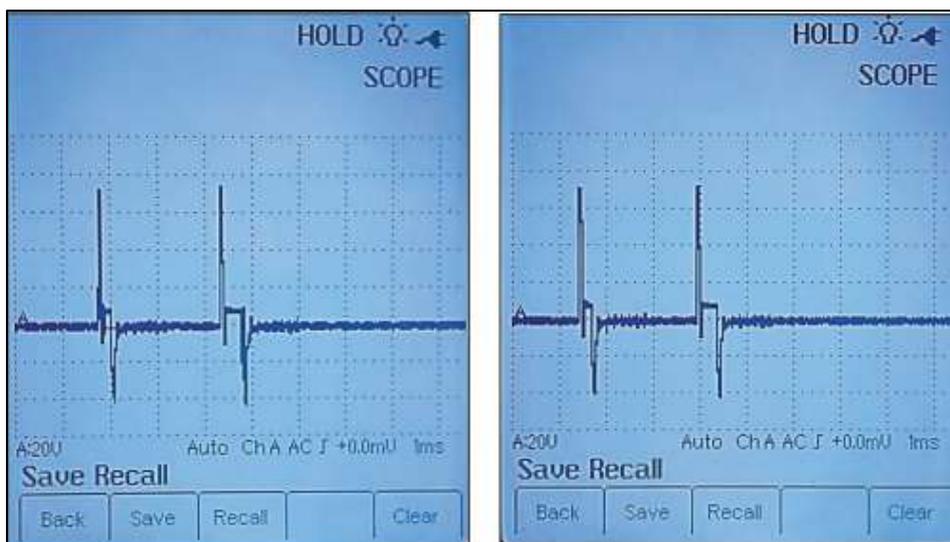


Figura 19 Oscilograma de inyección

Fuente: (Barros & Pulla, 2016)

Circuito del inyector

(Garzón & Ramírez, 2013) afirman.

“Una vez obtenidos los valores de los solenoides se calcula la corriente que circulara por el inyector (ver figura 21) para así definir los elementos que emularan el sistema de apertura del inyector” (p.65-66).

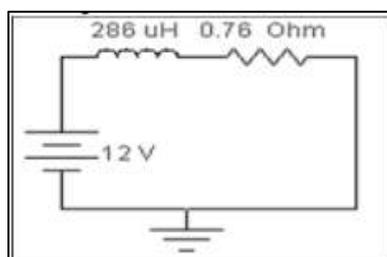


Figura 20 Circuito equivalente inyector Bosch

Fuente: (Garzón & Ramírez, 2013)

De acuerdo a (Garzón & Ramírez, 2013).

“Como se puede observar el valor del volumen del combustible expulsado (ver figura 22, 23 y 24) a 2 milisegundos en un inyector en perfecto estado es

de 3.5 cm^3 , esto quiere que este es el valor ideal que debe expulsar el inyector” (p.141).

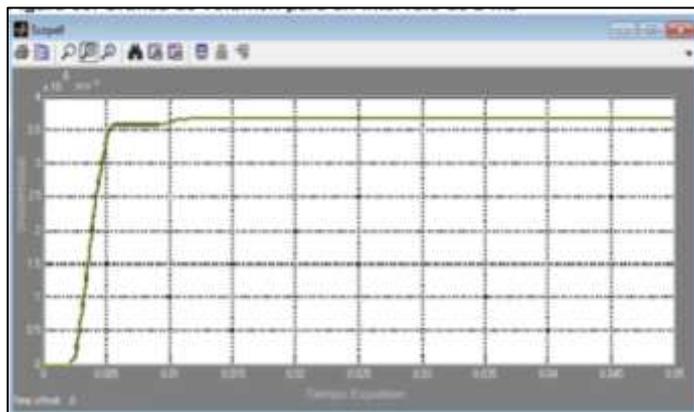


Figura 21 Oscilograma inyector Bosch volumen a 2 milisegundos

Fuente: (Garzón & Ramírez, 2013)

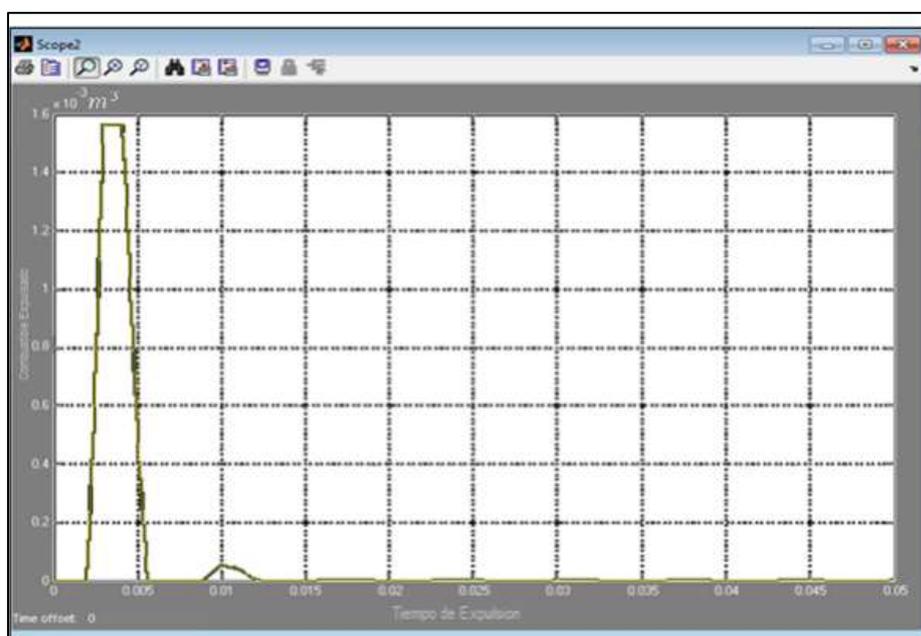


Figura 22 Oscilograma caudal inyector Bosch a 2 milisegundos

Fuente: (Garzón & Ramírez, 2013)

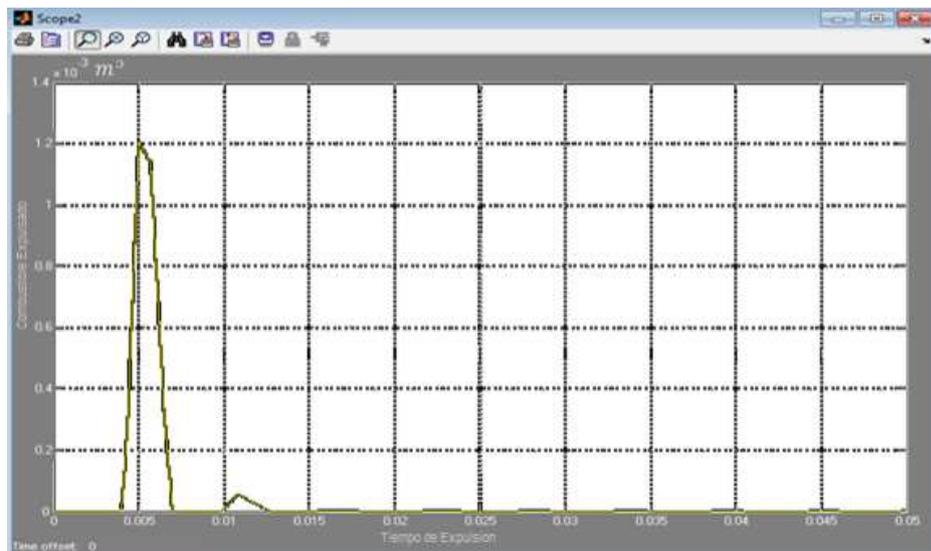


Figura 23 Oscilograma caudal inyector Bosch a 2 milisegundos con daño de tobera

Fuente: (Garzón & Ramírez, 2013)

Características inyector Bosch

En el manual (Bosch, 2017) afirman.

“Soluciones completas en diagnóstico y piezas de reposición para todos los sistemas de reposición

- Tolerancia 0,002mm para piezas muebles: 30 veces más fino que un cabello.
- El combustible es inyectado en la cámara de combustión a una presión de 2,200 bar. Esto equivale a concentrar el peso de un sedán de lujo sobre la uña del dedo.
- Volumen de Inyección Varía entre 1 y 350 mm^3 . Ese volumen es inyectado a 2.000km/h a través de un orificio de 0,25 mm^3 .
- Mucho más rápido que un parpadeo La inyección ocurre entre 1 a 2
- milisegundos (ver figura 24). El parpadeo (0,4 segundos) dura más tiempo que 200 inyecciones “(p. 5).

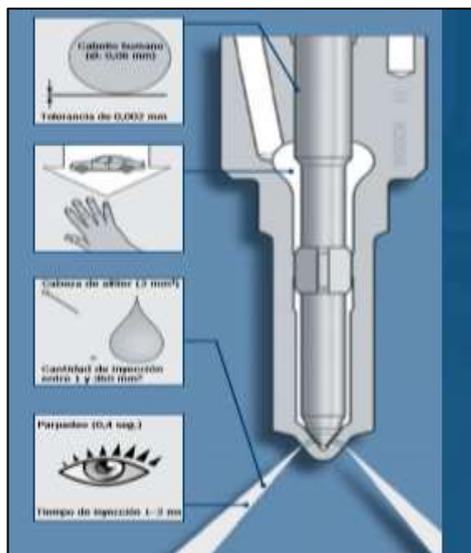


Figura 24 Características inyector Bosch.

Fuente: (Bosch, 2017)

Desarrollo y producción Bosch

En el manual (Bosch, 2017) afirman: "Existen diferentes características que poseen los inyectores marca Bosch.

- Orificios de atomización precisos.
- Progreso continuo
- Progreso continuo
- Materiales avanzados aumentan la presión de la inyección de 1,200 bar hasta 2,200 bar
- Mayor pulverización.
- Combustión más eficiente y mayor potencia.
- Menor consumo de combustible y reducción de emisiones contaminantes.
- El desempeño superior es el resultado de alta tecnología y métodos precisos de fabricación.
- Medidas mínimas de 0,002 mm en la fabricación garantizan:
- Menor desgaste.

- Funcionamiento más suave.
- Mayor vida útil.
- Tecnología de punta en la fabricación produce menores orificios de inyección, reduciendo las emisiones hasta: 200 μm para Euro 1, 80 μm para Euro 4 y 5" (p.5).

Toberas Bosch y Zexcel

En el catálogo (Bosch, 2017)

“Son diseñadas para cumplir con las demandas de los motores de hoy en día. Cada tobera es 100% nueva y diseñada con una exacta precisión y durabilidad, para entregar un servicio confiable, duradero y consistente (ver tabla 6).

Características

- Orificios de atomización precisos.
- Construcción de aleación y acero cromado con tratamiento térmico.
- Espacio de aguja y cuerpo.
- Afinado superficial por medio hidráulico.
- Aguja con diseño de doble ángulo.

Beneficios

- Exactitud en la entrega de combustible, para un óptimo régimen de emisiones y potencia.
- Máxima durabilidad.
- Asegura un rendimiento hidráulico apropiado para una máxima eficiencia de combustible.
- Permite tener una superficie más suave para el paso de combustible, lo que resulta en un mejor rendimiento de la tobera.

- Asegura un punto de contacto preciso para un mejor sellado con el cuerpo de la tobera.

Tabla 6**Toberas Bosch.**

Características	Ventajas	Beneficios
Precisión de los orificios de inyección	Pulverización perfecta	Combustión completa
Sellado total en la línea interna de contacto	Mayor sellado interno	No gotea, ahorro de combustible
Holgura de la aguja y del cuerpo del inyector	Garantiza el funcionamiento perfecto para máxima eficiencia del combustible	Ahorro en el consumo de combustible y menor emisión de contaminantes

Fuente: (Bosch, 2017)

Son más de mil millones de carreras de apertura y cierre a las que llega una aguja de inyector durante su vida útil de inyección. Asegura la estanqueidad hasta los 2050 bar, que equivale a la presión que se genera al colocar un vehículo liviano sobre la uña de un dedo.

La duración de inyección asciende a 1...2 milisegundos. En un milisegundo una onda acústica consigue alejarse solamente unos 33 cm.

Los caudales de inyección varían entre 1 mm³ (inyección previa) y 50 mm³ (plena carga), para vehículos livianos entre 3 mm³ (inyección previa) y 350 mm³ (plena carga) para camiones. Los 350 mm³ equivalen a 12 gotas de agua grandes de lluvia, la misma que es obligada a atravesar en apenas 2 ms, los agujeros de las toberas de 0,25mm² de sección; lo cual implica que el combustible sale a velocidades de 2000 km /h.

El juego que tiene la aguja y el cuerpo de la tobera, ascienden a 0,002 mm (2 μm). El diámetro de un pelo humano es 30 veces más grueso (0,06 mm) que esta tolerancia” (p.15, 16) (ver figura 25 y 26).



Figura 25 Orificios tobera Bosch

Fuente: (Bosch, 2017)

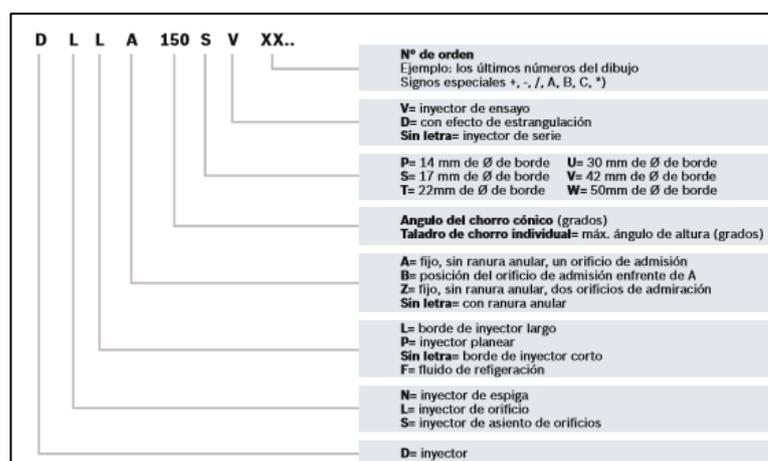


Figura 26 Identificación de las toberas

Fuente: (Bosch, 2017)

2.6 Pruebas del inyector.

En el Catálogo (Bosch, 2015)

“Probando la presión de apertura (ver figura 27): Con el medidor de presión abierto, empiece lentamente a aplicar la palanca del EPS 100 (0,5 ciclos/seg.) y observe el medidor de presión. La presión de apertura del inyector es alcanzada cuando la presión cae repentinamente. Verifique los valores medidos, compare con las especificaciones del ESI [tronic] o del catálogo del producto y ajuste, si es necesario.

Prueba de estanqueidad: Con el medidor de presión abierto, empiece lentamente a aplicar la palanca del EPS 100 (0,5 ciclos/seg). Observe el medidor y ajuste la presión hasta un nivel aproximadamente 20 bar inferior a la presión de apertura anterior. Con esa presión, ninguna gota de aceite de calibración debe gotear del inyector durante 10 segundos. Esté seguro de que el aceite de calibración no está escapando en ningún lugar, excepto en la conexión combustible-escape. Una determinada cantidad de humedad (sudor) en la punta del inyector es admisible.

Analizando estándares de pulverización: Cierre el medidor de presión del dispositivo de prueba de inyectores. Aplique la palanca del inyector en distintos pasos (0,5 a 2 ciclos/seg). El aceite de calibración debe emerger en un estándar de pulverización de la punta del inyector” (p.14).



Figura 27 Probador de inyectores EPS 100

Fuente: (Bosch, 2015)

Tabla 7

Sistemas common rail

Generación CR	Presión Máxima	Inyector	Bomba de alta presión
1ª Generación: Vehículos livianos	1350...1450 bar	CRI-P	CP1
1ª Generación: Vehículos pesados	1400 bar	CRI-N	CP2
2ª Generación: Vehículos livianos y pesados	1600 bar	CRI-P/CRI-N	CP3, CP1H
3ª Generación: Vehículos livianos	1600 bar	CRI Plezo	CP3, CPH1
3ª Generación: Vehículos pesados	1800 bar	CRI-N	CP3.3

Fuente: (Bosch, 2015)

El moderno sistema Common Rail Bosch presenta la más nueva tecnología empleada en sistemas de inyección electrónica. Representa un enorme potencial para las futuras aplicaciones en motores diésel (ver tabla 8).

Tabla 8**Vehículos con sistema Common Rail marca Bosch**

Marca	Modelo	Motor
Greatwall	Gingle/Hover	GW2.8TC_ EU3
Hyundai	Accent/ Santa Fé/i 30/ Elantra/ Tucson	1,5 CRDi (D4FA)/ Turbo Diesel CRI/ D4FB/D4EA
Iveco	Eurocargo/ 170E22/ Eurocargo/2003	F4AE0681D/-/ F4AE3841/-
Kia	Carens II / Carens New/ Sorento / Sportage	Turbo Diesel CRI /A2.51Gen / Turbo Diesel CRI / Turbo Diesel CRI
Man	TGA 33.360	D2066 LF07
Mazda	BT-50	WLC
Mercedes	Sprinter CDI 311, 313, 413I	OM611LA
Renault	Kerax	dCi11
Volkswagen	Amarok TDI / 17.230 EOD	CDAC / 6.12TCE
Weichai	WP12	WP12_EU3

CAPÍTULO III

PROTOCOLO DE PRUEBAS

3.1. Equipos

Son recursos que permiten satisfacer una necesidad o conseguir aquello que se pretende.

3.1.1. Osciloscopio Owon PDS5022T

El modelo PDS5022T (ver figura 28) es un osciloscopio digital portable con una excelente combinación de capacidad, velocidad y análisis. Este osciloscopio de dos canales de 25MHz de ancho de banda y 100MS/s por canal es la mejor elección para reemplazar los tradicionales osciloscopios analógicos. Se ha desarrollado un equipo con grandes prestaciones, pero a un precio muy competitivo. Además, dispone de pantalla TFT color de 8", 6k muestras por canal, medidas automáticas y conexión USB para descargar cómodamente la información a la PC (ver tabla 9).

Tabla 9

Especificaciones técnicas osciloscopio Owon PDS5022T

Categoría	Especificaciones
Interfaz con PC	USB
Alimentación	100 ~ 240 Vac RMS, 50Hz, CAT II
Canales	2 CH + Trigger Externo
Ancho de banda	25MHz
Frecuencia de muestreo	100MS/s por canal
Pantalla	8 pulgadas, TFT COLOR

CONTINÚA



Modos de muestreo	sampleo normal, detección de pico, promedio
Longitud de registro	5000 puntos por canal
Rango de muestreo	10S/s - 100MS/s
Rango de la base de tiempo (s/div)	5ns/div - 100s/div
Medidas automáticas	Vpp, Promedio, Vrms, Frecuencia, Periodo, Vavg, RMS, Vmax, Vmin, Vtop, Vbase, Width, Overshoot, Preshoot, Risetime,



Figura 28 Osciloscopio Owon PDS5022T

Procedimiento de uso:

- Enchufar a una toma de 110 V.
- Presionar el botón superior izquierdo para encender el equipo.
- Conectar el juego de puntas en cada extremo de medición y canal.
- Calibrar con las perillas el tiempo y voltaje, observar la forma de onda requerida y fijar la posición de la onda con la perilla "trigger".
- Para observar el oscilograma en la interfaz del computador, es necesario instalar previamente el software del osciloscopio y su respectivo driver para que se reconozca el puerto USB.
- Conectar a través de los puertos USB con el programa en ejecución.
- Para obtener los datos en tiempo real seleccionar la opción comunicaciones, obtener datos.

3.1.2. Osciloscopio Hantek 1008c

El osciloscopio Hantek 1008c (ver figura 29) permite visualizar señales eléctricas y determinar sus parámetros como: voltaje máximo, voltaje mínimo, tiempo, periodo, frecuencia, amplitud.

El software nos permite visualizar la onda a través de su interfaz y ajustar los valores que sean convenientes; cuenta con ocho canales y poder visualizar en tiempo real cada uno de ellos lo que permite manipular, trabajar con más de dos canales a la vez (ver tabla 10).

Tabla 10

Especificaciones del osciloscopio Owon

Categoría	Especificaciones
Max. Frecuencia de muestreo	2.4MS / s (Canal Único)
Canales	8 canales
Resolución vertical	12 bits/ canal.
Rango de ganancia	10mV ~ 5V/div @ x1 probe(10mV, 20mV, 50mV, 100mV, 200mV, 500mV, 1V, 2V, 5V/div1,2,5 secuencia)
Rango	8 divisiones.
Impedancia	1M ohm
DC exactitud	+/-2.5%
Protección de entrada	35Vpc (DC + pico AC < 10 kHz, sin atenuación externa)
Modo de visualización	Y-T, X-Y
Rango de base de tiempo	1ns/div ~ 20000s/div(1-2-5 secuencia)
Modo de adquisición	Tiempo real, escanear, rodar.
Rango	10 divisiones.
Tamaño del búfer	Maximo 4000 puntos (Único canal)
Tipo	Desencadenado por el borde
Mediciones	Vpm, Vmáx, Vmá, Vrm, Vbase, Vmd, sobrepaso positivo, sobrevoltaje

CONTINÚA



	negativo, ciclo medio, ciclo RMS, periodo, frecuencia, ancho de pulso positivo, ancho de pulso negativo, tiempo de subida (10% ~ 90%), Tiempo de caída (10% ~ 90%), ciclo de trabajo positivo, ciclo de trabajo negative
Interface	USB2.0 (USB1.1 compatible)
Fuente	No requiere fuente de alimentación externa.



Figura 29 Unidad exterior Osciloscopio Hantek 1008c para PC.

Procedimiento de uso:

- Para obtener las diferentes medidas se debe efectuar los siguientes pasos:
- Utilizar el cd de instalación y su respectivo driver que contiene el osciloscopio y se reconozca en la interfaz de la PC a través de la conexión USB.
- Conectar el osciloscopio a la computadora a través de la conexión USB.
- Antes de abrir el programa conectar el osciloscopio hantek a través del cable USB hacia el PC para su correcto funcionamiento.
- Calibrar y ubicar en las escalas correspondientes de trabajo para visualizar correctamente el oscilograma requerido ajustar el “trigger” para fijar la imagen del oscilograma obtenido.

- Conectar el respectivo juego de puntas hacia los puntos de medición y el otro extremo a cada uno de los canales a utilizar.
- Para obtener los datos en tiempo real seleccionar la opción “messaure” donde se despliega varias opciones de medición para el oscilograma.
- **Nota:** No es necesario una fuente de energía para dicho osciloscopio.

3.1.3. Banco de pruebas Tester CRDI V-3500

Es un equipo que nos permite analizar el estado mecánico y electrónico en el cual se encuentra los inyectores de riel común diésel de diferentes marcas como: Bosch, Delphi, Denso (ver figura 30).

La ayuda de sus controles digitales se puede variar el tiempo de inyección y el número de inyecciones en determinados regímenes de operación, así como también la variación de presiones de trabajo que va estar expuesto el inyector, para posteriormente comparar los datos obtenidos a diferentes rangos de operación.

Posee contadores digitales el cual se visualiza en la pantalla del equipo puede variar según el régimen de trabajo deseado o establecido, también contiene un conjunto de probetas graduadas el cual acoge el caudal de ingreso y de retorno de cada inyector donde permite obtener medidas para posteriormente ingresar dichos datos y compararlos.

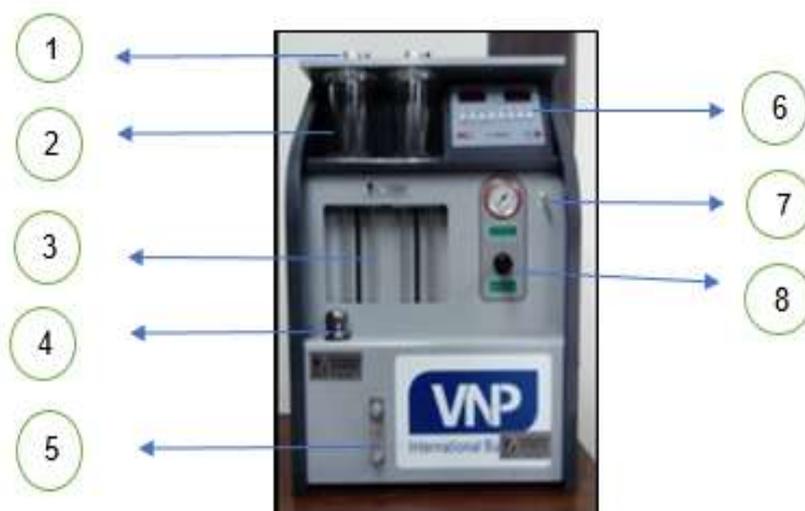


Figura 30 Tester CRDI V-3500

1 Boquilla porta inyector, 2 cilindros para pulverización, 3 probetas de caudal inyección y retorno, 4 depósito de viscor, 5 nivel de fluido, 6 controles digitales, 7 selección tipo del inyector, 8 control de presión.

Tabla 11

Especificaciones técnicas del banco de pruebas CRDI V-3500

Categoría	Especificaciones
Producto	MT 3000
Modelo	MT 3000
Tipo de control	regulador de aire + digital
CPU	18,4 Mhz
Entrada	AC 220, MAX 300W
Salida	DC 0 – 12 V, MAX 200W
Corriente de funcionamiento	13A / MAX 30A por canal para operación multicanal: MAX 25 ^a
Entrada de presión	8 bar
Salida de presión	Max. 800 bar
Temperatura	5 – 40 °C
Fusible	110V 2 ^a
Peso	65 Kg

Funciones:

- Prueba de características eléctricas para inyectores CRDI Bosch, Delphi y Denso.
- Presión máxima: 800bar.
- Modelo de pulverización variable incorporado.
- Patrón automatizado.
- Aspiración de aire en la boquilla de pulverización.
- Contador de pulverización.
- Descarga de aceite usado automática después de la prueba de pulverización.
- Protección contra cortocircuitos.

Tabla 12**Características Tester CRDI V – 3500**

1. Diagnostica el funcionamiento del modelo del aerosol muy claramente con la luz del LED.
2. Comprueba el estado de los inyectores que cambian el tiempo de inyección.
3. Mide el volumen inyectado y devuelto (contra la fuga).
4. Comprueba la presión de arranque del inyector.
5. Limpieza de inyectores con gran cantidad de flujo de aceite.

3.1.4. Multímetro

Un multímetro es un instrumento que permite medir directamente magnitudes eléctricas activas como corrientes y diferencia de potenciales o pasivas como resistencias, capacidades y otras. Las medidas pueden realizarse para corriente continua o alterna (ver figura 31).



Figura 31 CSF clamp multimeter MT 5211

3.1.5 Pinza amperimétrica Brain Bee

Una pinza amperimétrica es un comprobador eléctrico que combina un voltímetro con un medidor de corriente tipo pinza. Al igual que el multímetro, la pinza amperimétrica ha pasado de la época analógica a la era digital actual (ver figura 32).

En la siguiente tabla se detalla las especificaciones de la pinza amperimétrica (ver tabla 13).



Figura 32 Pinza amperimétrica Bran Bee

Tabla 13**Especificaciones técnicas de la pinza amperimétrica**

Categoría	Especificación
Entrada	60A Max AC/DC
Salida	10mV/A - 100mV/A
Máximo voltaje	240V- AC / 300V – DC

Procedimiento de uso

Para la utilización de la pinza amperimétrica efectuar los siguientes pasos:

- Ubicar la batería en la pinza para encenderla y verificar que no marque en el indicador de low bat. Ya que las medidas obtenidas de corriente se verán afectas.
- En el osciloscopio ubicar el canal designado para la pinza amperimétrica y calibrar la onda para posteriormente visualizarla completamente.
- Ajustar la escala adecuada según se requiera.
- Ubicar la pinza en cable correspondiente con la flecha en la dirección indicada.
- Tomar oscilogramas y medidas de las ondas.
- Convertir el voltaje en amperaje según la escala utilizada para su ejecución.

3.2. Especificaciones de los inyectores CRDI Bosch

Cabe mencionar que para el inyector Bosch 0445110290, el cual comparte idénticas características con el inyector 0445110126 ha sido reemplazado por dicha serie debido a la dificultad para su adquisición

Por lo tanto, la serie 0445110290 se ha decidido optar por la utilización de dicho inyector (ver tabla 14).

Tabla 14

Aplicación inyector Bosch 00445110126

Categoría	Especificación
Marca	Hyundai/Kia
Modelo	Tucson/Sportage
Motor	D4EA/2.0 TURBO DIESEL CRI
Cilindros	4
Normas de emisión	EURO III
Bomba alta presión vehículos livianos	CP3, CP1H
Presión máxima	1600 bar
Certificación	ISO/TS 16949

Tabla 15 Aplicación inyector Bosch 0445110290

Categoría	Especificación
Marca	Hyundai/Kia
Modelo	Tucson/Sportage
Motor	D4EA/2.0 TURBO DIESEL CRI
Cilindros	4
Normas de emisión	EURO III
Bomba alta presión vehículos livianos	CP3,CP1H
Presión máxima	1600 bar
Certificación	ISO/TS 16949

3.2.2. Inyector Bosch 0445110293

Tabla 16

Aplicación del inyector Bosch 0445110293

Categoría	Especificación
Marca	Great Wall
Modelo	Gingle
Motor	GW2.8TC
Cilindros	4
Normas de emisión	EURO III
Bomba alta presión vehículos livianos	CP3, CP1H
Presión máxima	1600 bar
Certificación	ISO/TS 16949

Inspección del Tester CRDI V- 3500 previamente a su uso

La previa revisión de cada uno de los indicadores que se debe tener en cuenta para la utilización del banco es necesario y primordial para efectuar el correcto funcionamiento de dicho banco.

Enseguida un pequeño listado de las partes a ser revisadas previamente.

Tabla 17

Inspección previa del banco Tester CRDI V-3500

N°-	Descripción	Ubicación
1	Observar que no exista ningún tipo de impureza o residuo en las trampas, de existir agua proceder a drenar y limpiar el recipiente.	
2	Verificar que no exista ninguna fuga de aceite en el filtro	
3	Verificar que el control de purga principal del banco este completamente cerrado, para evitar baja de presiones en el circuito.	
4	Verificar el nivel fluido del banco que esté en los correctos niveles para el adecuado funcionamiento.	

CONTINÚA



- 5 Verificar que no contenga ningún tipo de impureza u objeto en el interior del recipiente de pulverización.



Figura 37 Recipientes para la pulverización

- 6 Verificar que los sockets presenten un buen estado.



Figura 38 Sockets- Bosch

- 7 Verificar las cañerías que se va a utilizar en los inyectores que no contenga ninguna impureza y obstruya el flujo.



Figura 39 Cañerías- Bosch

- 8 Verificar las cañerías de retorno que no contenga residuos y obstruya el flujo.



Figura 40 Cañerías de retorno- Bosch

CONTINÚA



9

Conectar correctamente la cañería del compresor hacia la toma del banco



Figura 41 Entrada de aire

10

Verificar que esté conectado y encendido el compresor



Figura 42 Compresor

11

Verificar que esté conectado el cable de poder del banco y este el botón en posición de encendido.



Figura 43 Encendido principal

3.4. Protocolo para el montaje de inyectores

No se debe encender la máquina sin antes instalar los inyectores adecuadamente debido a que pueden existir fugas del fluido. Para manipular los inyectores se debe tener a la mano guantes de látex y el respectivo equipo de protección personal, así mismo para el montaje de los inyectores seguir los siguientes pasos adecuadamente.

Tabla 18

Inspección previa del banco Tester CRDI V-3500

N°-	Descripción	Gráfica
1	Utilizar correctamente los sockets para el inyector	 <p data-bbox="943 1317 1283 1350">Figura 44 Sockets- Bosch</p>
2	Localizar las cañerías adecuadas para el inyector.	 <p data-bbox="943 1715 1283 1749">Figura 45 Cañerías-Bosch</p>

CONTINÚA



- 3 Retirar los protectores del inyector y el estrangulador



Figura 46 Protectores del inyector

- 4 Ubicar los inyectores en las bases de las boquillas de los cilindros con las cañerías ajustar previamente con la mano para un mejor acople.



Figura 47 Ubicación del inyector

- 5 Ajustar las cañerías con una llave 17mm y 19 mm con un torque adecuado sin tratar de aislar la rosca.



Figura 48 Ajuste de cañerías

CONTINÚA



6

Conectar las cañerías de retorno en los respectivos inyectores, reajustar la mariposa de la base de la boquilla.



Figura 49 Cañería de retorno

7

Conectar los sockets adecuadamente en los inyectores.



Figura 50 Conexión de sockets

3.5. Precauciones

- Verificar que nada ingrese en los cilindros de pulverización el momento del montaje de los inyectores.
- Utilizar siempre guantes de látex al momento de manipular los inyectores.
- Por ningún motivo encender la máquina durante el proceso de montaje de los inyectores.
- Todos los inyectores deben ser sometidos a pruebas de resistencia primero.
- En caso de inyector Bosch si la resistencia es inferior de $0,4 \Omega$ a $0,6 \Omega$ la bobina dañada.
- El filtro de la bomba debe ser reemplazado cada 3 meses.

- Cuando el equipo no esté en uso, gire la válvula de presión de liberación en sentido anti horario una vez (liberación de presión).
- Cuando un inyector no está conectado al orificio de descarga, el aceite podría fluir.

3.6. Instalación del osciloscopio Owon

El osciloscopio Owon ayuda a obtener curvas de corriente y voltaje del inyector, en donde se debe tener el instalador adecuado para visualizar las ondas en la interface de la PC.

3.6.1. Instalación del software Owom

Es necesario instalar el software para el osciloscopio en este caso debe ser la versión "OWON Software de Osciloscopio 2.0.8.26" para su compatibilidad, una vez instalado posteriormente continuar la instalación del USB Driver.

3.6.2. Instalación del USB Driver

Instalar el driver para tener una mejor visualización a través de la interface de la PC y apreciar correctamente las ondas y obtención de datos, dicha instalación debe efectuarse desde actualizar controlador mediante administración de dispositivos localizado en el icono Mi Pc.

3.6.3. Conexión del osciloscopio Owon hacia los inyectores

Para obtener los datos a través del osciloscopio Owon realizar los siguientes pasos (ver tabla 19):

Tabla 19

Conexión del osciloscopio a los inyectores

N°-	Descripción	Gráfica
1	Conectar el osciloscopio a la fuente de energía y posteriormente el cable USB hacia el computador entre sí.	
2	Conectar las puntas del osciloscopio e introducirlas en los cables del inyector sin dañarlos.	
3	Conectar los respectivos lagartos en las puntas o denominadas agujas tomando en cuenta su respectiva polaridad	
4	Ajustar si es necesario la onda mostrada en el osciloscopio en la escala x10.	

Figura 51 Conexión osciloscopio

Figura 52 Colocación de las puntas en el inyector

Figura 53 Conexión de los lagartos

Figura 54 Ajuste de la onda

CONTINÚA



-
- 5 Seleccionar los datos mediante la opción comunicaciones, obtener datos.

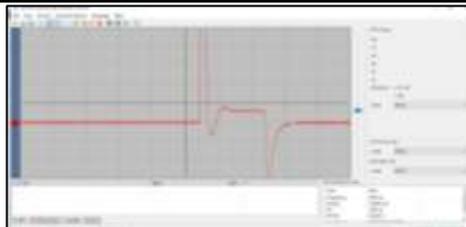


Figura 55 Interface del osciloscopio Owon

3.7. Instalación del osciloscopio Hantek

Instalar el software del osciloscopio Hantek 1008c para su adecuada manipulación en su respectiva PC, enseguida continuar con la instalación del USB drive.

3.7.1 Instalación USB Drive

Para una conexión efectiva entre la PC y osciloscopio, se debe actualizar controlador desde administración de dispositivo en el icono Mi Pc, el cd de instalación viene adjunto al equipo del osciloscopio Hantek 1008c.

3.7.2. Conexión del osciloscopio Hantek hacia los inyectores

Tabla 20

Conexión del osciloscopio Hantek 1008c.

N°-	Descripción	Gráfica
1	Conectar los cables del osciloscopio en el respectivo canal a usar	
2	Conectar las puntas del osciloscopio e introducir las en los cables del inyector sin dañarlos mediante las agujas.	
3	Conectar los lagartos en las agujas ubicando correctamente la polaridad.	

Figura 56 Conexión de las puntas

Figura 57 Conexión de las puntas en los inyectores

Figura 58 Conexión de lagartos en las agujas

CONTINÚA



- 4 Conexión de cable USB del osciloscopio hacia la PC.



Figura 59 Conexión cable USB

- 5 Verificar que el oscilograma sea el indicado

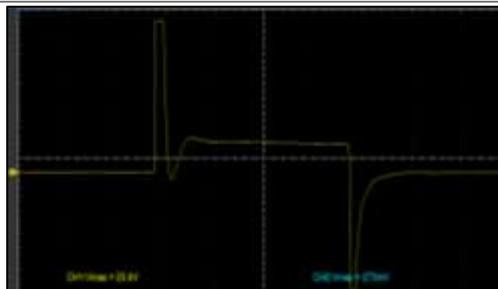


Figura 60 Oscilograma del inyector

- 6 Ajustar la onda si es necesario.



Figura 61 Ajuste de la onda

- 7 Obtener los datos a través de la opción "Messaure" disponible en la barra de herramientas



Figura 62 Selección de datos software Hantek 1008c

3.8. Procedimiento de pruebas inyector Bosch 0445110290

3.8.1. Pruebas mecánicas e hidráulicas

- Verificar los tiempos de activación y cierre, caudal de inyección y retorno, a través de cálculos a (300, 400, 500, 600, 700,) bar, con variaciones de número de inyecciones o denominados STRK: 250, 500, 750, 990. Y tiempo de Inyección: (0,25; 0,5; 1; 1,5; 2) ms.
- Verificar las curvas de corriente y voltaje, para analizar plenamente los tiempos de activación del inyector.
- Analizar los datos obtenidos mediante tablas comparativas en los diferentes intervalos de trabajo.
- Graficar en Excel utilizando los datos obtenidos en las tablas de los ensayos a distintas presiones.

Equipo

- Banco de pruebas Tester V-3500.
- Inyectores Bosch.
- Juego de herramientas.
- Multímetro, pinza amperimétrica, osciloscopio.
- Equipo de seguridad personal (mandil, botas punta de acero, guantes de látex, gafas).
- Laptop con software instalado previamente del osciloscopio Owon y Hantek.

Desarrollo de la práctica

Para efectuar los respectivos cálculos, medición de tiempos de apertura y cierre, caudal de inyección y retorno de los inyectores Bosch, tomar en cuenta los protocolos antes mencionados para el uso del banco Tester CRDI V-3500, usar la adecuada protección personal para la

manipulación del equipo, la prioridad que presenta el banco permite trabajar con dos inyectores al mismo tiempo.

Prueba ángulo de pulverización

Para el cálculo del ángulo de pulverización realizar las siguientes mediciones tomando en cuenta los datos del cilindro para pulverización del Tester V – 3500.

Inyector inductivo Bosch 0445110290

- Marca del vehículo: Kia
- Modelo del vehículo: Sportage 2.0

Cálculo:

Datos:

- $h = \text{altura}$
- $r = \text{radio del cilindro}$
- $\theta = \text{diámetro del chorro}$
- $I_T \alpha = \text{ángulo de disparo}$
- $\gamma T \beta = \text{ángulo de dispersión}$
- $Y = \text{Diferencia de alturas}$

Ángulo de disparo

$$I_T \alpha = \arctan\left(\frac{h}{r}\right)$$

Ecuación 1 Ángulo de disparo

Ángulo de dispersión

$$\beta = \arctan\left(\frac{\theta + \gamma}{r}\right) - \arctan\left(\frac{\gamma}{r}\right)$$

Ecuación 2 Ángulo de dispersión

Tabla 21

Ángulos del inyector Bosch 0445110126.

Ángulo de disparo	°
Ángulo de dispersión	°

Prueba de caudal

En las pruebas de caudal, llenar la tabla establecida considerando los siguientes parámetros:

Datos:

Presión: (300, 400, 500, 600, 700,) bar.

Número de inyecciones (STRK): 250, 500, 750, 990.

Tiempo de Inyección: (0,25; 0,5; 1; 1,5; 2) ms.

La tabla de datos debe efectuarse en todas las presiones establecidas.

3.8.2 Pruebas eléctricas

Para las pruebas eléctricas usar el osciloscopio, el TESTER V- 3500, el multímetro digital y la pinza amperimétrica.

- **Pruebas de corriente de activación del inyector**

Para la medición de la corriente de activación en los inyectores Bosch utilizar la pinza amperimétrica y tabular los resultados en la tabla de datos.

- **Prueba de voltaje de activación del inyector**

Para la medición del voltaje de activación en los inyectores Bosch utilizar el osciloscopio y tabular los resultados en la tabla de datos.

- **Prueba de resistencia eléctrica de la bobina**

Para la medición de la resistencia de la bobina en los inyectores Bosch utilizar la opción o prueba 1 que dispone el banco de pruebas.

- **Prueba de inductancia**

Es una medida de la oposición al cambio de corriente de un inductor que almacena energía en presencia de un campo magnético.

Tabular los resultados obtenidos (ver tabla 23).

Tabla 22

Procedimiento para la medición de amperaje.

N°-	Descripción	Gráfica
1	Verificar el voltaje de la batería de la pinza amperimétrica que sea el adecuado para evitar datos erróneos.	 <p data-bbox="1007 757 1326 790">Figura 63 Voltaje Batería</p>
2	Calibrar el osciloscopio en la escala adecuada utilizar la pinza amperimétrica.	 <p data-bbox="986 1160 1347 1193">Figura 64 Onda de corriente</p>
3	Utilizar la escala adecuada.	 <p data-bbox="963 1536 1369 1570">Figura 65 Escala amperimétrica</p>
4	Ubicar la pinza amperimétrica ubicando correctamente la flecha con dirección al inyector.	 <p data-bbox="967 1872 1366 1928">Figura 66 Conexión de la pinza amperimétrica.</p>

CONTINÚA



Tabla 23Tabla de datos para las pruebas mecánicas- hidráulicas y eléctricas inyector Bosch 0445110126

Presión Prueba	STRK	Tiempo de inyección	Tiempo de Disparo	Tiempo de retención	Caudal de Inyección	Caudal Retorno	Corriente de Activación	Voltaje de activación	Voltaje de retención	Grados de Activación	Resistencia en la Bobina	Inductancia
(bar)		ms	Ms	ms	(mm3)	(mm3)	(A)	(V)	(V)	(°)	(Ω)	(H)
300	250	0,25										
300	250	0,5										
300	250	1										
300	250	1,5										
300	250	2										
300	500	0,25										
300	500	0,5										
300	500	1										
300	500	1,5										
300	500	2										
300	750	0,25										

300	750	0,5										
300	750	1										
300	750	1,5										
300	750	2										
300	990	0,25										
300	990	0,5										
300	990	1										
300	990	1,5										
300	990	2										

3.8.3 Parámetros del inyector.

En la tabla de parámetros se especifican las características más relevantes de la geometría física del inyector y sus respectivos componentes (ver tabla 24).

Tabla 24

Parámetros del inyector

Indicador	Ítem	Técnica	Medición	Grafica
Presión de operación	<i>bar</i>		Medición	
Número de orificios del inyector	#		Observación	
Tipo de tobera	<i>Corta / larga</i>		Observación	
Largo del Tallo	<i>mm</i>		Medición	
Presión de retorno	<i>bar</i>		Medición	
Tipo de boquilla	<i>diseño</i>		Observación	
Ángulos del cono de pulverización	°		Medición	

3.9 Procedimiento pruebas de inyector Bosch 0445110293

3.9.1 Pruebas mecánicas e hidráulicas

- Verificar los tiempos de activación y cierre, caudal de inyección y retorno, a través de cálculos a (300, 400, 500, 600, 700,) bar, con variaciones de número de inyecciones o denominados STRK: 250, 500, 750, 990. Y tiempo de Inyección: (0,25; 0,5; 1; 1,5; 2) ms.
- Verificar las curvas de corriente y voltaje, para analizar plenamente los tiempos de activación del inyector.

- Analizar los datos obtenidos mediante tablas comparativas en los diferentes intervalos de trabajo.
- Graficar en Excel utilizando los datos obtenidos en las tablas de los ensayos a distintas presiones.

Equipo

- Banco de pruebas Tester V-3500.
- Inyectores Bosch.
- Juego de herramientas.
- Multímetro, pinza amperimétrica, osciloscopio.
- Equipo de seguridad personal (mandil, botas punta de acero, guantes de látex, gafas).
- Laptop con software instalado previamente del osciloscopio Owon.

Desarrollo de la práctica

Para efectuar los respectivos cálculos, medición de tiempos de apertura y cierre, caudal de inyección y retorno de los inyectores Bosch, tomar en cuenta los protocolos antes mencionados para el respectivo uso del banco Tester CRDI V-3500, usar la adecuada protección personal para la manipulación del equipo.

La prioridad que presenta el banco permite trabajar con dos inyectores al mismo tiempo.

Prueba ángulo de pulverización

Para el cálculo del ángulo de pulverización realizar las siguientes mediciones tomando en cuenta los datos del cilindro para pulverización del Tester V – 3500.

Inyector inductivo Bosch 0445110293

- Marca del vehículo: Great Wall
- Modelo del vehículo: Wingle 2.8

Cálculo:

Datos:

- $h = \text{altura}$
- $r = \text{radio del cilindro}$
- $\theta = \text{diámetro del chorro}$
- $I_T \alpha = \text{ángulo de disparo}$
- $\gamma T \beta = \text{ángulo de dispersión}$
- $Y = \text{Diferencia de alturas}$

Ángulo de disparo

$$I_T \alpha = \arctan\left(\frac{h}{r}\right)$$

Ecuación 3 Ángulo de disparo

Ángulo de dispersión

$$\gamma T \beta = \arctan\left(\frac{\theta + \gamma}{r}\right) - \arctan\left(\frac{\gamma}{r}\right)$$

Ecuación 4 Ángulo de dispersión

Tabla 25

Ángulos del inyector Bosch 0445110293

Ángulo de disparo	°
Ángulo de dispersión	°

Prueba de caudal.

En las pruebas de caudal, llenar la tabla establecida considerando los siguientes parámetros:

Datos:

Presión: (300, 400, 500, 600, 700,) bar.

Numero de inyecciones (STRK): 250, 500, 750, 990.

Tiempo de Inyección: (0,250; 0,500; 1,000; 1,500; 2,000) ms.

Nota: Tener en constancia que los dígitos del tiempo de inyección no se visualiza por completo por lo tanto la interfaz de la máquina solamente emite dos dígitos en unidades de milisegundos tales como: (0,25; 0,5; 1; 1,5; 2,) ms.

Tomar en cuenta los datos iniciales posteriormente anotar los datos en la tabla obtenidos durante las pruebas en el inyector.

La tabla de datos debe efectuarse en todas las presiones establecidas.

3.9.2. Pruebas eléctricas

Para las pruebas eléctricas usar el osciloscopio, el tester V- 3500, el multímetro digital y la pinza amperimétrica.

- **Pruebas de corriente de activación del inyector.**

Para la medición de la corriente de activación en los inyectores Bosch utilizar la pinza amperimétrica y tabular los resultados en la tabla de datos (ver tabla 23).

- **Prueba de voltaje de activación del inyector.**

Para la medición del voltaje de activación en los inyectores Bosch utilizar el osciloscopio y tabular los resultados en la tabla de datos.

- **Prueba de resistencia eléctrica de la bobina.**

Para la medición de la resistencia de la bobina en los inyectores Bosch utilizar el multímetro digital y tabular los resultados en la tabla de datos.

- **Prueba de inductancia.**

Es una medida de la oposición al cambio de corriente de un inductor que almacena energía en presencia de un campo magnético.

Tabular los resultados obtenidos en la tabla de datos.

Tabla 26

Procedimiento para la medición de amperaje

N°-	Descripción	Gráfica
1	Verificar el voltaje de la batería de la pinza amperimétrica que sea el adecuado para evitar datos erróneos.	

Figura 67 Voltaje de la batería

CONTINÚA



-
- 2 Calibrar el osciloscopio en la escala adecuada utilizar la pinza amperimétrica.



Figura 68 Onda de corriente.

-
- 3 Utilizar la escala adecuada.



Figura 69 Escala amperimetrica

-
- 4 Ubicar la pinza amperimétrica ubicando correctamente la flecha con dirección al inyector.



Figura 70 Conexión de la pinza amperimétrica

Tabla 27 Tabla de datos para las pruebas mecánicas- hidráulicas y eléctricas inyector Bosch 0445110293

Presión Prueba	STRK	Tiempo de inyección	Tiempo de Disparo	Tiempo de retención	Caudal de Inyección	Caudal Retorno	Corriente de Activación	Voltaje de activación	Voltaje de retención	Grados de Activación	Resistencia en la Bobina	Inductancia
(bar)		ms	ms	Ms	(mm3)	(mm3)	(A)	(V)	(V)	(°)	(Ω)	(H)
300	250	0,25										
300	250	0,5										
300	250	1										
300	250	1,5										
300	250	2										
300	500	0,25										
300	500	0,5										
300	500	1										
300	500	1,5										

300	500	2										
300	750	0,25										
300	750	0,5										
300	750	1										
300	750	1,5										
300	750	2										
300	990	0,25										
300	990	0,5										
300	990	1										
300	990	1,5										
300	990	2										

3.9.3 Parámetros del inyector

En la tabla de parámetros se especifican las características más relevantes de la geometría física del inyector y sus respectivos componentes (ver tabla 28).

Tabla 28

Parámetros del inyector

Indicador	Ítem	Técnica	Medición	Grafica
Presión de operación	<i>bar</i>	Medición		
Número de orificios del inyector	#	Observación		
Tipo de tobera	<i>Corta / larga</i>	Observación		
Largo del Tallo	<i>mm</i>	Medición		
Presión de retorno	<i>bar</i>	Medición		
Tipo de boquilla	<i>diseño</i>	Observación		
Ángulos del cono de pulverización	°	Medición		

3.10. Protocolo de extracción de inyectores

Al terminar las respectivas pruebas de los inyectores proceder a la extracción de los mismos, efectuar el siguiente procedimiento (ver tabla 29).

Tabla 29

Protocolo extracción de inyectores.

N°-	Descripción	Gráfica
1	Al finalizar las pruebas, seleccionar la opción stop para detener el banco de pruebas.	 <p data-bbox="986 768 1273 797">Figura 71 Opción Stop</p>
2	Seleccionar la opción "drain" del panel de control para drenar el fluido restante en las probetas	 <p data-bbox="986 1171 1249 1200">Figura 72 Opción Drain</p>
3	Purgar el sistema completamente para aliviar la presión dentro del circuito	 <p data-bbox="986 1597 1310 1626">Figura 73 Purga del sistema</p>
4	Proceder a retirar las cañerías de retorno e ingreso del fluido de los inyectores	 <p data-bbox="986 1944 1302 2007">Figura 74 Cañerías de ingreso y retorno de fluido</p>

CONTINÚA



5

Retirar el inyector del soporte de inyectores



Figura 75 Soporte de Inyector

6

Limpiar y colocar cada uno de los protectores del inyector



Figura 76 Protectores del inyector

3.11. Precauciones

- Drenar completamente el fluido de las probetas graduadas.
- Apagar el banco Tester CRDI V- 3500.
- Purgar, aliviar la presión del circuito con el control de purga principal.
- Desajustar las cañerías de ingreso y retorno de fluido considerar su adecuado retiro ya que contiene sobrantes de fluido, evitar su derrame.
- Al retirar los inyectores tener cuidado de que no se golpee las toberas.
- De no utilizar continuamente el equipo de diagnóstico de inyectores CRDI V-3500 extraer el fluido utilizado para el funcionamiento del banco.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y ELECTRÓNICO DE LOS INYECTORES CRDI BOSCH

4.1. Introducción

Al establecer los protocolos correspondientes del comportamiento mecánico y electrónico, se da lugar a la investigación expuesta, en el Laboratorio de Autotrónica de la Carrera de Ingeniería Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga, los cuales serán aplicables en los inyectores del sistema CRDI Bosch(0445110290 y 0445110 293), en consecuencia se realizó el respectivo análisis de los datos adquiridos de cada una de las pruebas efectuadas, en donde se modificaron parámetros el tiempo de inyección, el número de inyecciones, además de su presión.

4.2. Desarrollo de la investigación

Para efectuar la presente investigación se empleó banco de pruebas para inyectores CRDI V-3500 CON intervalos variables de funcionamiento como: tiempos de inyección, número de inyecciones y presiones, que en cúmulo con el osciloscopio Hantek 1008c y Owon, multímetro, compresor de 4 HP, pinza amperimétrica, además de computador personal , se logró conocer valores de voltaje de activación, retención del inyector, valor de corriente consumida, tiempos de activación y retención y caudales de ingreso y retorno, al efectuar las pruebas con los inyectores en intervalos determinados de tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms, número de inyecciones de (250, 500, 750, 990) STRK y presiones de (300, 400, 500, 600 y 700) bar, se visualizó los oscilogramas de voltaje y corriente revisando los tiempos de inyección, valores de corriente y voltaje.

4.3 Pruebas mecánicas

Para el cálculo, medición del tiempo de apertura y cierre, caudal de inyección y retorno, tomar en cuenta cada uno de los protocolos estipulados anteriormente en el capítulo 3, para una adecuada ejecución en el banco de pruebas Tester CRDI V-3500. En cada etapa de pruebas establecida se elaboró los siguientes grupos de datos que en consecuencia únicamente varía el valor de la presión, posteriormente los datos obtenidos serán ingresados en sus respectivas tablas (ver tabla 30).

Tabla 30

Valores para la realización de las pruebas mecánicas

Presión (300,400,500,600,700)	Tiempos de inyección(ms)	Numero de inyecciones (STRK)
300-400-500-600-700	0.25,0.50,1,1.5,2	250
	0.25,0.50,1,1.5,2	500
	0.25,0.50,1,1.5,2	750
	0.25,0.50,1,1.5,2	990

4.4 Pruebas eléctricas

Las diferentes magnitudes a medir tales como voltaje de activación y retención, corriente de activación e inductancia mediante la aplicación de protocolos y seguridad personal establecido en el capítulo 3 ejecutar las respectivas pruebas en los inyectores Bosch 0445110290 y 0445110293, en el banco de pruebas Tester V- 3500 con la ayuda de osciloscopios Owon, Hantek, computadoras personales, multímetro automotriz, pinza amperimétrica, multímetro digital LCR para la medición de la inductancia. Es necesario tomar en cuenta la adecuada ubicación de la pinza amperimétrica en el cable correcto del socket del inyector.

4.5 Grados de activación

Es el ángulo en función del giro del cigüeñal, en donde el inyector entra en funcionamiento, el cual es directamente proporcional al tiempo de inyección. Para calcular el ángulo de activación en referencia al tiempo de inyección, seleccionar los parámetros que emite el osciloscopio tales como:

Nomenclatura:

T = periodo.

φ = giro del cigüeñal.

n = número de cilindros.

Datos:

$T=219.72$ ms

$\varphi=720^\circ$

$n =4$

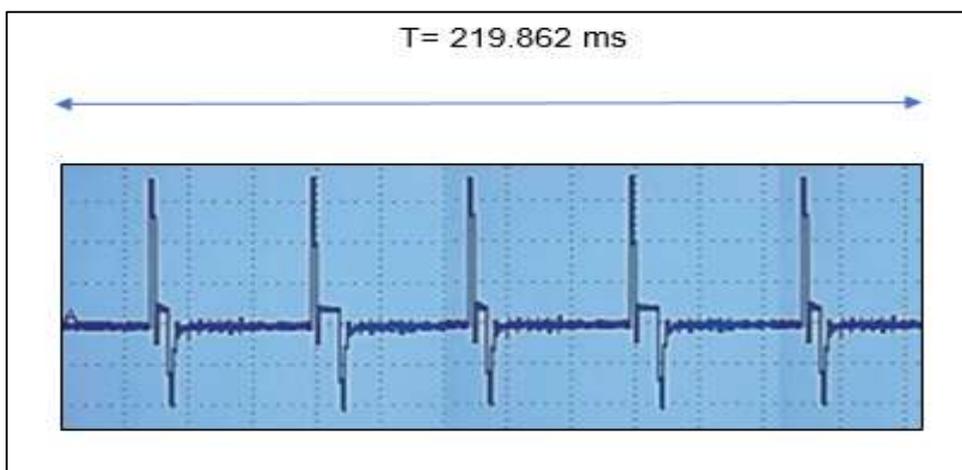


Figura 77 Periodo y giro del cigüeñal en inyección diésel

El período es de 219.862 ms valor total para 4 cilindros, es fundamental calcular los valores para un solo cilindro debido ya que el análisis es para un inyector.

- Período individual.

$$T_1 = \frac{T}{n}$$

Ecuación 5 Período individual.

$$T_1 = \frac{219,862 \text{ ms}}{4}$$

$$T_1 = 54,965 \text{ ms}$$

- Ángulo individual.

$\varphi_1 = \text{ángulo individual}$

$$\varphi_1 = \frac{\varphi}{n}$$

Ecuación 6 Ángulo individual.

$$\varphi_1 = \frac{720^\circ}{4}$$

$$\varphi_1 = 180^\circ$$

Se obtuvo los parámetros para un solo inyector.

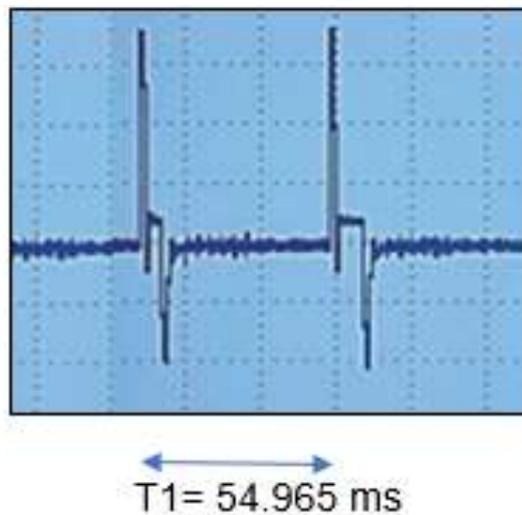


Figura 78 Gráfica pulsos de inyección

En los nuevos datos se determina los grados de activación para cada intervalo de tiempo de inyección estipulado.

$$T_1 = 54,965 \text{ ms}$$

$$\varphi_1 = 180^\circ$$

- **Para un $ti_1 = 0,25 \text{ ms}$**

$$\varphi_{ti_1} = \frac{ti_1 * 180^\circ}{54.965}$$

Ecuación 7 Grado de activación para un tiempo de inyección de 0,25ms

$$\varphi_{ti_1} = \frac{0,25\text{ms} * 180^\circ}{54.965\text{ms}}$$

$$\varphi_{ti_1} = 0,819^\circ$$

- **Para un $ti_2 = 0,50 \text{ ms}$**

$$\varphi_{ti_2} = \frac{ti_2 * 180^\circ}{54.965}$$

Ecuación 8 Grado de activación para un tiempo de inyección de 0,50ms

$$\varphi_{ti_2} = \frac{0,50\text{ms} * 180^\circ}{54.965\text{ms}}$$

$$\varphi_{ti_2} = 1,637^\circ$$

- Para un $ti_3 = 1 \text{ ms}$

$$\varphi_{ti_3} = \frac{ti_3 * 180^\circ}{54.965}$$

Ecuación 9 Grado de activación para un tiempo de inyección de 1ms

$$\varphi_{ti_3} = \frac{1ms * 180^\circ}{54.965ms}$$

$$\varphi_{ti_3} = 3,275^\circ$$

- Para un $ti_4 = 1.5 \text{ ms}$

$$\varphi_{ti_4} = \frac{ti_4 * 180^\circ}{54.965}$$

Ecuación 10 Grado de activación para un tiempo de inyección de 1.5ms

$$\varphi_{ti_4} = \frac{1.5ms * 180^\circ}{54.965ms}$$

$$\varphi_{ti_4} = 4.912^\circ$$

- Para un $ti_5 = 2 \text{ ms}$

$$\varphi_{ti_5} = \frac{ti_5 * 180^\circ}{54.965}$$

Ecuación 11 Grado de activación para un tiempo de inyección de 2ms

$$\varphi_{ti_5} = \frac{2ms * 180^\circ}{54.965ms}$$

$$\varphi_{ti_5} = 6.550^\circ$$

- Para el tiempo de disparo de 0.090 ms.

$$\varphi_{\text{tiempo de disparo}} = \frac{\text{tiempo de disparo} * 180^\circ}{54.965}$$

Ecuación 12 Grado de activación para el tiempo de disparo 0,090ms.

$$\varphi_{\text{tiempo de disparo}} = \frac{0.090\text{ms} * 180^\circ}{54.965\text{ms}}$$

$$\varphi_{\text{tiempo de disparo}} = 0,295^\circ$$

Tabla 31

Análisis de los grados de activación con respecto al tiempo de activación y giro del cigüeñal

Tiempo de inyección (ms)	Grados de activación (°)
0.25	0.82
0.50	1.64
1	3.28
1.50	4.91
2	6.55
Tiempo de disparo (ms)	Grado de activación (°)
0.09	0.3

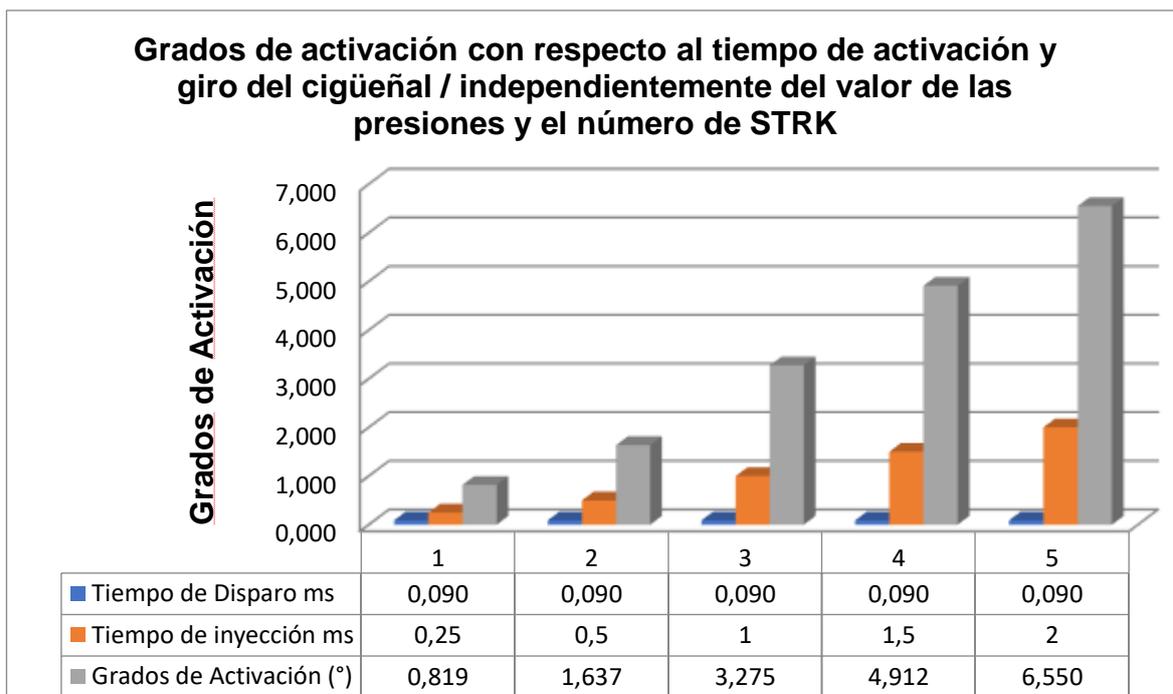


Figura 79 Análisis de los grados de activación con respecto al tiempo de activación y giro del cigüeñal / independientemente del valor de las presiones y el número de STRK.

Los grados de activación son directamente proporcional a los tiempos de inyección establecidos sin tomar en cuenta número de inyecciones y presiones, obteniendo un ángulo mínimo de 0.82° para el tiempo de inyección de 0.25ms y un ángulo máximo de 6.55° para el tiempo de inyección de 2ms, además de un ángulo de activación de 0.3° para un tiempo de disparo de 0.090 ms.

4.6. Inyector CRDI Bosch 04451102126

El primer inyector destinado a estudio fue el 0445110126 de la casa comercial Bosch en donde es utilizado en motores diésel que cumple normas ambientales Euro III de 2.0 litros, 4 cilindros, marca Kia, modelo Sportage.

Dichos inyectores utilizan una tobera de serie DLLA150P1511 compatible con una bomba rotativa del tipo paletas deslizantes de serie 0 445 010 279.

4.6.1 Despiece y nomenclatura de las partes del inyector CRDI 04451102126

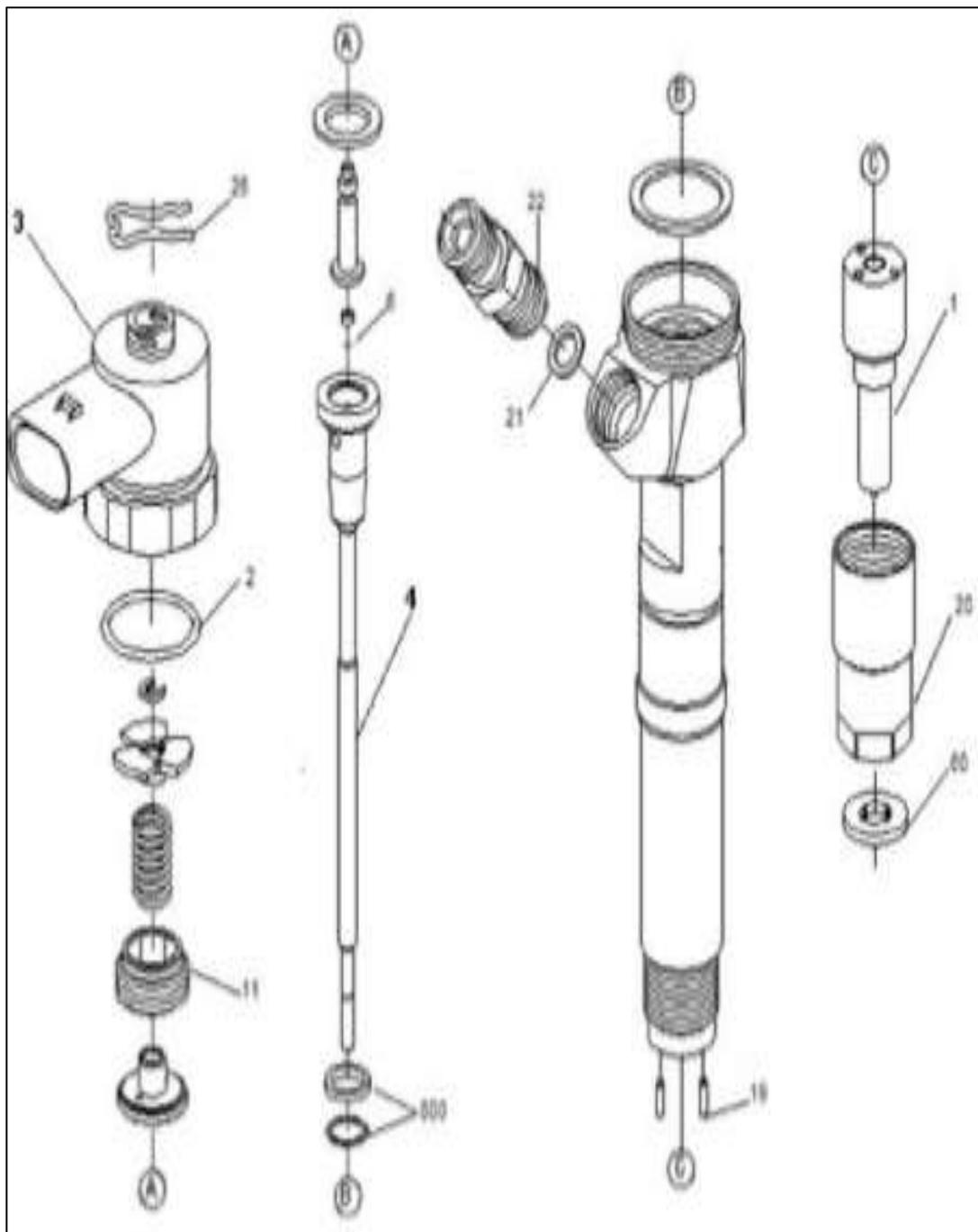


Figura 80 Despiece del inyector 04451102126

(2. Anillo del solenoide, 3. Solenoide, 4. Kit de válvula, 6. Bola, 11. Tornillo tensor, 19. Clavijas, 20. Tuerca inyector, 21. Junta, 22. Racor, 26. Estribo, 60. Anillo de juntas, 800. Juego de piezas).

Datos de entrada para efectuar las pruebas mecánicas y eléctricas

Tabla 32

Pruebas Mecánicas

Datos de entrada:	Valores obtenidos:
<p data-bbox="252 488 657 577">Presión, STKR, Tiempo de Inyección</p>  <p data-bbox="306 999 657 1030">Figura 81 Datos de entrada</p>	 <p data-bbox="884 994 1257 1025">Figura 82 Tiempo de Disparo</p> <p data-bbox="746 1052 1340 1406">Para el tiempo de disparo seleccionar la opción cursor en la barra de herramientas de la interfaz del osciloscopio, escoger el canal que se utiliza, ubicar la posición en la que se va a mover el cursor para obtener la medición del tiempo de disparo para dicho caso seleccionar la opción vertical, localizar el cursor en el punto de inicio y arrastrar al final de su medición requerida.</p>
	 <p data-bbox="868 1850 1270 1881">Figura 83 Tiempo de Retención</p>

CONTINÚA



Para el tiempo de retención seleccionar la opción cursor en la barra de herramientas de la interfaz del osciloscopio, escoger el canal que se utiliza, ubicar la posición en la que se va a mover el cursor para obtener la medición del tiempo de retención para dicho caso seleccionar la opción vertical, localizar el cursor en el punto de inicio y arrastrar al final de su medición requerida.

$$T. \text{ Retención} = T. \text{ Inyección} - T. \text{ Disparo}$$

Ecuación 13 Cálculo Tiempo de Retención



Figura 84 Caudal de inyección y retorno

Tomar la medida de los caudales proporcionados durante la prueba, en la probeta izquierdo se ubica el caudal de ingreso y en la probeta derecha el caudal de retorno.

Tabla 33

Pruebas Eléctricas.

Datos de entrada:

Valores obtenidos:

Presión, STKR, Tiempo de Inyección.



Figura 85 Datos de entrada

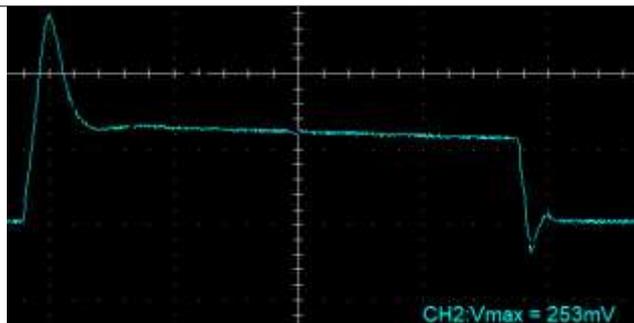


Figura 86 Corriente de Activación

Seleccionar en la opción de measure y el canal respectivo utilizado para la pinza amperimétrica la cual esta calibrada con una escala equivalente a 10mV/ 1A en la cual se realiza la conversión ya que la interfaz del osciloscopio emite un valor en mV.

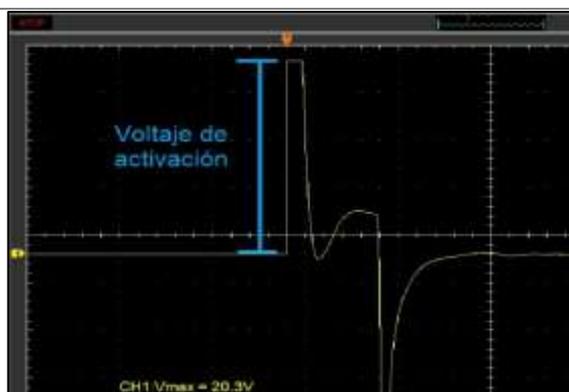


Figura 87 Voltaje de Activación

Para obtener dicho valor seleccionar la opción measure en la barra de herramientas y seleccionar el canal que se esté utilizando en el osciloscopio, además ubicarse en la opción medición horizontal aparecerá directamente el valor de voltaje en la pantalla del osciloscopio.

CONTINÚA



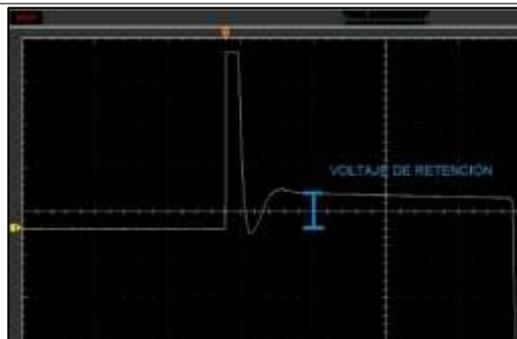


Figura 88 Voltaje de Retención

Para obtener el voltaje de retención seleccionar la opción cursor en la barra de herramientas de la interfaz del osciloscopio, además ubicar en qué posición vamos a mover el cursor para dicho caso, la opción horizontal y arrastrar el cursor hasta donde se desea realizar la medición y obtener automáticamente el voltaje de retención.



Figura 89 Resistencia de la Bobina

Seleccionar en la máquina la opción 1 a continuación presionar Start, automáticamente emite el valor de resistencia del inyector.



Figura 90 Inductancia

Valor que se puede apreciar mediante el uso del Inductómetro, se lo realiza ubicando en los respectivos terminales de cada inyector.

4.6.2. Análisis de las pruebas a la presión de 300 bar

Tabla 34

Prueba del inyector Bosch 0445110126 a una presión de 300 bar con una variación del número de inyecciones o STRK de (250, 500, 750, 990) y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms. Ver (tabla 32 y tabla 33)

Presión Prueba	STRK	Tiempo de inyección	Tiempo de Disparo	Tiempo de retención	Caudal de Inyección	Caudal Retorno	Corriente de Activación
(bar)		Ms	ms	Ms	(mm3)	(mm3)	(A)
300	250	0,25	0,090	0,160	0	0	26,4
300	250	0,5	0,090	0,410	0	0	25,9
300	250	1	0,090	0,910	1,1	0,3	25,7
300	250	1,5	0,090	1,410	7	1,7	25,5
300	250	2	0,090	1,910	12,3	2	25,3
300	500	0,25	0,090	0,160	0	0,4	26,5
300	500	0,5	0,090	0,410	0	1,3	26,8
300	500	1	0,090	0,910	5,4	3,5	26,6
300	500	1,5	0,090	1,410	14,2	5,6	26,5
300	500	2	0,090	1,910	24,7	7,1	26,4
300	750	0,25	0,090	0,160	0	1,7	26,8
300	750	0,5	0,090	0,410	0	3	27
300	750	1	0,090	0,910	10	6,2	26,8
300	750	1,5	0,090	1,410	21,4	9,1	26,4
300	750	2	0,090	1,910	33,8	9,6	27,3
300	990	0,25	0,090	0,160	0	3,1	27,3
300	990	0,5	0,090	0,410	0,4	5	27,2
300	990	1	0,090	0,910	11,5	8,5	27,3
300	990	1,5	0,090	1,410	30,5	11,9	27,4
300	990	2	0,090	1,910	44,6	13,1	27,2

En la tabla 34 se debe tener en cuenta que los únicos datos variables corresponden a STRK y tiempo de inyección para cada una de las pruebas, visualizando que los STRK y el tiempo de inyección van incrementando, en la cual los valores de caudal de inyección, caudal de retorno y tiempo de retención van aumentando proporcionalmente.

Para el tiempo de disparo se obtuvo un valor de 0,090ms constante. Además, la corriente de activación forma un pequeño rango de variación manteniendo un amperaje mínimo de 25.3 A y un máximo de 27.4 A obteniendo un gasto promedio de 26.35 A, a una presión constante de 300 bar.

Tabla 35

Prueba del inyector Bosch 0445110126 a una presión de 300 bar con una variación del número de pulsos de (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms. Ver (tabla 33)

Presión Prueba	STRK	Voltaje de activación	Voltaje de retención	Grados de Activación	Resistencia en la Bobina	Inductancia
(bar)		(V)	(V)	(°)	(Ω)	(H)
300	250	20,3	1,5	0,819	0,5	164Uh
300	250	20,3	4,1	1,637	0,5	164Uh
300	250	20,3	4,1	3,275	0,5	164Uh
300	250	20,3	4,01	4,912	0,5	164Uh
300	250	20,3	4,01	6,550	0,5	164Uh
300	500	20,4	1,5	0,819	0,5	164Uh
300	500	20,4	4,1	1,637	0,5	164Uh
300	500	20,4	4,1	3,275	0,5	164Uh
300	500	20,4	4,1	4,912	0,5	164Uh
300	500	20,4	4,1	6,550	0,5	164Uh
300	750	20,2	1,9	0,819	0,5	164Uh
300	750	20,3	4,9	1,637	0,5	164Uh
300	750	20,3	4,2	3,275	0,5	164Uh
300	750	20,3	4,1	4,912	0,5	164Uh
300	750	20,4	4,2	6,550	0,5	164Uh
300	990	20,4	1,8	0,819	0,5	164Uh
300	990	20,4	4,9	1,637	0,5	164Uh
300	990	20,4	4,1	3,275	0,5	164Uh
300	990	20,4	4,1	4,912	0,5	164Uh
300	990	20,4	4,1	6,550	0,5	164Uh

En la tabla 35 se debe tener en cuenta que los únicos datos variables corresponden a STRK y tiempo de inyección para cada una de las pruebas, se comprobó que al calcular los grados de activación con respecto al tiempo de inyección estos son directamente proporcional, alcanzando un ángulo de giro máximo de 6.55° en un tiempo de inyección de 2ms, generando un gasto promedio de voltaje de 20.35 V, además se verificó que para el correcto funcionamiento de la bobina debe emitir un valor resistivo de 0.5Ω , y una impedancia de 164 μ H, cuyos valores son constantes.

Número de inyecciones o STRK -Tiempo de inyección -Tiempo de disparo -Tiempo de retención a 300 bar de presión

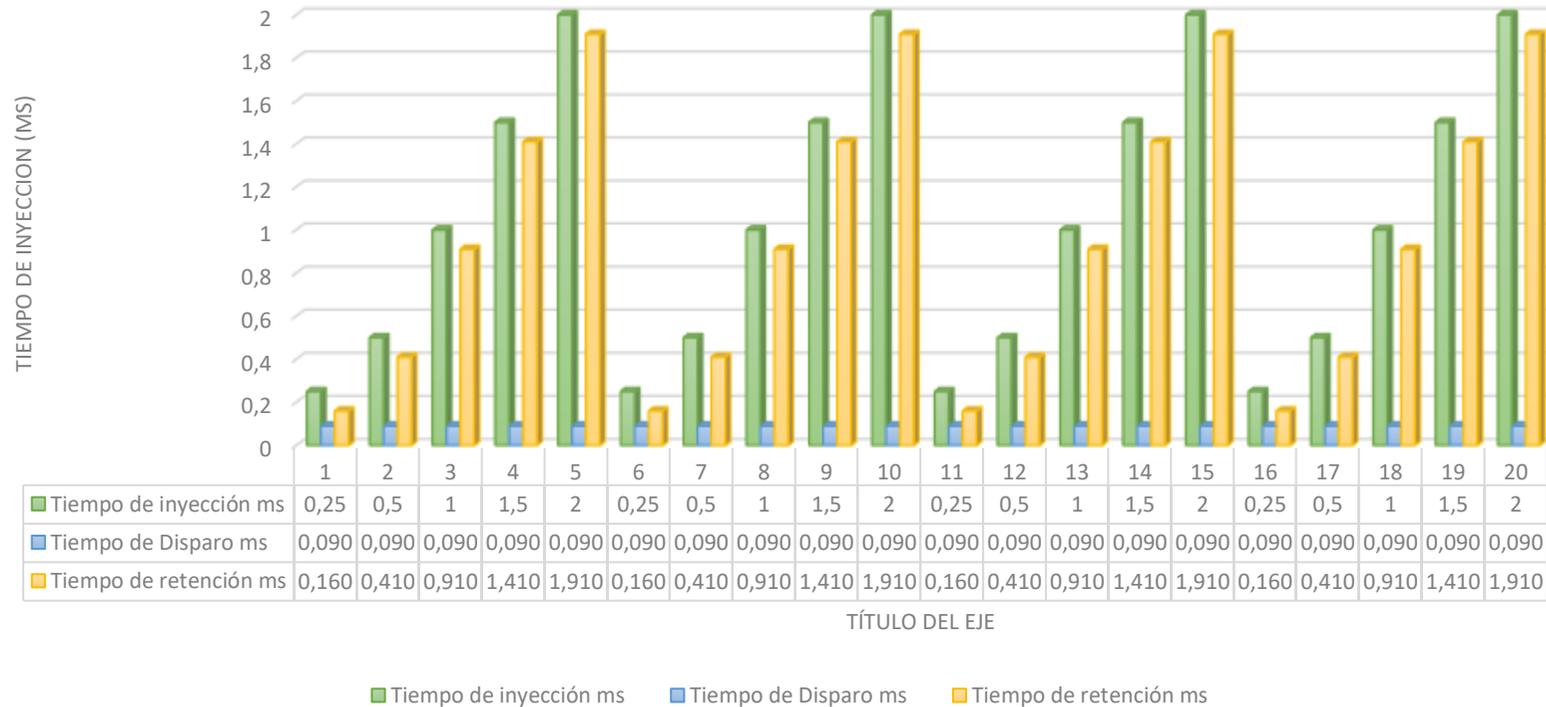


Figura 91 Interpretación gráfica del inyector Bosch 0445110126 a una presión de 300 bar con variación de números de pulsos en (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms, calculando el tiempo de disparo y el tiempo de retención.

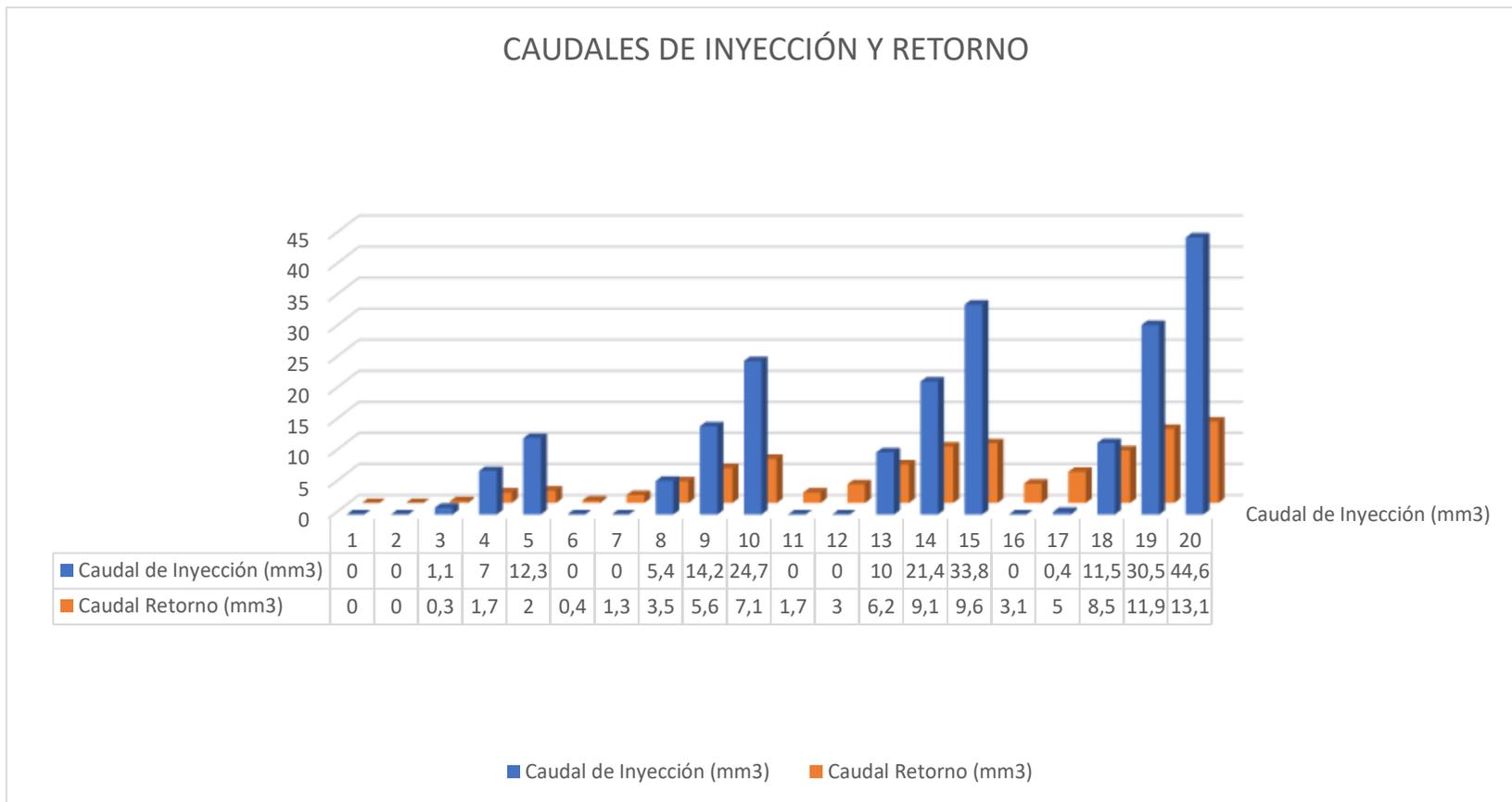


Figura 92 Interpretación gráfica del inyector Bosch 0445110126 con una presión de 300 bar, variación de número de inyecciones a (250, 500, 750, 990) y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms, calculando el caudal de inyección y retorno.

En la figura 91 al tabular los datos obtenidos se observa que el tiempo de disparo en el caso de dicho inyector permanece constante con un valor de 0.090ms, por lo tanto, el tiempo de retención da como resultado de la ecuación 13, los tiempos de inyección, retención y disparo son independientes al número de inyecciones ya que al variar los mismo no cambia sus valores iniciales en tiempos.

En la figura 92 la interpretación gráfica se observa que el caudal de inyección y retorno son directamente proporcional al tiempo de inyección y STRK, obteniendo un caudal de inyección máximo de 44.6 ml a 990 STRK en 2ms y un caudal mínimo estimable de 0.4 ml a 990 STRK en 0.50 ms de tiempo de inyección, además se determinó que el caudal máximo de retorno es de 13.1 ml, el cual se obtiene con 990 SRTK y 2 ms de tiempo de inyección.

Al ingresar valores mínimos de prueba (250 STRK y 0,25 ms) para dichos parámetros se observó que el fluido es pulverizado totalmente, presentando una nubosidad en los cilindros de pulverización siendo insignificantes las medidas de caudal tanto de retorno como de inyección, y a su vez se determinó que en el tiempo de inyección de 0,25 ms el inyector permanece abierto un corto período de tiempo siendo el caudal de retorno superior al de inyección.

4.6.3. Análisis de las pruebas a la presión de 400 bar.

Tabla 36

Prueba del inyector Bosch 0445110126 a una presión de 400 bar con una variación de números de pulsos de (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms. Ver (tabla 32 y tabla 33)

Presión Prueba (bar)	STRK	Tiempo de inyección ms	Tiempo de Disparo Ms	Tiempo de retención ms	Caudal de Inyección (mm3)	Caudal Retorno (mm3)	Corriente de Activación (A)
400	250	0,25	0,090	0,160	0	0	27,6
400	250	0,5	0,090	0,410	0	0,3	27,6
400	250	1	0,090	0,910	5,3	1,7	27,4
400	250	1,5	0,090	1,410	11,5	2,8	27,3
400	250	2	0,090	1,910	14,1	2,9	27,2
400	500	0,25	0,090	0,160	0	1,8	27,3
400	500	0,5	0,090	0,410	0,1	3,1	27,4
400	500	1	0,090	0,910	10	5,5	27,2
400	500	1,5	0,090	1,410	22,9	8,1	27,2
400	500	2	0,090	1,910	28,9	8,1	27
400	750	0,25	0,090	0,160	0	4	25,5
400	750	0,5	0,090	0,410	1,3	5,3	27,2
400	750	1	0,090	0,910	16	8,9	26,9
400	750	1,5	0,090	1,410	33,5	12,5	26,9
400	750	2	0,090	1,910	42,7	11,7	26,9
400	990	0,25	0,090	0,160	0	5,9	27,2
400	990	0,5	0,090	0,410	2,9	8,1	26,6
400	990	1	0,090	0,910	22,2	12,5	28,2
400	990	1,5	0,090	1,410	42,2	15,2	27
400	990	2	0,090	1,910	55,7	16,8	27,9

En la tabla 36 se debe tener en cuenta que los únicos datos variables corresponden a STRK y tiempo de inyección para cada una de las pruebas, visualizando que los STRK y el tiempo de inyección van incrementando, en la cual los valores de caudal de inyección, caudal de retorno y tiempo de retención van aumentando proporcionalmente.

Para el tiempo de disparo se obtuvo un valor de 0,090ms constante. Además, la corriente de activación forma un pequeño rango de variación manteniendo un amperaje mínimo de 25.5 A y un máximo de 28.2 A obteniendo un gasto promedio de 26.35 A, a una presión constante de 300 bar.

Tabla 37

Prueba del inyector Bosch 0445110126 a una presión de 400 bar con una variación de números de pulsos de (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms. Ver (tabla 33)

Presión Prueba	STRK	Voltaje de activación	Voltaje de retención	Grados de Activación	Resistencia en la Bobina	Inductancia
(bar)		(V)	(V)	(°)	(Ω)	(μ H)
400	250	20,4	1,8	0,819	0,5	164U _h
400	250	20,4	4,9	1,637	0,5	164U _h
400	250	20,4	4,1	3,275	0,5	164U _h
400	250	20,4	4,1	4,912	0,5	164U _h
400	250	20,4	4,1	6,550	0,5	164U _h
400	500	20,4	1,8	0,819	0,5	164U _h
400	500	20,4	4,9	1,637	0,5	164U _h
400	500	20,4	4,1	3,275	0,5	164U _h
400	500	20,4	4,1	4,912	0,5	164U _h
400	500	20,4	4,1	6,550	0,5	164U _h
400	750	20,4	1,5	0,819	0,5	164U _h
400	750	20,4	4,9	1,637	0,5	164U _h
400	750	20,4	4,1	3,275	0,5	164U _h
400	750	20,4	4,1	4,912	0,5	164U _h
400	750	20,4	4,1	6,550	0,5	164U _h
400	990	20,4	1,9	0,819	0,5	164U _h
400	990	20,4	4,9	1,637	0,5	164U _h
400	990	20,6	4,1	3,275	0,5	164u _H
400	990	20,6	4,1	4,912	0,5	164u _H
400	990	20,7	4,1	6,550	0,5	164u _H

En la tabla 37 se debe tener en cuenta que los únicos datos variables corresponden a STRK y tiempo de inyección para cada una de las pruebas, se comprobó que al calcular los grados de activación con respecto al tiempo de inyección estos son directamente proporcional, alcanzando un ángulo de giro máximo de 6.550° en un tiempo de inyección de 2ms, generando un gasto promedio de voltaje de 20.435 V, además se verificó que para el correcto funcionamiento de la bobina debe emitir un valor resistivo de 0.5 Ω , y una impedancia de 164 μ H, cuyos valores son constantes.

Número de inyecciones o STRK -Tiempo de inyección -Tiempo de disparo - Tiempo de retención a 400 bar de presión



Figura 93 Interpretación gráfica del inyector Bosch 0445110126 a una presión de 400 bar con variación de números de pulsos en (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms, calculando el tiempo de disparo y el tiempo de retención.

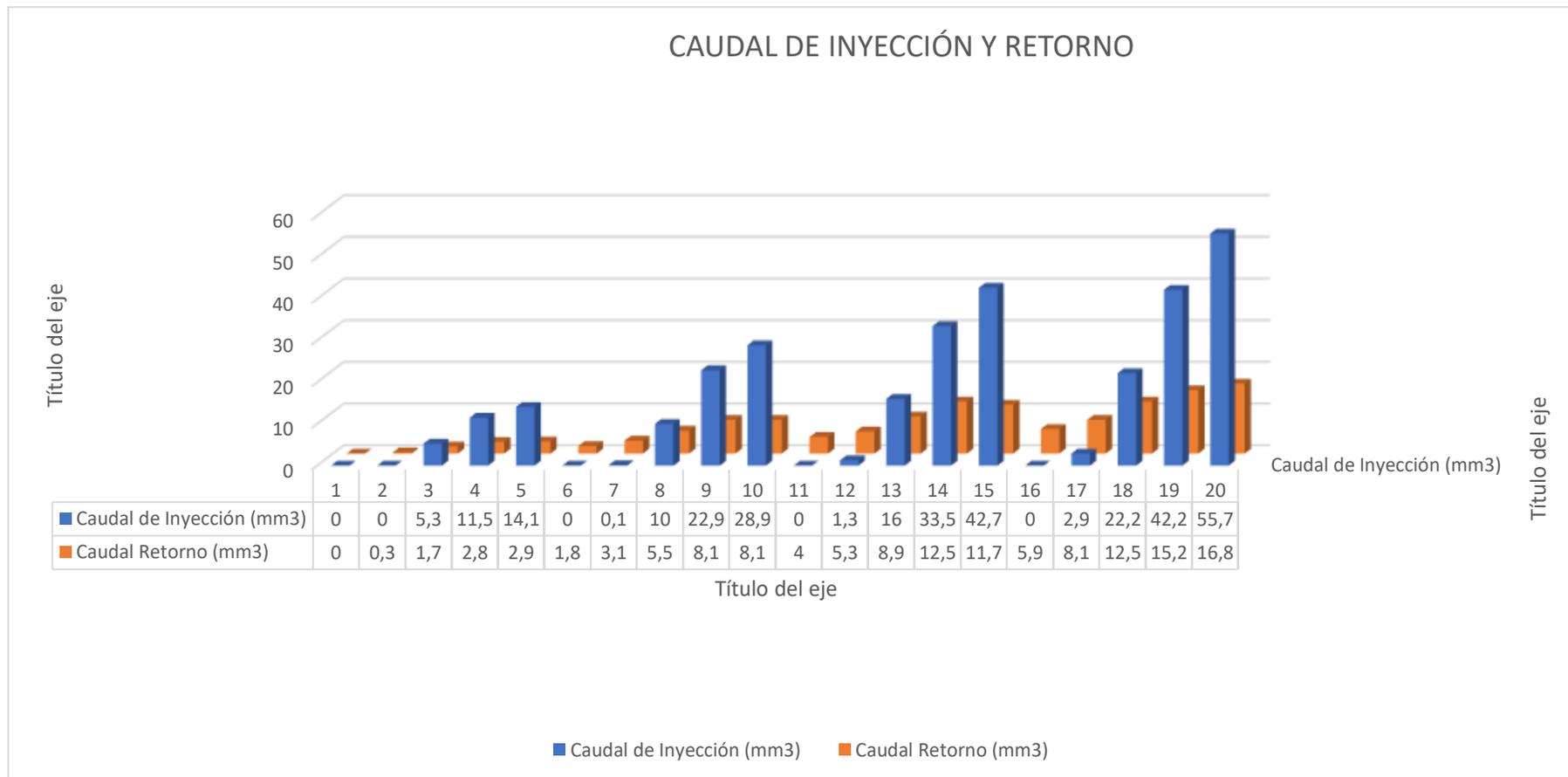


Figura 94 Interpretación gráfica del inyector Bosch 0445110126 con una presión de 400 bar, variación de número de inyecciones a (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms, calculando el caudal de inyección y retorno.

En la figura 93 al tabular los datos obtenidos se observa que el tiempo de disparo en el caso de dicho inyector permanece constante con un valor de 0.090ms, por lo tanto, el tiempo de retención da como resultado de la ecuación 13, los tiempos de inyección, retención y disparo son independientes al número de inyecciones ya que al variar los mismo no cambia sus valores iniciales en tiempos.

En la figura 94 la interpretación gráfica se observa que el caudal de inyección y retorno son directamente proporcional al tiempo de inyección y STRK, obteniendo un caudal de inyección máximo de 56.7 ml a 990 STRK en 2ms y un caudal mínimo estimable de 0.1 ml a 500 STRK en 0.50 ms de tiempo de inyección, además se determinó que el caudal máximo de retorno es de 16.8 ml, el cual se obtiene con 990 SRTK y 2 ms de tiempo de inyección.

Al ingresar valores mínimos de prueba (250 STRK y 0,25 ms) para dichos parámetros se observó que el fluido es pulverizado totalmente, presentando una nubosidad en los cilindros de pulverización siendo insignificantes las medidas de caudal tanto de retorno como de inyección, y a su vez se determinó que en el tiempo de inyección de 0,25 ms el inyector permanece abierto un corto período de tiempo siendo el caudal de retorno superior al de inyección.

4.6.4. Análisis de las pruebas a la presión de 500 bar

Tabla 38

Prueba del inyector Bosch 0445110126 a una presión de 500 bar con una variación de números de pulsos de (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms. Ver (tabla 32 y tabla 33)

Presión Prueba (bar)	STRK	Tiempo de inyección ms	Tiempo de Disparo ms	Tiempo de retención ms	Caudal de Inyección (mm3)	Caudal Retorno (mm3)	Corriente de Activación (A)
500	250	0,25	0,090	0,160	0	0,4	27,5
500	250	0,5	0,090	0,410	0	1,1	27,2
500	250	1	0,090	0,910	7,5	2,4	28
500	250	1,5	0,090	1,410	13	3,5	28,3
500	250	2	0,090	1,910	16,9	4	27,2
500	500	0,25	0,090	0,160	0	2,9	27,6
500	500	0,5	0,090	0,410	1,3	4,1	27,6
500	500	1	0,090	0,910	15,6	7	27,5
500	500	1,5	0,090	1,410	26	9	27,9
500	500	2	0,090	1,910	33,1	9,9	27,6
500	750	0,25	0,090	0,160	0	5,8	27,8
500	750	0,5	0,090	0,410	3,8	7,5	27,6
500	750	1	0,090	0,910	22,9	11,4	28
500	750	1,5	0,090	1,410	31,5	12,4	27,3
500	750	2	0,090	1,910	44,9	13,1	27,9
500	990	0,25	0,090	0,160	0	8,2	28,2
500	990	0,5	0,090	0,410	5	11	26,4
500	990	1	0,090	0,910	30	15,9	27,8
500	990	1,5	0,090	1,410	47,2	17,3	27,9
500	990	2	0,090	1,910	60,7	17,3	28

En la tabla 38 se debe tener en cuenta que los únicos datos variables corresponden a STRK y tiempo de inyección para cada una de las pruebas, visualizando que los STRK y el tiempo de inyección van incrementando, en la cual los valores de caudal de inyección, caudal de retorno y tiempo de retención van aumentando proporcionalmente.

Para el tiempo de disparo se obtuvo un valor de 0,090ms constante. Además, la corriente de activación forma un pequeño rango de variación manteniendo un amperaje mínimo de 27.2 A y un máximo de 28.3 A obteniendo un gasto promedio de 27.67 A, a una presión constante de 500 bar.

Tabla 39

Prueba del inyector Bosch 0445110126 a una presión de 500 bar con una variación de números de pulsos de (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms. Ver (tabla 33)

Presión Prueba	STRK	Voltaje de activación	Voltaje de retención	Grados de Activación	Resistencia en la Bobina	Inductancia
(bar)		(V)	(V)	(°)	(Ω)	(H)
500	250	20,7	1,9	0,819	0,5	164uH
500	250	20,7	4,9	1,637	0,5	164Uh
500	250	20,8	4,1	3,275	0,5	164Uh
500	250	20,8	4,1	4,912	0,5	164Uh
500	250	20,8	4,1	6,550	0,5	164Uh
500	500	20,8	1,9	0,819	0,5	164Uh
500	500	20,8	4,9	1,637	0,5	164Uh
500	500	20,8	4,2	3,275	0,5	164Uh
500	500	20,9	4,2	4,912	0,5	164Uh
500	500	20,9	4,2	6,550	0,5	164uH
500	750	20,9	1,9	0,819	0,5	164uH
500	750	20,9	4,9	1,637	0,5	164uH
500	750	20,9	4,2	3,275	0,5	164uH
500	750	20,9	4,1	4,912	0,5	164uH
500	750	20,9	4,1	6,550	0,5	164uH
500	990	20,9	1,9	0,819	0,5	164uH
500	990	20,9	4,9	1,637	0,5	164uH
500	990	20,9	4,1	3,275	0,5	164uH
500	990	20,9	4,1	4,912	0,5	164uH
500	990	20,9	4,1	6,550	0,5	164uH

En la tabla 39 se debe tener en cuenta que los únicos datos variables corresponden a STRK y tiempo de inyección para cada una de las pruebas, se comprobó que al calcular los grados de activación con respecto al tiempo de inyección estos son directamente proporcional, alcanzando un ángulo de giro máximo de 6.55° en un tiempo de inyección de 2ms, generando un gasto promedio de voltaje de 20.44 V, además se verificó que para el correcto funcionamiento de la bobina debe emitir un valor resistivo de 0.5Ω , y una impedancia de $164\ \mu\text{H}$, cuyos valores son constantes.

Número de inyecciones o STRK -Tiempo de inyección -Tiempo de disparo - Tiempo de retención a 500 bar de presión



Figura 95 Interpretación gráfica del inyector Bosch 0445110126 a una presión de 500 bar con variación de números de pulsos en (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms, calculando el tiempo de disparo y el tiempo de retención.

CAUDAL DE INYECCIÓN Y RETORNO

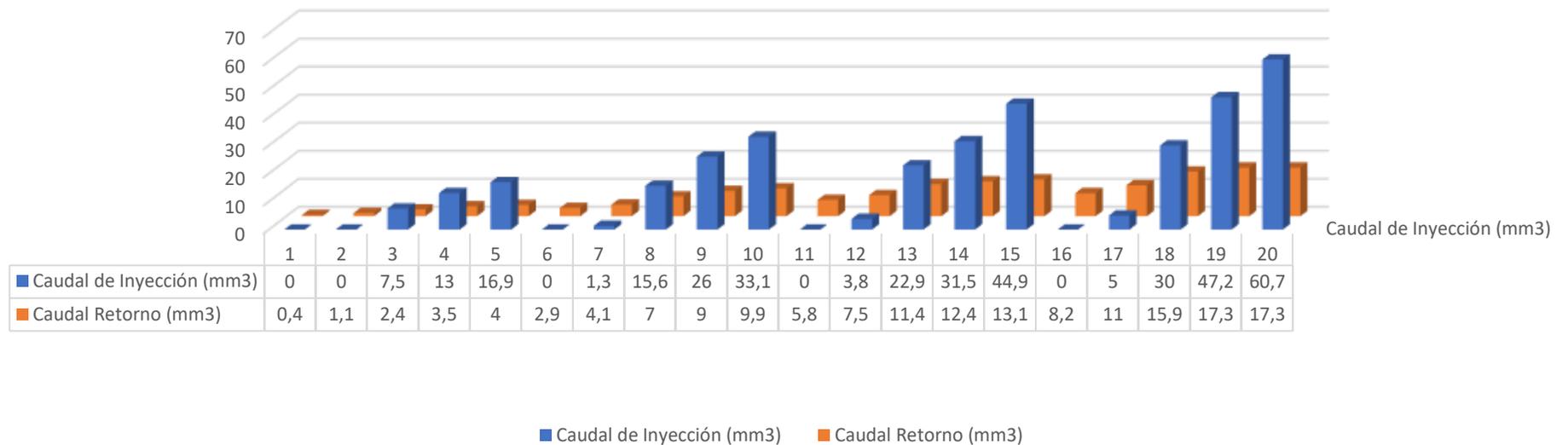


Figura 96 Interpretación gráfica del inyector Bosch 0445110126 a una presión de 500 bar con variación de números de pulsos en (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms, calculando el caudal de inyección y retorno.

En la figura 95 al tabular los datos obtenidos se observa que el tiempo de disparo en el caso de dicho inyector permanece constante con un valor de 0.090ms, por lo tanto, el tiempo de retención da como resultado de la ecuación 13, los tiempos de inyección, retención y disparo son independientes al número de inyecciones ya que al variar los mismo no cambia sus valores iniciales en tiempos.

En la figura 96 la interpretación gráfica se observa que el caudal de inyección y retorno son directamente proporcional al tiempo de inyección y STRK, obteniendo un caudal de inyección máximo de 60.7 ml a 990 STRK en 2ms y un caudal mínimo estimable de 1.3 ml a 500 STRK en 0.50 ms de tiempo de inyección, además se determinó que el caudal máximo de retorno es de 17.3 ml, el cual se obtiene con 990 SRTK y 2 ms de tiempo de inyección.

Al ingresar valores mínimos de prueba (250 STRK y 0,25 ms) para dichos parámetros se observó que el fluido es pulverizado totalmente, presentando una nubosidad en los cilindros de pulverización siendo insignificantes las medidas de caudal tanto de retorno como de inyección, y a su vez se determinó que en el tiempo de inyección de 0,25 ms el inyector permanece abierto un corto período de tiempo siendo el caudal de retorno superior al de inyección.

4.6.5. Análisis de las pruebas a la presión de 600 bar

Tabla 40

Prueba del inyector Bosch 0445110126 a una presión de 600 bar con una variación de números de pulsos de (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms. Ver (tabla 32 y tabla 33)

Presión Prueba (bar)	STRK	Tiempo de inyección ms	Tiempo de Disparo ms	Tiempo de retención ms	Caudal de Inyección (mm3)	Caudal Retorno (mm3)	Corriente de Activación (A)
600	250	0,25	0,085	0,165	0	1,4	27,6
600	250	0,5	0,085	0,415	1	2,3	28,4
600	250	1	0,085	0,915	8	3	29,5
600	250	1,5	0,085	1,415	13	4,1	29,1
600	250	2	0,085	1,915	17	3,8	29,2
600	500	0,25	0,085	0,165	0	3,9	29,1
600	500	0,5	0,085	0,415	2,9	5,6	30,2
600	500	1	0,085	0,915	18,4	8	28,8
600	500	1,5	0,085	1,415	26,5	9,5	29,8
600	500	2	0,085	1,915	31,4	7,8	29,2
600	750	0,25	0,085	0,165	1,9	6,9	30,7
600	750	0,5	0,085	0,415	8,8	9	30,3
600	750	1	0,085	0,915	29,3	13,3	30,2
600	750	1,5	0,085	1,415	41	13	29,2
600	750	2	0,085	1,915	52,1	14,4	29,2
600	990	0,25	0,085	0,165	2	9,9	31,3
600	990	0,5	0,085	0,415	8,4	12,6	30,7
600	990	1	0,085	0,915	33,5	16,2	30,7
600	990	1,5	0,085	1,415	53	18,8	30,4
600	990	2	0,085	1,915	65,8	17,9	30,6

En la tabla 40 se debe tener en cuenta que los únicos datos variables corresponden a STRK y tiempo de inyección para cada una de las pruebas, visualizando que los STRK y el tiempo de inyección van incrementando, en la cual los valores de caudal de inyección, caudal de retorno y tiempo de retención van aumentando proporcionalmente.

Para el tiempo de disparo se obtuvo un valor de 0,090ms constante. Además, la corriente de activación forma un pequeño rango de variación manteniendo un amperaje mínimo de 27.6 A y un máximo de 30.7 A obteniendo un gasto promedio de 29.71 A, a una presión constante de 600 bar.

Tabla 41

Prueba del inyector Bosch 9445110126 a una presión de 600 bar con una variación de números de pulsos de (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms. Ver (tabla 33)

Presión Prueba	STRK	Voltaje de activación	Voltaje de retención	Grados de Activación	Resistencia en la Bobina	Inductancia
(bar)		(V)	(V)	(°)	(Ω)	(H)
600	250	20,1	1,8	0,819	0,5	164uH
600	250	20,2	4,1	1,637	0,5	164uH
600	250	20,2	4,1	3,275	0,5	164uH
600	250	20,2	4,1	4,912	0,5	164uH
600	250	20,2	4,1	6,550	0,5	164uH
600	500	20,2	1,9	0,819	0,5	164uH
600	500	20,2	4,6	1,637	0,5	164uH
600	500	20,2	4	3,275	0,5	164uH
600	500	20,2	4,1	4,912	0,5	164uH
600	500	20,2	4	6,550	0,5	164uH
600	750	20,4	1,9	0,819	0,5	164Uh
600	750	20,4	4,9	1,637	0,5	164Uh
600	750	20,4	4,1	3,275	0,5	164Uh
600	750	20,4	4	4,912	0,5	164Uh
600	750	20,4	4	6,550	0,5	164Uh
600	990	20,4	1,9	0,819	0,5	164Uh
600	990	20,4	4,9	1,637	0,5	164Uh
600	990	20,4	4,1	3,275	0,5	164Uh
600	990	20,4	4,1	4,912	0,5	164Uh
600	990	20,4	4,1	6,550	0,5	164Uh

En la tabla 41 se debe tener en cuenta que los únicos datos variables corresponden a STRK y tiempo de inyección para cada una de las pruebas, se comprobó que al calcular los grados de activación con respecto al tiempo de inyección estos son directamente proporcional, alcanzando un ángulo de giro máximo de 6.55° en un tiempo de inyección de 2ms, generando un gasto promedio de voltaje de 20.3 V, además se verificó que para el correcto funcionamiento de la bobina debe emitir un valor resistivo de 0.5Ω , y una impedancia de $164\ \mu\text{H}$, cuyos valores son constantes.

Número de inyecciones o STRK -Tiempo de inyección -Tiempo de disparo -Tiempo de retención a 600 bar de presión

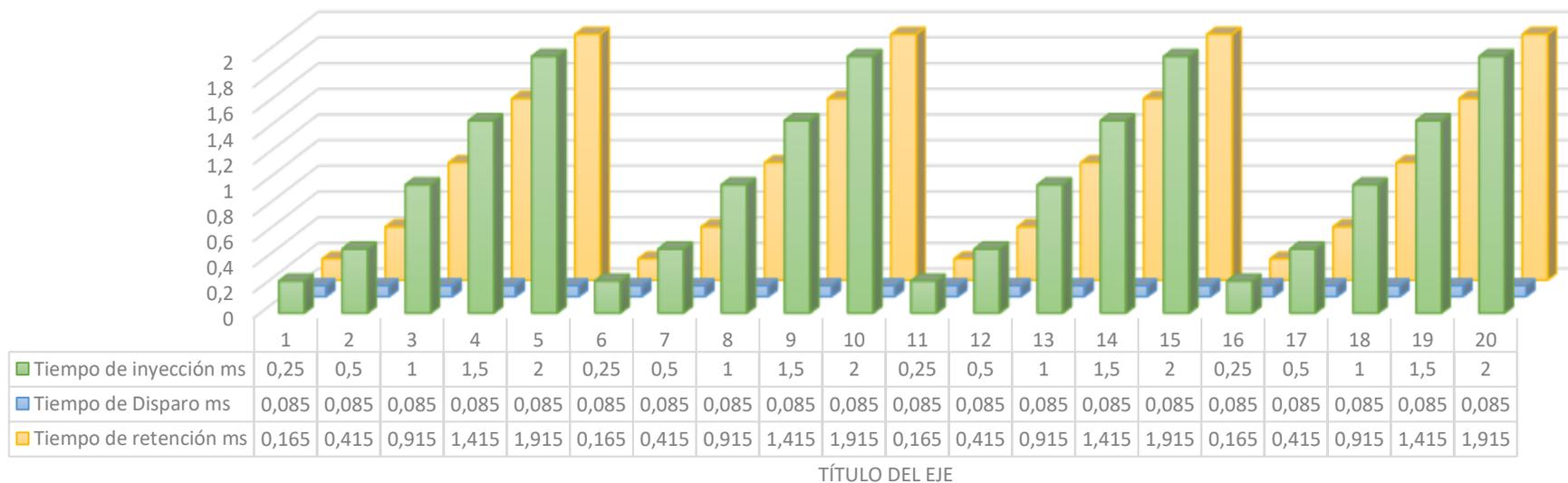


Figura 97 Interpretación gráfica del inyector Bosch 0445110126 a una presión de 600 bar con variación de números de pulsos en (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms, calculando el tiempo de disparo y el tiempo de retención.

CAUDAL DE INYECCIÓN Y RETORNO

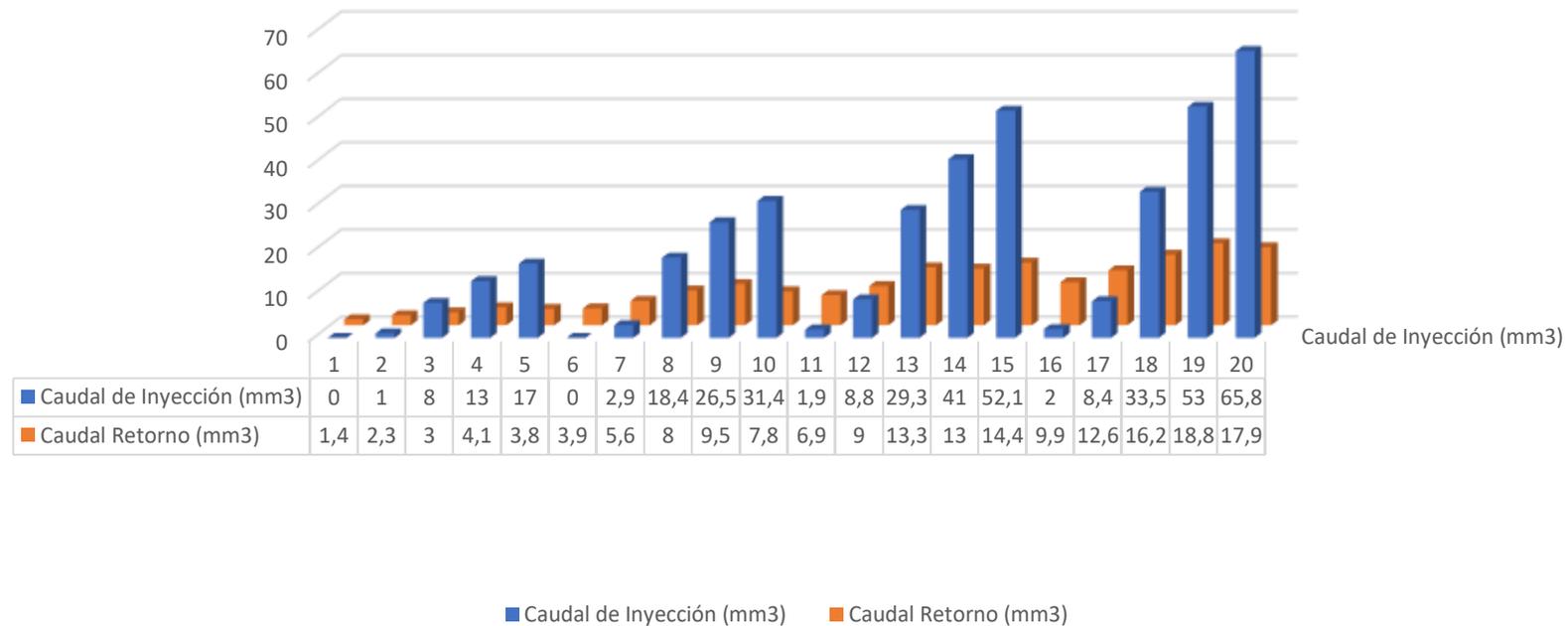


Figura 98 Interpretación gráfica del inyector Bosch 0445110126 a una presión de 600 bar con variación de números de pulsos en (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms, calculando el caudal de inyección y retorno.

En la figura 97 al tabular los datos obtenidos se observa que el tiempo de disparo en el caso de dicho inyector permanece constante con un valor de 0.090ms, por lo tanto, el tiempo de retención da como resultado de la ecuación 13, los tiempos de inyección, retención y disparo son independientes al número de inyecciones ya que al variar los mismo no cambia sus valores iniciales en tiempos.

En la figura 98 la interpretación gráfica se observa que el caudal de inyección y retorno son directamente proporcional al tiempo de inyección y STRK, obteniendo un caudal de inyección máximo de 65.8 ml a 990 STRK en 2ms y un caudal mínimo estimable de 1 ml a 250 STRK en 0.50 ms de tiempo de inyección, además se determinó que el caudal máximo de retorno es de 17.9 ml, el cual se obtiene con 990 SRTK y 2 ms de tiempo de inyección.

Al ingresar valores mínimos de prueba (250 STRK y 0,25 ms) para dichos parámetros se observó que el fluido es pulverizado totalmente, presentando una nubosidad en los cilindros de pulverización siendo insignificantes las medidas de caudal tanto de retorno como de inyección, y a su vez se determinó que en el tiempo de inyección de 0,25 ms el inyector permanece abierto un corto período de tiempo siendo el caudal de retorno superior al de inyección.

4.6.6. Análisis de las pruebas a la presión de 700 bar

Tabla 42

Prueba del inyector Bosch 0445110126 a una presión de 700 bar con una variación de números de pulsos de (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms. Ver (tabla 32 y tabla 33)

Presión Prueba (bar)	STRK	Tiempo de inyección ms	Tiempo de Disparo ms	Tiempo de retención Ms	Caudal de Inyección (mm3)	Caudal Retorno (mm3)	Corriente de Activación (A)
700	250	0,25	0,090	0,160	0	1,3	30,2
700	250	0,5	0,090	0,410	1,5	2,1	31,5
700	250	1	0,090	0,910	10,5	3,9	31,1
700	250	1,5	0,090	1,410	14,9	4,4	31
700	250	2	0,090	1,910	26,5	4	30,9
700	500	0,25	0,090	0,160	0	5	31,3
700	500	0,5	0,090	0,410	4,5	6,6	31
700	500	1	0,090	0,910	21	9,5	31
700	500	1,5	0,090	1,410	29,5	10,9	30,9
700	500	2	0,090	1,910	35,9	9,2	31
700	750	0,25	0,090	0,160	0	8,5	30,9
700	750	0,5	0,090	0,410	8,2	11	29,5
700	750	1	0,090	0,910	30,9	13,8	31
700	750	1,5	0,090	1,410	43,1	15	30,7
700	750	2	0,090	1,910	56,2	16,5	31,8
700	990	0,25	0,090	0,160	0	10,9	32,1
700	990	0,5	0,090	0,410	11	15,4	31,8
700	990	1	0,090	0,910	40,1	19	32
700	990	1,5	0,090	1,410	58,4	20,5	32,1
700	990	2	0,090	1,910	80,3	20,1	31,6

En la tabla 42 se debe tener en cuenta que los únicos datos variables corresponden a STRK y tiempo de inyección para cada una de las pruebas, visualizando que los STRK y el tiempo de inyección van incrementando, en la cual los valores de caudal de inyección, caudal de retorno y tiempo de retención van aumentando proporcionalmente.

Para el tiempo de disparo se obtuvo un valor de 0,090ms constante. Además, la corriente de activación forma un pequeño rango de variación manteniendo un amperaje mínimo de 30.2 A y un máximo de 32.1 A obteniendo un gasto promedio de 31.17 A, a una presión constante de 700 bar.

Tabla 43

Prueba del inyector Bosch 0445110126 a una presión de 700 bar con una variación de números de pulsos de (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms. Ver (tabla 33)

Presión Prueba	STRK	Voltaje de activación	Voltaje de retención	Grados de Activación	Resistencia en la Bobina	Inductancia
(bar)		(V)	(V)	(°)	(Ω)	(H)
700	250	20,5	1,9	0,819	0,5	164uH
700	250	20,5	4,9	1,637	0,5	164uH
700	250	20,5	4,1	3,275	0,5	164uH
700	250	20,5	4,1	4,912	0,5	164uH
700	250	20,5	4,1	6,550	0,5	164uH
700	500	20,5	1,9	0,819	0,5	164uH
700	500	20,5	4,9	1,637	0,5	164uH
700	500	20,5	4,1	3,275	0,5	164uH
700	500	20,5	4,1	4,912	0,5	164uH
700	500	20,5	4,1	6,550	0,5	164uH
700	750	20,5	1,9	0,819	0,5	164uH
700	750	20,5	4,9	1,637	0,5	164uH
700	750	20,5	4,1	3,275	0,5	164uH
700	750	20,5	4,1	4,912	0,5	164uH
700	750	20,6	4,1	6,550	0,5	164uH
700	990	20,6	1,9	0,819	0,5	164uH
700	990	20,5	4,9	1,637	0,5	164uH
700	990	20,5	4,1	3,275	0,5	164uH
700	990	20,5	4,1	4,912	0,5	164uH
700	990	20,5	4,1	6,550	0,5	164uH

En la tabla 43 se debe tener en cuenta que los únicos datos variables corresponden a STRK y tiempo de inyección para cada una de las pruebas, se comprobó que al calcular los grados de activación con respecto al tiempo de inyección estos son directamente proporcional, alcanzando un ángulo de giro máximo de 6.55° en un tiempo de inyección de 2ms, generando un gasto promedio de voltaje de 20.51 V, además se verificó que para el correcto funcionamiento de la bobina debe emitir un valor resistivo de 0.5Ω , y una impedancia de $164\ \mu\text{H}$, cuyos valores son constantes.

Número de inyecciones o STRK -Tiempo de inyección -Tiempo de disparo -Tiempo de retención a 700 bar de presión

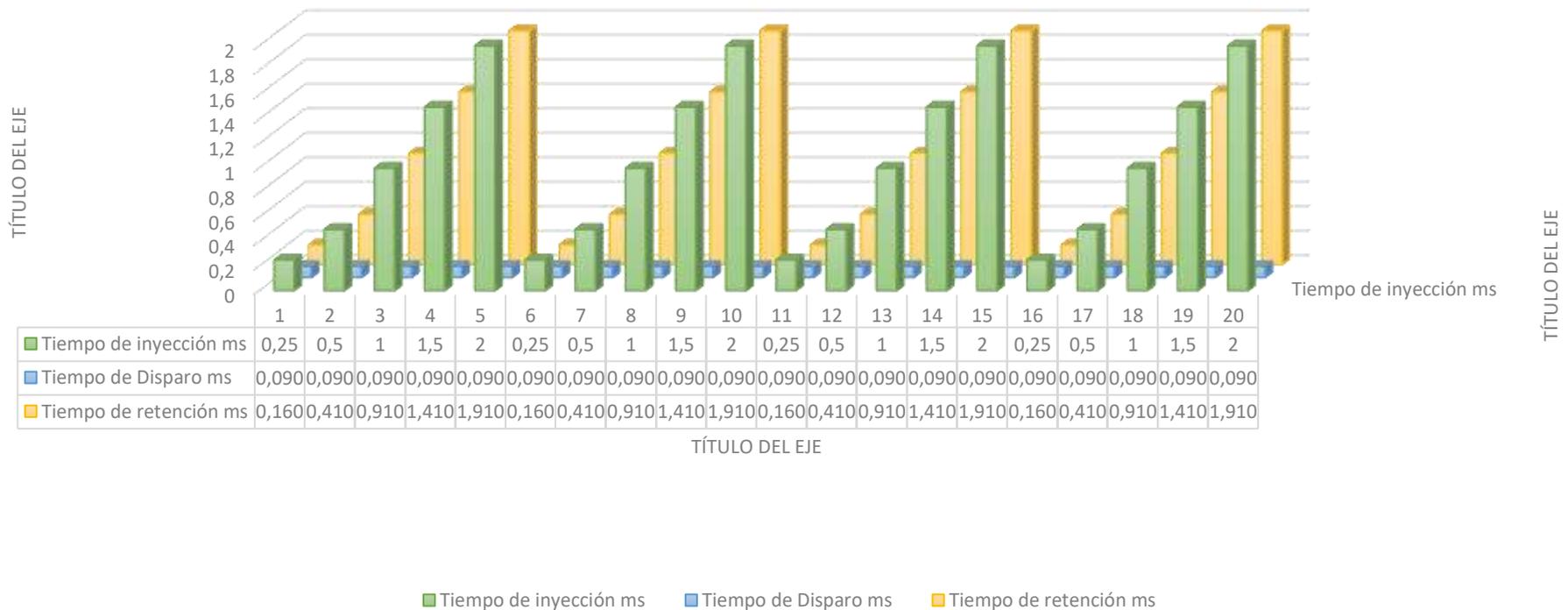


Figura 99 Interpretación gráfica del inyector Bosch 0445110126 a una presión de 700 bar con variación de números de pulsos en (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms, calculando el tiempo de disparo y el tiempo de retención.

CAUDAL DE INYECCIÓN Y RETORNO

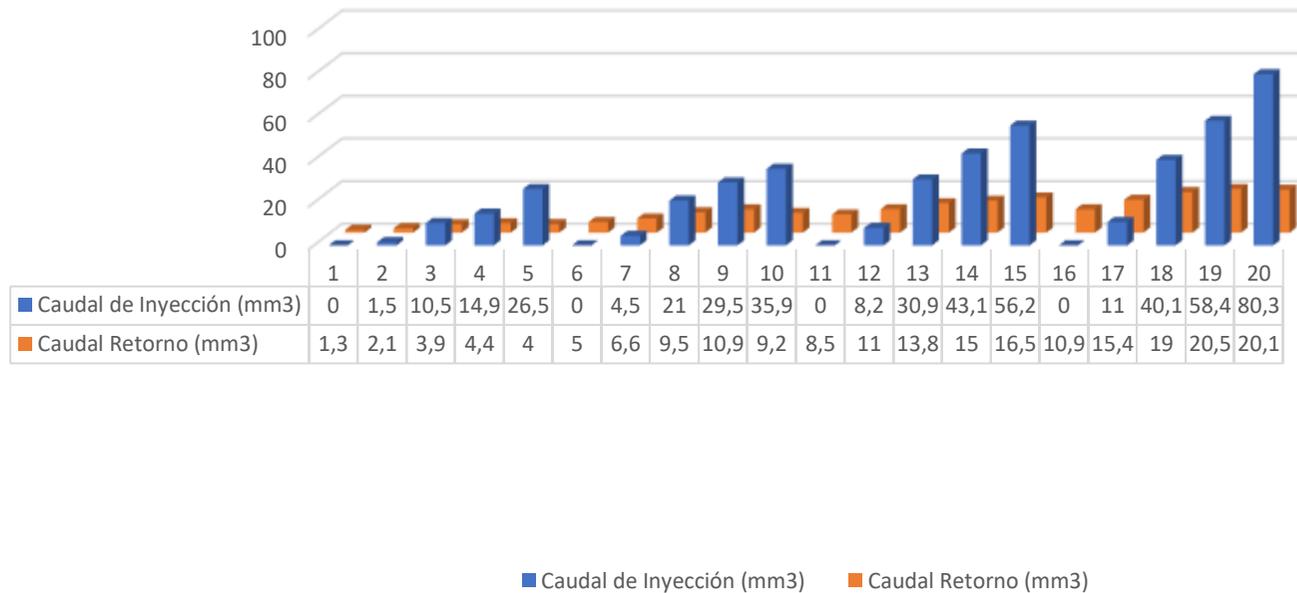


Figura 100 Interpretación gráfica del inyector Bosch 0445110126 a una presión de 700 bar con variación de números de pulsos en (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms, calculando el caudal de inyección y retorno.

En la figura 99 al tabular los datos obtenidos se observa que el tiempo de disparo en el caso de dicho inyector permanece constante con un valor de 0.090ms, por lo tanto, el tiempo de retención da como resultado de la ecuación 13, los tiempos de inyección, retención y disparo son independientes al número de inyecciones ya que al variar los mismo no cambia sus valores iniciales en tiempos.

En la figura 100 la interpretación gráfica se observa que el caudal de inyección y retorno son directamente proporcional al tiempo de inyección y STRK, obteniendo un caudal de inyección máximo de 80.3 ml a 990 STRK en 2ms y un caudal mínimo estimable de 1.5 ml a 250 STRK en 0.50 ms de tiempo de inyección, además se determinó que el caudal máximo de retorno es de 20.5 ml, el cual se obtiene con 990 SRTK y 1.5 ms de tiempo de inyección.

Al ingresar valores mínimos de prueba (250 STRK y 0,25 ms) para dichos parámetros se observó que el fluido es pulverizado totalmente, presentando una nubosidad en los cilindros de pulverización siendo insignificantes las medidas de caudal tanto de retorno como de inyección, y a su vez se determinó que en el tiempo de inyección de 0,25 ms el inyector permanece abierto un corto período de tiempo siendo el caudal de retorno superior al de inyección

4.6.7. Análisis comparativo de los caudales de inyección y retorno del inyector CRDI Bosch 0445110126 a (300, 400, 500, 600, 700) bar de presión.

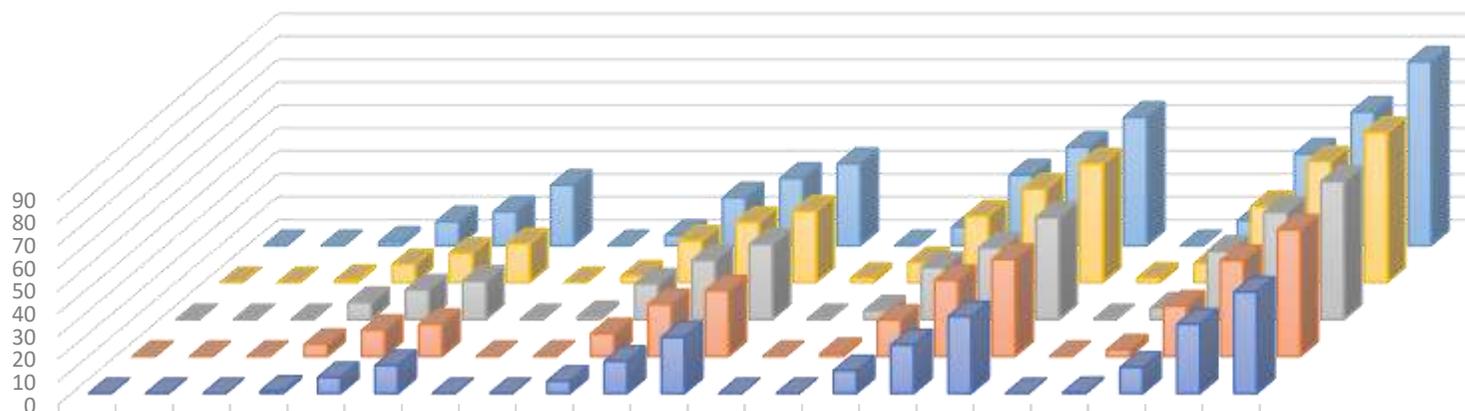
Tabla 44

Análisis comparativo de los caudales de inyección y de retorno del inyector CRDI Bosch 0445110126 a (300, 400, 500, 600,700) bar de presión

		300 bar	400 bar	500 bar	600 bar	700 bar
STRK	Tiempo de inyección	Caudal de Inyección				
N° de inyecciones	Ms	(mm3)	(mm3)	(mm3)	(mm3)	(mm3)
250	0,25	0	0	0	0	0
250	0,5	0	0	0	1	1,5
250	1	1,1	5,3	7,5	8	10,5
250	1,5	7	11,5	13	13	14,9
250	2	12,3	14,1	16,9	17	26,5
500	0,25	0	0	0	0	0
500	0,5	0	0,1	1,3	2,9	4,5
500	1	5,4	10	15,6	18,4	21
500	1,5	14,2	22,9	26	26,5	29,5
500	2	24,7	28,9	33,1	31,4	35,9
750	0,25	0	0	0	1,9	0
750	0,5	0	1,3	3,8	8,8	8,2
750	1	10	16	22,9	29,3	30,9
750	1,5	21,4	33,5	31,5	41	43,1
750	2	33,8	42,7	44,9	52,1	56,2
990	0,25	0	0	0	2	0
990	0,5	0,4	2,9	5	8,4	11
990	1	11,5	22,2	30	33,5	40,1
990	1,5	30,5	42,2	47,2	53	58,4
990	2	44,6	55,7	60,7	65,8	80,3

En la tabla 44 se obtuvo el caudal máximo de inyección de 80,3 ml con valores de prueba a 990 STRK y 2 ms de inyección, a una presión constante de 700 bar. Además de efectuar las pruebas hasta los 500 bar de presión y STRK de (250, 500, 750 y 990) con un tiempo mínimo de inyección (0,25 ms) el caudal de inyección es insignificante debido a que el ingreso de fluido es mínimo, generándose una pulverización óptima del mismo por el corto tiempo de apertura del inyector sin indicar ninguna medida en las probetas.

Caudales de inyección con variación del número de inyecciones y número de STRK a (300, 400, 500, 600, 700) bar de presión



	ms	0,25	0,5	1	1,5	2	0,25	0,5	1	1,5	2	0,25	0,5	1	1,5	2	0,25	0,5	1	1,5	2
	STRK	250	250	250	250	250	500	500	500	500	500	750	750	750	750	750	990	990	990	990	990
■ Caudal de Inyección 300 bar	0	0	0	1,1	7	12,3	0	0	5,4	14,2	24,7	0	0	10	21,4	33,8	0	0,4	11,5	30,5	44,6
■ Caudal de Inyección 400 bar	0	0	0	5,3	11,5	14,1	0	0,1	10	22,9	28,9	0	1,3	16	33,5	42,7	0	2,9	22,2	42,2	55,7
■ Caudal de Inyección 500 bar	0	0	0	7,5	13	16,9	0	1,3	15,6	26	33,1	0	3,8	22,9	31,5	44,9	0	5	30	47,2	60,7
■ Caudal de Inyección 600 bar	0	0	1	8	13	17	0	2,9	18,4	26,5	31,4	1,9	8,8	29,3	41	52,1	2	8,4	33,5	53	65,8
■ Caudal de Inyección 700 bar	0	0	1,5	10,5	14,9	26,5	0	4,5	21	29,5	35,9	0	8,2	30,9	43,1	56,2	0	11	40,1	58,4	80,3

Figura 101 Análisis gráfico de los caudales de inyección con variación de número de inyecciones y número de STRK a (300, 400, 500, 600, 700) bar de presión, en referencia a los datos de la tabla 44.

Tabla 45.

Análisis comparativo de los caudales de retorno del inyector CRDI Bosch 0445110126 a (300, 400, 500, 600, 700) bar de presión

STRK	Tiempo de inyección ms	Caudal de retorno 300 bar (mm3)	Caudal de retorno 400 bar (mm3)	Caudal de retorno 500 bar (mm3)	Caudal de retorno 600 bar (mm3)	Caudal de retorno 700 bar (mm3)
250	0,25	0	0	0,4	1,4	1,3
250	0,5	0	0,3	1,1	2,3	2,1
250	1	0,3	1,7	2,4	3	3,9
250	1,5	1,7	2,8	3,5	4,1	4,4
250	2	2	2,9	4	3,8	4
500	0,25	0,4	1,8	2,9	3,9	5
500	0,5	1,3	3,1	4,1	5,6	6,6
500	1	3,5	5,5	7	8	9,5
500	1,5	5,6	8,1	9	9,5	10,9
500	2	7,1	8,1	9,9	7,8	9,2
750	0,25	1,7	4	5,8	6,9	8,5
750	0,5	3	5,3	7,5	9	11
750	1	6,2	8,9	11,4	13,3	13,8
750	1,5	9,1	12,5	12,4	13	15
750	2	9,6	11,7	13,1	14,4	16,5
990	0,25	3,1	5,9	8,2	9,9	10,9
990	0,5	5	8,1	11	12,6	15,4
990	1	8,5	12,5	15,9	16,2	19
990	1,5	11,9	15,2	17,3	18,8	20,5
990	2	13,1	16,8	17,3	17,9	20,1

En la tabla 45 se obtuvo el caudal máximo de retorno de 20,5 ml con valores de prueba a 990 STRK y 1.5 ms de inyección, a una presión de 700 bar. En otras circunstancias paramétricas a 300 bar con 0.25 ms y 0.5 ms en tiempo de inyección y 250 STRK, no emite fluido alguno en la probeta, de la misma manera sucede a una presión de 400 bar, 0,25 ms en tiempo de inyección y 250 STRK, debido a un mínimo valor de STRK y tiempo de inyecciones, sin observar ningún volumen.

CAUDALES DE RETORNO CON VARIACIÓN DE NÚMERO DE INYECCIONES Y STRK

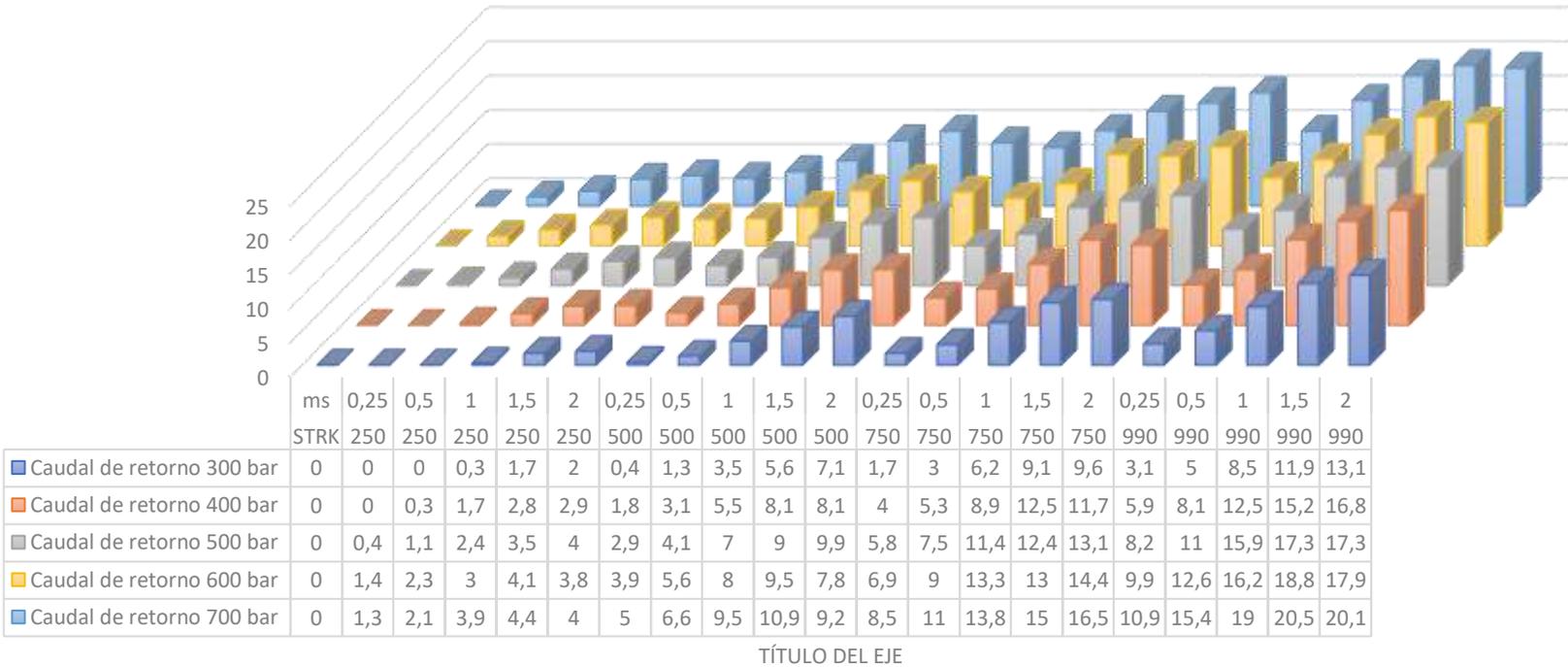


Figura 102 Análisis gráfico de los caudales de retorno con variación de número de inyecciones y número de STRK a (300, 400, 500, 600, 700) bar de presión, en referencia a los datos de la tabla 45.

4.6.8. Análisis de las pruebas eléctricas del inyector CRDI Bosch 0445110126

Tabla 46

Características eléctricas del inyector CRDI Bosch 0445110126 a presiones de (300, 400, 500, 600, 700) bar y tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms

Presión Prueba (bar)	Tiempo de inyección ms	Corriente de Activación (A)	Voltaje de activación (V)	Voltaje de retención (V)	Resistencia en la Bobina (Ω)	Inductancia (H)
300	0,25	26,8	20,3	1,7	0,5	164uH
300	0,5	26,7	20,4	4,5	0,5	164uH
300	1	26,6	20,4	4,1	0,5	164uH
300	1,5	26,6	20,4	4,1	0,5	164uH
300	2	26,6	20,4	4,1	0,5	164uH
400	0,25	26,9	20,4	1,8	0,5	164uH
400	0,5	27,2	20,4	4,9	0,5	164uH
400	1	27,4	20,5	4,1	0,5	164uH
400	1,5	27,1	20,5	4,1	0,5	164uH
400	2	27,3	20,5	4,1	0,5	164uH
500	0,25	27,8	20,8	1,9	0,5	164uH
500	0,5	27,2	20,8	4,9	0,5	164uH
500	1	27,8	20,9	4,1	0,5	164uH
500	1,5	27,9	20,9	4,1	0,5	164uH
500	2	27,7	20,9	4,1	0,5	164uH
600	0,25	29,8	20,3	1,9	0,5	164uH
600	0,5	29,9	20,3	4,6	0,5	164uH
600	1	29,8	20,3	4,1	0,5	164uH
600	1,5	29,6	20,3	4,1	0,5	164uH
600	2	29,6	20,3	4,1	0,5	164uH
700	0,25	31,1	20,5	1,9	0,5	164uH
700	0,5	31	20,5	4,9	0,5	164uH
700	1	31,3	20,5	4,1	0,5	164uH
700	1,5	31,2	20,5	4,1	0,5	164uH
700	2	31,3	20,5	4,1	0,5	164uH

En la tabla 46, los valores adquiridos mediante la variación de los STRK y el tiempo de inyección a las respectivas presiones, muestran que el valor máximo de la corriente de activación es de 31.3 A y un mínimo de 26.6 A dando como promedio un valor de 28.488 A, mientras que el valor promedio del voltaje de activación y retención son de 20.5V y 3.78 V respectivamente, manteniéndose constantes durante todas las pruebas, los valores de resistencia eléctrica 0,5 Ω e inductancia con 164 μ H.

Voltajes de inyección y activación

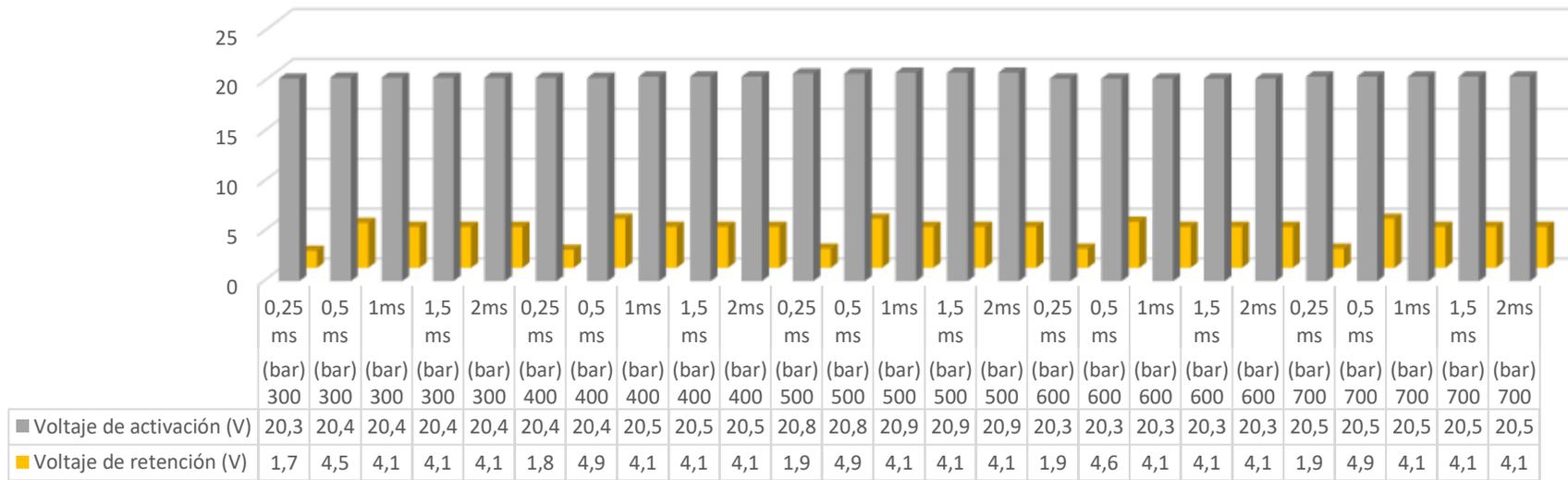


Figura 103 Análisis comparativo gráficamente de voltajes de inyección, voltajes de retención con variación del tiempo de inyección y presiones de trabajo a (300, 400, 500, 600, 700) bar del inyector 0445110126. Los valores de voltaje de activación y voltajes de retención no son directamente proporcionales a la presión tiempo de inyección donde se obtuvo en un promedio general de 20,5V y 3,78V respectivamente.

4.6.9. Oscilogramas de voltaje y corriente inyector 0445110126

En el siguiente oscilograma se identifican cada una de las partes que conforma la onda de acuerdo a la prueba realizada.

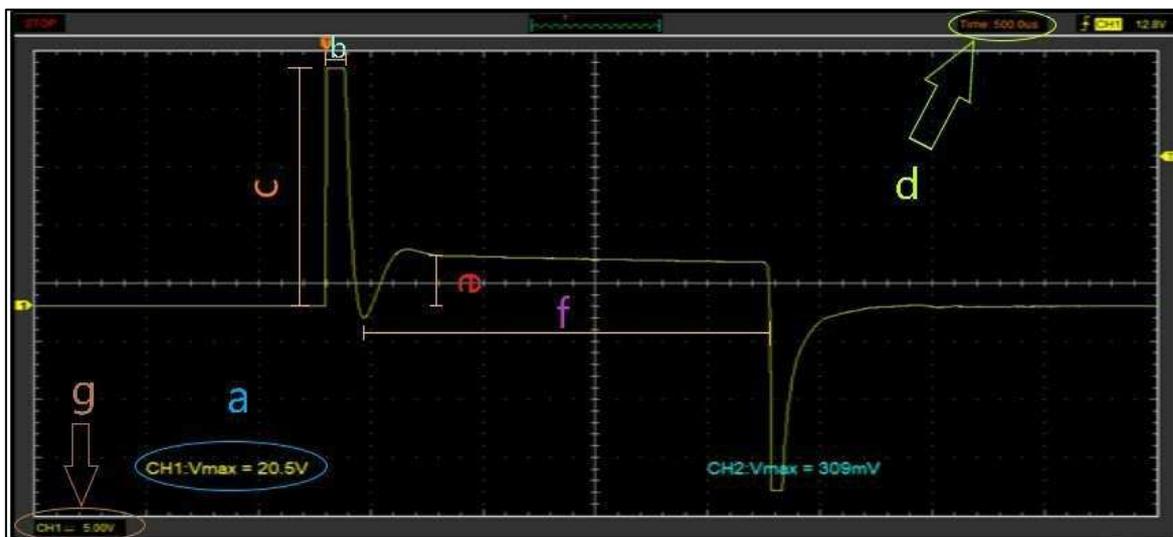


Figura 104 Partes oscilograma de tensión inyector 0445110126.

En la figura 104 se describe las partes que conforman el oscilograma para el inyector, (a) voltaje de activación, al activar la opción messasure se podrá observar dicho valor, (b) distancia horizontal en donde representa el tiempo de inyección en ms, (c) distancia vertical representa el voltaje de activación en voltios, (d) es la calibración que permite realizar el osciloscopio para el eje de tiempo (abscisa), para el caso es de 500 µs, (e) distancia vertical del valor para el voltaje de retención, (f) distancia que representa el tiempo de retención de inyección, dicho valor irá aumentando progresivamente en función del tiempo de inyección, (g) es la calibración que permite realizar el osciloscopio para el eje de voltaje (ordenada), para el caso es de 5V.

En el siguiente oscilograma se identifica las partes de la onda de corriente que emite el inyector.

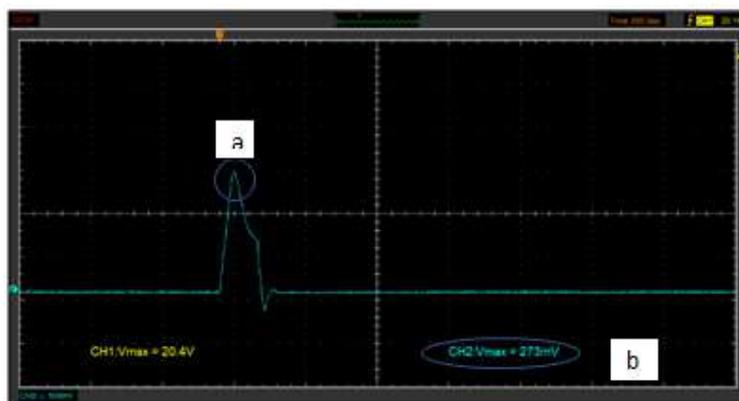


Figura 105 Partes oscilograma de corriente inyector 0445110126.

A continuación, se detalla la nomenclatura (ver figura 105), (a) es el tiempo de disparo en la gráfica de corrientes. (b) es el valor de activación de la curva de corriente, para visualizar el valor de corriente ingresar a la opción messasure, las unidades que emite es mV en donde se transforma con la relación de 10 mV es igual a 1 amperio para obtener el valor de corriente.

Cada uno de los oscilogramas obtenidos en las pruebas son idénticos en donde se utilizará mismo patrón de identificación, los parámetros que se diferencian es la presión, tiempo de inyección, número de inyecciones o STRK.

Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 0.25 ms, inyector inductivo CRDI Bosch 0445110126.

Los oscilogramas de voltaje y corriente se obtuvieron únicamente variando los pulsos de inyección a 0.25 ms, mientras que al osciloscopio se regula en 500 us para el eje de tiempo y 5 V para el eje de voltaje.

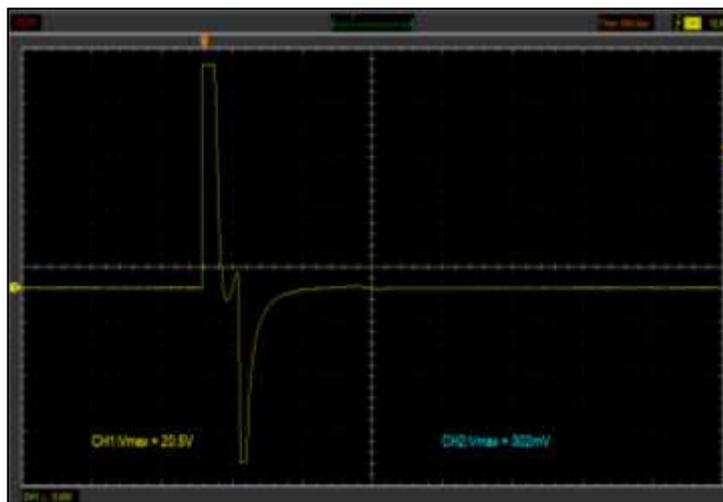


Figura 106 Oscilograma de voltaje, tiempo de inyección 0,25ms inyector CRDI Bosch 0445110126.

En la figura 106 la onda amarilla interpreta el voltaje requerido para activar el inyector con 20.5 voltios en 0.090 milisegundos y un voltaje de retención de 1.9 voltios en un tiempo de 0.160 milisegundos, el voltaje de activación no se altera al cambiar parámetros como presión o número de inyecciones.



Figura 107 Oscilograma de corriente, tiempo de inyección 0,25ms del inyector CRDI Bosch 0445110126.

En la figura 107, la onda turquesa interpreta la corriente requerida para activar el inyector con 30.2 A, donde se mantiene constante durante el tiempo de disparo, la corriente de activación no se altera al cambiar parámetros como presión o número de inyecciones.



Figura 108 Oscilograma de corriente y voltaje, tiempo de inyección 0,25ms del inyector CRDI Bosch 0445110126.

En la figura 108 la activación del inyector, presenta el pico de voltaje y corriente, posteriormente decrecen las ondas para ubicarse en el tiempo de retención o mantenimiento y enseguida finalizar con el proceso de inyección e iniciar un nuevo ciclo de trabajo.

Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 0.50 ms, inyector inductivo CRDI Bosch 0445110126.

Los oscilogramas de voltaje y corriente se obtuvieron únicamente variando los pulsos de inyección a 0.50 ms, mientras que al osciloscopio se regula en 500 us para el eje de tiempo y 5 V para el eje de voltaje.



Figura 109 Oscilograma de voltaje, tiempo de inyección 0.50 ms inyector CRDI Bosch 0445110126.

En la figura 109 la onda amarilla interpreta el voltaje requerido para activar el inyector con 20.5 voltios en 0.090 milisegundos y un voltaje de retención de 4,9 voltios en un tiempo de 0.410 milisegundos, el voltaje de activación no se altera al cambiar parámetros como presión o número de inyecciones.



Figura 110 Oscilograma de corriente, tiempo de inyección 0.25ms del inyector CRDI Bosch 0445110126.

En la figura 110 la onda turquesa interpreta la corriente requerida para activar el inyector con 31.5 A, donde se mantiene constante durante el tiempo de disparo, la corriente de activación no se altera al cambiar parámetros como presión o número de inyecciones.

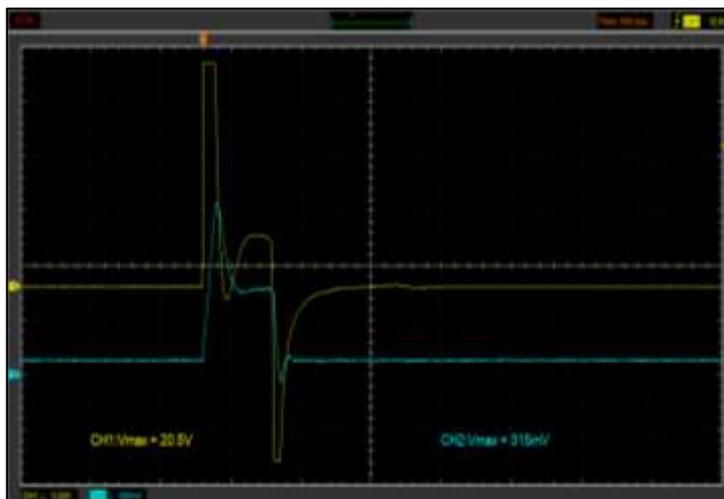


Figura 111 Oscilograma de corriente y voltaje, tiempo de inyección 0.50ms del inyector CRDI Bosch 0445110126.

En la figura 111 la activación del inyector, presenta el pico de voltaje y corriente, posteriormente decrecen las ondas para ubicarse en el tiempo de retención o mantenimiento y enseguida finalizar con el proceso de inyección e iniciar un nuevo ciclo de trabajo.

Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 1 ms, inyector inductivo CRDI Bosch 0445110126.

Los oscilogramas de voltaje y corriente se obtuvieron únicamente variando los pulsos de inyección a 1 ms, mientras que al osciloscopio se regula en 500 μ s para el eje de tiempo y 5 V para el eje de voltaje.

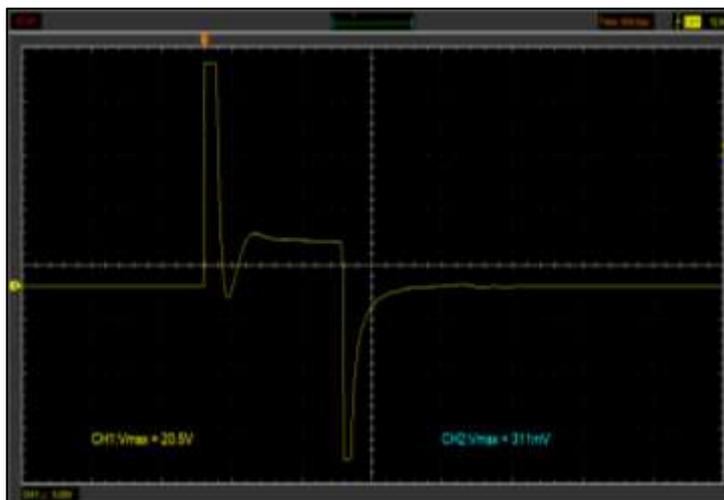


Figura 112 Oscilograma de voltaje, tiempo de inyección 1 ms inyector CRDI Bosch 0445110126.

En la figura 112 la onda amarilla interpreta el voltaje requerido para activar el inyector con 20,5 voltios en 0,090 milisegundos y un voltaje de retención de 4,1 voltios en un tiempo de 0,910 milisegundos, el voltaje de activación no se altera al cambiar parámetros como presión o número de inyecciones.

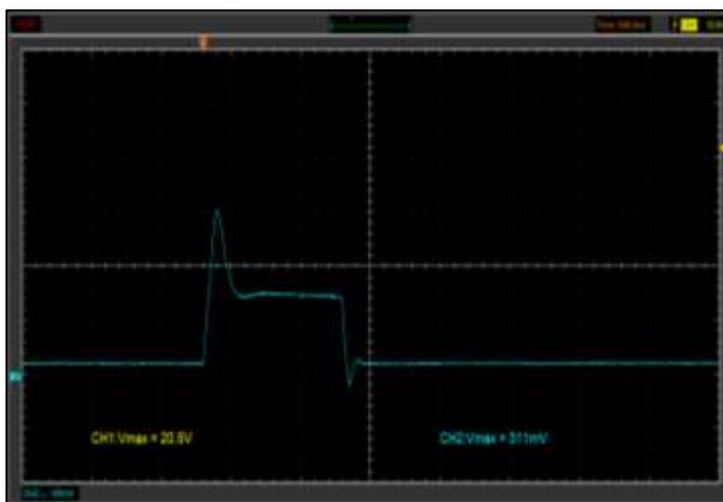


Figura 113 Oscilograma de corriente, tiempo de inyección 1 ms del inyector CRDI Bosch 0445110126.

En la figura 113, la onda turquesa interpreta la corriente necesaria para activar el inyector con 31.1 A, donde se mantiene constante durante el tiempo de disparo, la corriente de activación no se altera al cambiar parámetros como presión o número de inyecciones.

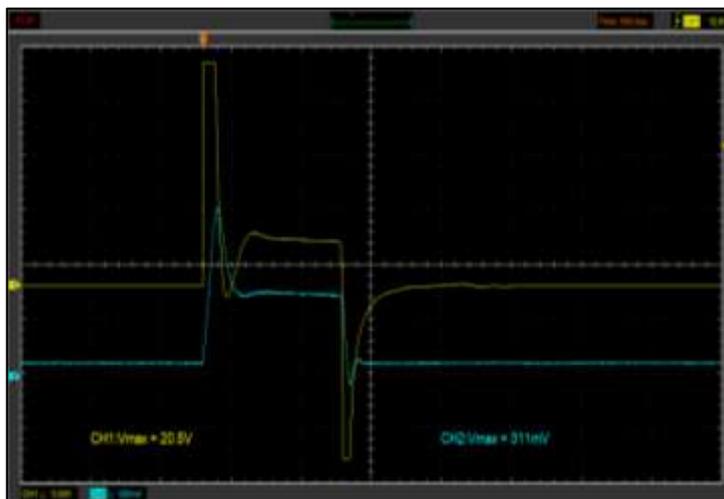


Figura 114 Oscilograma de corriente y voltaje, tiempo de inyección 1 ms del inyector CRDI Bosch 0445110126.

En la figura 114 la activación del inyector, presenta el pico de voltaje y corriente, posteriormente decrecen las ondas para ubicarse en el tiempo de retención o mantenimiento y enseguida finalizar con el proceso de inyección e iniciar un nuevo ciclo de trabajo.

Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 1.5 ms, inyector inductivo CRDI Bosch 0445110126.

Los oscilogramas de voltaje y corriente se obtuvieron únicamente variando los pulsos de inyección a 1.5 ms, mientras que al osciloscopio se regula en 500 us para el eje de tiempo y 5 V para el eje de voltaje.

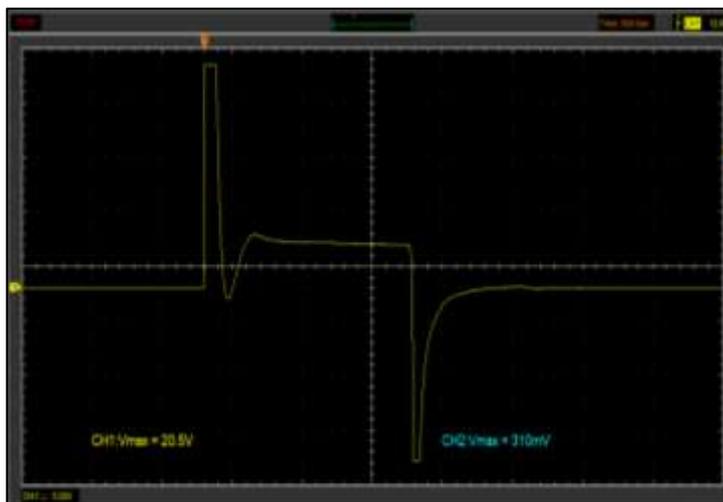


Figura 115 Oscilograma de voltaje, tiempo de inyección 1.5 ms inyector CRDI Bosch 0445110126.

En la figura 115 la curva amarilla interpreta el voltaje necesario para activar el inyector con 20.5 voltios en 0.090 mili segundos y un voltaje de retención de 4,1 voltios en un tiempo de 1.410 milisegundos, el voltaje de activación no se altera al cambiar parámetros como presión o número de inyecciones.

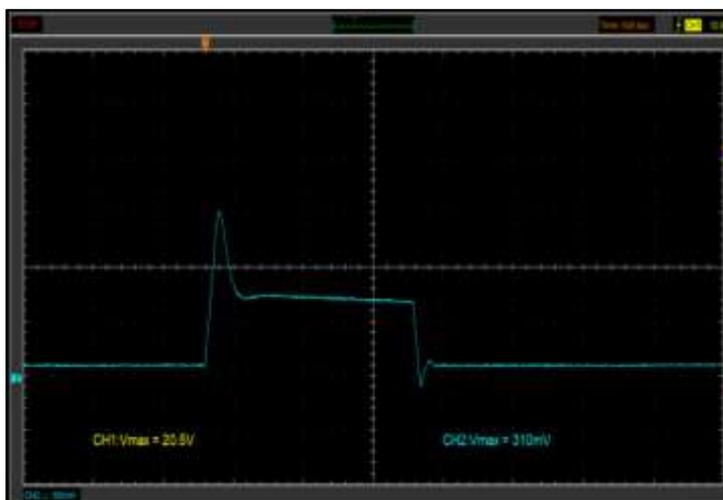


Figura 116 Oscilograma de corriente, tiempo de inyección 1.5 ms del inyector CRDI Bosch 0445110126.

En la figura 116, la curva turquesa indica la corriente necesaria para activar el inyector con 31 A, donde se mantiene constante durante el tiempo de disparo, la corriente de activación no se altera al cambiar parámetros como presión o número de inyecciones.

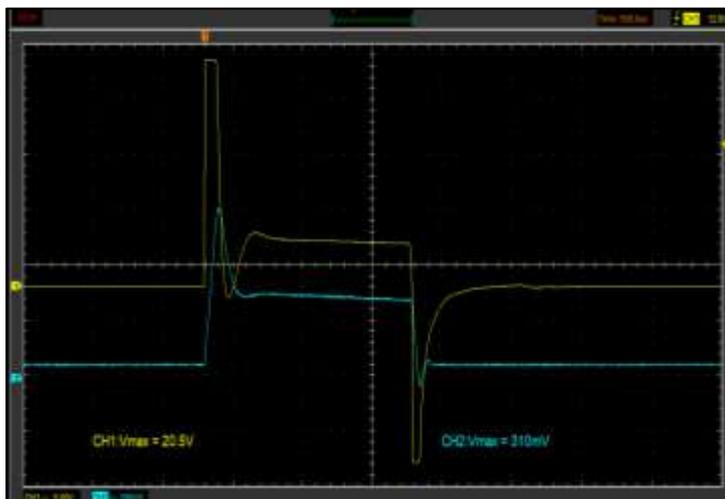


Figura 117 Oscilograma de corriente y voltaje, tiempo de inyección 1.5 ms del inyector CRDI Bosch 0445110126.

En la figura 117 se observa la curva de voltaje y corriente para la activación del inyector, apreciando el pico de voltaje, así como el pico de corriente, para posteriormente descender respectivamente hacia la zona de retención de la inyección y enseguida finalizar con el proceso de inyección e iniciar un nuevo ciclo de inyección.

Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 2 ms, inyector inductivo CRDI Bosch 0445110126.

Los oscilogramas de voltaje y corriente se obtuvieron únicamente variando los pulsos de inyección a 2 ms, mientras que al osciloscopio se regula en 500 μ s para el eje de tiempo y 5 V para el eje de voltaje.

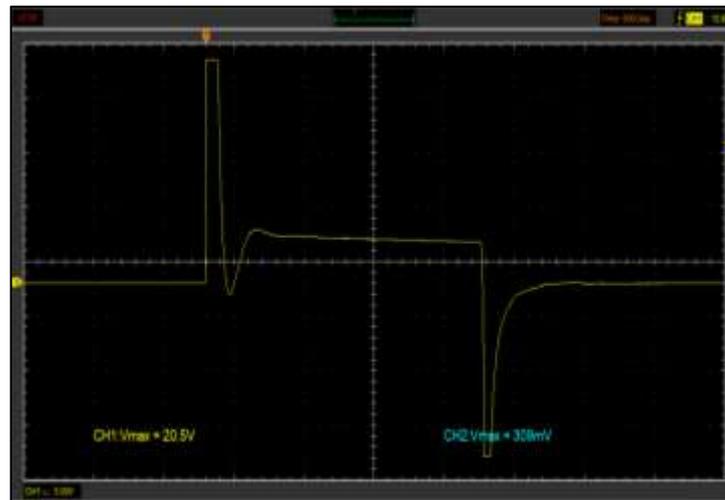


Figura 118 Oscilograma de voltaje, tiempo de inyección 2 ms inyector CRDI Bosch 0445110126.

En la figura 118 la curva amarilla interpreta el voltaje necesario para activar el inyector con 20,5 voltios en 0.090 mili segundos y un voltaje de retención de 4.1 voltios en un tiempo de 1.910 milisegundos, el voltaje de activación no se altera al cambiar parámetros como presión o número de inyecciones.



Figura 119 Oscilograma de corriente, tiempo de inyección 2 ms del inyector CRDI Bosch 0445110126.

En la figura 119, la curva turquesa interpreta la corriente necesaria para activar el inyector con 30.9 A, donde se mantiene constante durante el tiempo de disparo,

la corriente de activación no varía al cambiar los parámetros de presión o número de inyecciones o STRK.

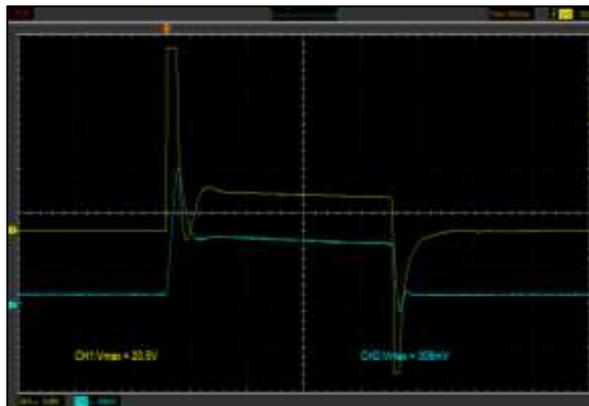


Figura 120 Oscilograma de corriente y voltaje, tiempo de inyección 2 ms del inyector CRDI Bosch 0445110126.

En la figura 120 se observa la curva de voltaje y corriente para la activación del inyector, apreciando el pico de voltaje, así como el pico de corriente, para posteriormente descender respectivamente hacia la zona de retención de la inyección y enseguida finalizar con el proceso de inyección e iniciar un nuevo ciclo de inyección.

4.6.10. Parámetros del inyector CRDI Bosch 0445110126

Tabla 47

Parámetros del inyector CRDI Bosch 0445110126

Indicador	Ítem	Técnica	Medición	Gráfica
Presión máxima de prueba	Bar	Medición (Tester VNP-3500)	700	 <p>Figura 121 Presión manómetro</p>

CONTINÚA 

Presión mínima de prueba	Bar	Medición (Tester VNP-3500)	300	
				Figura 122 Presión manómetro
Número de orificios del inyector	#	Visualización inyector	6	
				Figura 123 Orificios inyector
Presión de retorno	Bar	Medición (manómetro)	2.8	
				Figura 124 Presión retorno
Ángulo de dispersión	°	Cálculo (datos obtenidos)	9.33°	
				Figura 125 Ángulo de dispersión
Ángulo de disparo	°	Cálculo (datos obtenidos)	13.8°	
				Figura 126 Ángulo de disparo

CONTINÚA



Bomba	#	Investigación (especificaciones)	0 445 010 279	
				Figura 127 Bomba
Tobera	#	Investigación (especificaciones)	DLLA150P1511	
				Figura 128 Tobera

4.6.11. Ángulo de pulverización

El inyector CRDI Bosch 0445110126, es un inyector del tipo inductivo empleado en el vehículo Kia Sportage 2.0 turbo diésel (ver figura 129).



Figura 129 Inyector CRDI Bosch 0445110126

Para efectuar el cálculo del ángulo de pulverización es indispensable los siguientes pasos (ver figura 130).

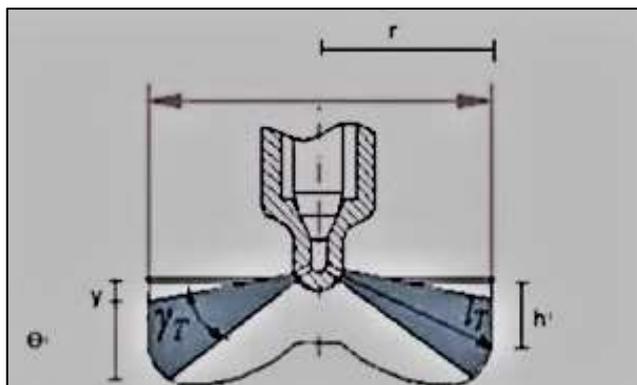


Figura 130 Identificación de las partes del ángulo de pulverización.

Nomenclatura:

- $h = \text{altura}$
- $r = \text{radio del cilindro}$
- $\theta = \text{diámetro del chorro}$
- $I_T = \text{ángulo de disparo}$
- $\gamma_T = \text{ángulo de dispersión}$
- $Y = \text{Diferencia de alturas}$

Para obtener los datos a continuación se efectuó los siguientes pasos.

Tabla 48

Cálculos de los ángulos de pulverización

N°-	Descripción	Gráfica
1	Se procede a medir la distancia del inyector hacia la punta de la tobera desde una referencia establecida, tener en cuenta que distancia ingresa el inyector hacia el cilindro	<p>Figura 131 Distancia del inyector</p>

CONTINÚA



-
- 2 Se midió el diámetro del cilindro de pulverización, tomar en cuenta el espesor del cilindro.



Figura 132 Diámetro del cilindro.

-
- 3 Se calculó la medida desde la punta hasta el centro de los orificios de pulverización.



Figura 133 Distancia de la punta a los orificios de pulverización.

-
- 4 Se trasladó la medida obtenida del inyector hacia el cilindro de pulverización, mediante papel milimetrado de manera que coincida la punta del inyector con la marca medida en el papel milimetrado.

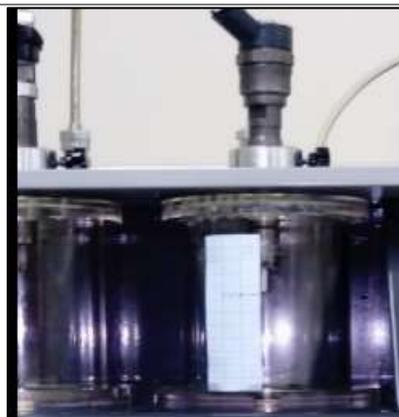


Figura 134 Ubicación de la medida del inyector.

CONTINÚA



- 5 Medir el diámetro del chorro al aplicar la prueba de pulverización.



Figura 135 Diámetro del chorro.

Con los pasos realizados para la determinación de los ángulos de pulverización se obtuvo los siguientes datos (ver figura 136).

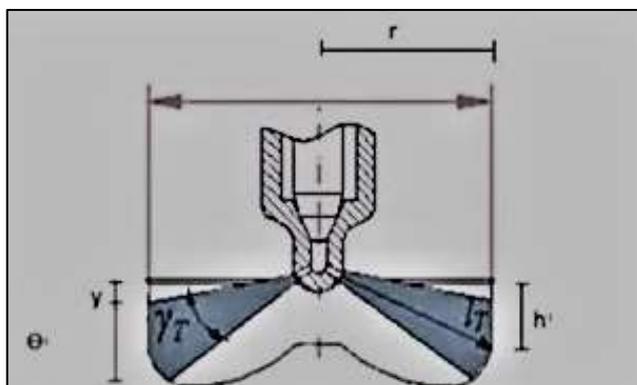


Figura 136 Ángulos de pulverización

- $h = \text{altura} = 8,5\text{mm}$
- $r = \text{radio del cilindro} = 34,60\text{ mm}$
- $\theta = \text{diámetro del chorro} = 6\text{mm}$
- $I_T = \text{ángulo de disparo}$
- $\gamma T = \text{ángulo de dispersión}$
- $Y = \text{Diferencia de alturas} = 5,5\text{mm}$

Mediante la utilización de la ecuación (1) y (2) ingresando los datos obtenidos se calculó los ángulos de disparo y dispersión.

Ángulo de disparo

$$I_T \alpha = \arctan\left(\frac{8,5\text{mm}}{34,60\text{mm}}\right)$$

$$I_T = 13,8^\circ$$

Ángulo de dispersión

$$\gamma T \beta = \arctan\left(\frac{6\text{mm} + 5,5\text{mm}}{34,60}\right) - \arctan\left(\frac{5,5\text{mm}}{34,60\text{mm}}\right)$$

$$\gamma T \beta = 9,33^\circ$$

Tabla 49

Valores obtenidos del cálculo de ángulo de disparo y dispersión

Ángulo de disparo	13,8 °
Ángulo de dispersión	9,33 °

4.6.12. Presión de retorno

Para medir la presión de retorno del fluido fue necesario un manómetro y seguir el siguiente procedimiento.

- Conectar la manguera del manómetro en la salida del fluido del retorno del inyector.
- Efectuar los adecuados ajustes para las cañerías y sus acoples del manómetro.
- Poner en funcionamiento el inyector en una de las opciones que dispone el banco Tester VNP-3500.

- Medir el valor que emite el manómetro al momento de efectuar la prueba de caudal de retorno.

En el inyector CRDI Bosch 0445110126 la presión de retorno que se verificó está detallada en la siguiente tabla.

Tabla 50

Presión caudal de retorno.

Marca	Inyector	Medida	Unidades	Gráfica
Bosch	0445110126	2.8	Bar	

Figura 137 Presión de retorno.

4.7. Inyector CRDI Bosch 0445110293

El primer inyector destinado a estudio fue el 0445110293 de la casa comercial Bosch en donde es utilizado en motores diésel que cumple normas ambientales Euro III de 2.8 litros, 4 cilindros, marca Great Wall, modelo Gingle.

Dichos inyectores utilizan una tobera de serie DLLA150P1666 compatible con una bomba rotativa del tipo paletas deslizantes de serie 0 445 010 159.

4.7.1 Despiece y nomenclatura de las partes del inyector CRDI 0445110293

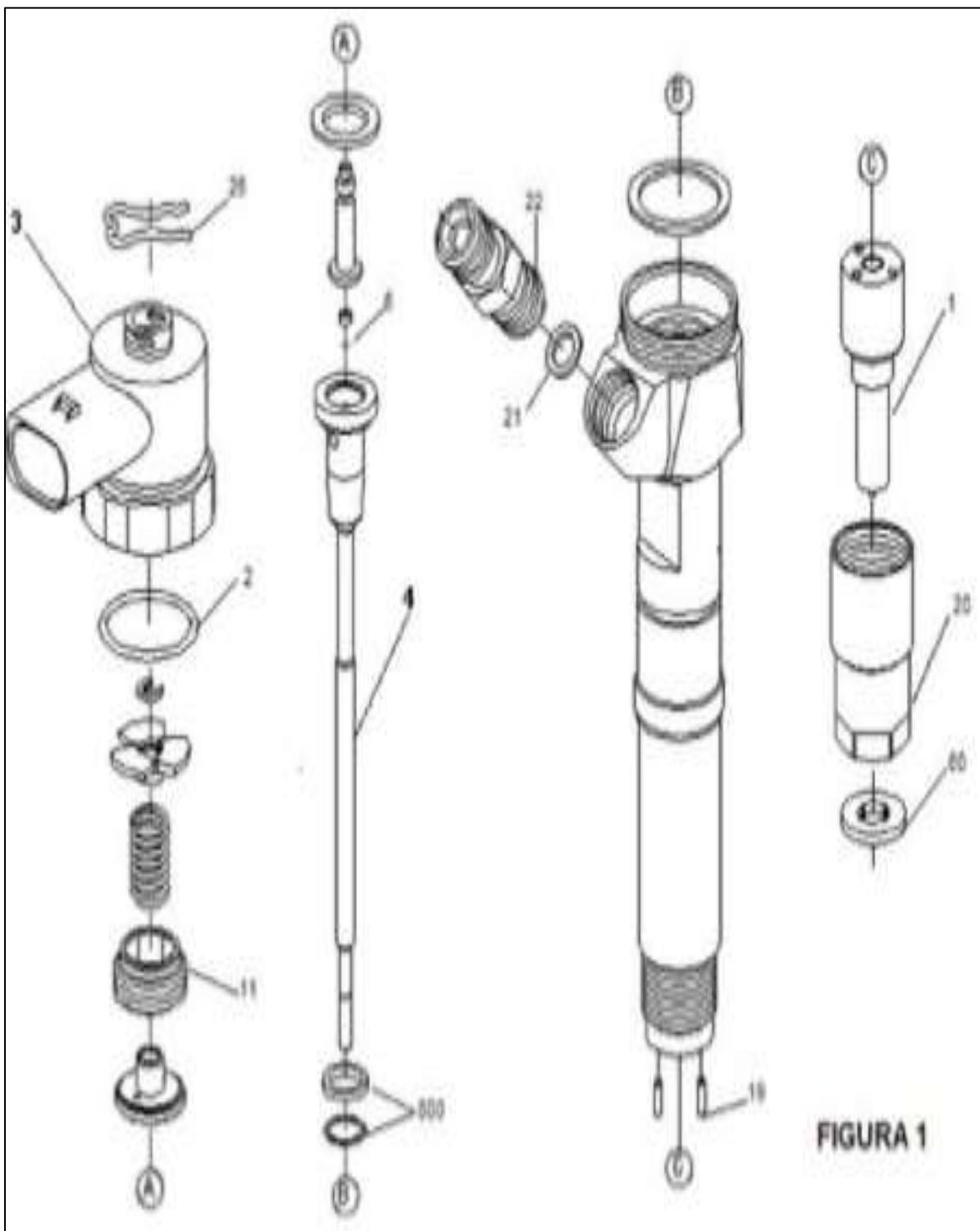


Figura 138 Despiece del inyector 0445110293

(2. Anillo del solenoide, 3. Solenoide, 4. Kit de válvula, 6. Bola, 11. Tornillo tensor, 19. Clavijas, 20. Tuerca inyector, 21. Junta, 22. Racor, 26. Estribo, 60. Anillo de juntas, 800. Juego de piezas).

4.7.2. Análisis de las pruebas a la presión de 300 bar

Tabla 51

Prueba del inyector Bosch 0445110293 a una presión de 300 bar con una variación de número de inyecciones o STRK de (250, 500, 750, 990) y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms. Ver (tabla 32 y tabla 33)

Presión Prueba (bar)	STRK	Tiempo de inyección ms	Tiempo de Disparo ms	Tiempo de retención ms	Caudal de Inyección (mm3)	Caudal Retorno (mm3)	Corriente de Activación (A)
300	250	0,25	0,090	0,160	0	0	29,9
300	250	0,5	0,090	0,410	0	0	30,3
300	250	1	0,095	0,905	0	1	30
300	250	1,5	0,095	1,405	0,9	1	29,9
300	250	2	0,090	1,910	3	1,2	30
300	500	0,25	0,090	0,160	0	1,3	30,3
300	500	0,5	0,090	0,410	0	2,1	30
300	500	1	0,090	0,910	0	3,3	28,4
300	500	1,5	0,090	1,410	6,9	5	30
300	500	2	0,090	1,910	12,6	5,1	30,2
300	750	0,25	0,090	0,160	0	3,2	29,8
300	750	0,5	0,090	0,410	0	4,4	30
300	750	1	0,090	0,910	0,5	7	29,8
300	750	1,5	0,095	1,405	11,9	9	29,8
300	750	2	0,095	1,905	22,5	12	28,3
300	990	0,25	0,095	0,155	0	5	30
300	990	0,5	0,090	0,410	0	7	29,8
300	990	1	0,090	0,910	3,5	9,3	29,5
300	990	1,5	0,090	1,410	18,8	13,8	29,8
300	990	2	0,090	1,910	32	16	29,9

En la tabla 51 se debe tener en cuenta que los únicos datos variables corresponden a STRK y tiempo de inyección para cada una de las pruebas, visualizando que los STRK y el tiempo de inyección van incrementando, en la cual los valores de caudal de inyección, caudal de retorno y tiempo de retención van aumentando proporcionalmente.

Para el tiempo de disparo se obtuvo un valor de 0,090ms constante. Además, la corriente de activación forma un pequeño rango de variación manteniendo un amperaje mínimo de 28.3 A y un máximo de 30.3 A obteniendo un gasto promedio de 31.17 A, a una presión constante de 300 bar.

Tabla 52

Prueba del inyector Bosch 0445110293 a una presión de 300 bar con una variación de números de inyecciones de (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms. Ver (tabla 33)

Presión Prueba	STRK	Tiempo de inyección ms	Voltaje de activación (V)	Voltaje de retención (V)	Grados de Activación (°)	Resistencia en la Bobina (Ω)	Inductancia (H)
300	250	0,25	20,4	0	0,819	0,5	228 uH
300	250	0,5	20,4	3,9	1,637	0,5	228 uH
300	250	1	20,4	2,9	3,275	0,5	228 uH
300	250	1,5	20,4	2,9	4,912	0,5	228 uH
300	250	2	20,4	2,9	6,550	0,5	228 uH
300	500	0,25	20,4	0	0,819	0,5	228 uH
300	500	0,5	20,4	3,8	1,637	0,5	228 uH
300	500	1	20,4	2,8	3,275	0,5	228 uH
300	500	1,5	20,4	2,8	4,912	0,5	228 uH
300	500	2	20,4	2,8	6,550	0,5	228 uH
300	750	0,25	20,4	0	0,819	0,5	228 uH
300	750	0,5	20,4	3,8	1,637	0,5	228 uH
300	750	1	20,4	2,8	3,275	0,5	228 uH
300	750	1,5	20,4	2,8	4,912	0,5	228 uH
300	750	2	20,4	2,8	6,550	0,5	228 uH
300	990	0,25	20,4	0	0,819	0,5	228 uH
300	990	0,5	20,4	3,5	1,637	0,5	228 uH
300	990	1	20,4	2,9	3,275	0,5	228 uH
300	990	1,5	20,4	2,9	4,912	0,5	228 uH
300	990	2	20,4	2,9	6,550	0,5	228 uH

En la tabla 52 se debe tener en cuenta que los únicos datos variables corresponden a STRK y tiempo de inyección para cada una de las pruebas, se comprobó que al calcular los grados de activación con respecto al tiempo de inyección estos son directamente proporcional, alcanzando un ángulo de giro máximo de 6.55° en un tiempo de inyección de 2ms, generando un gasto promedio de voltaje de 20.4 V, además se verificó que para el correcto funcionamiento de la bobina debe emitir un valor resistivo de 0.5Ω , y una impedancia de 228 μH , cuyos valores son constantes.

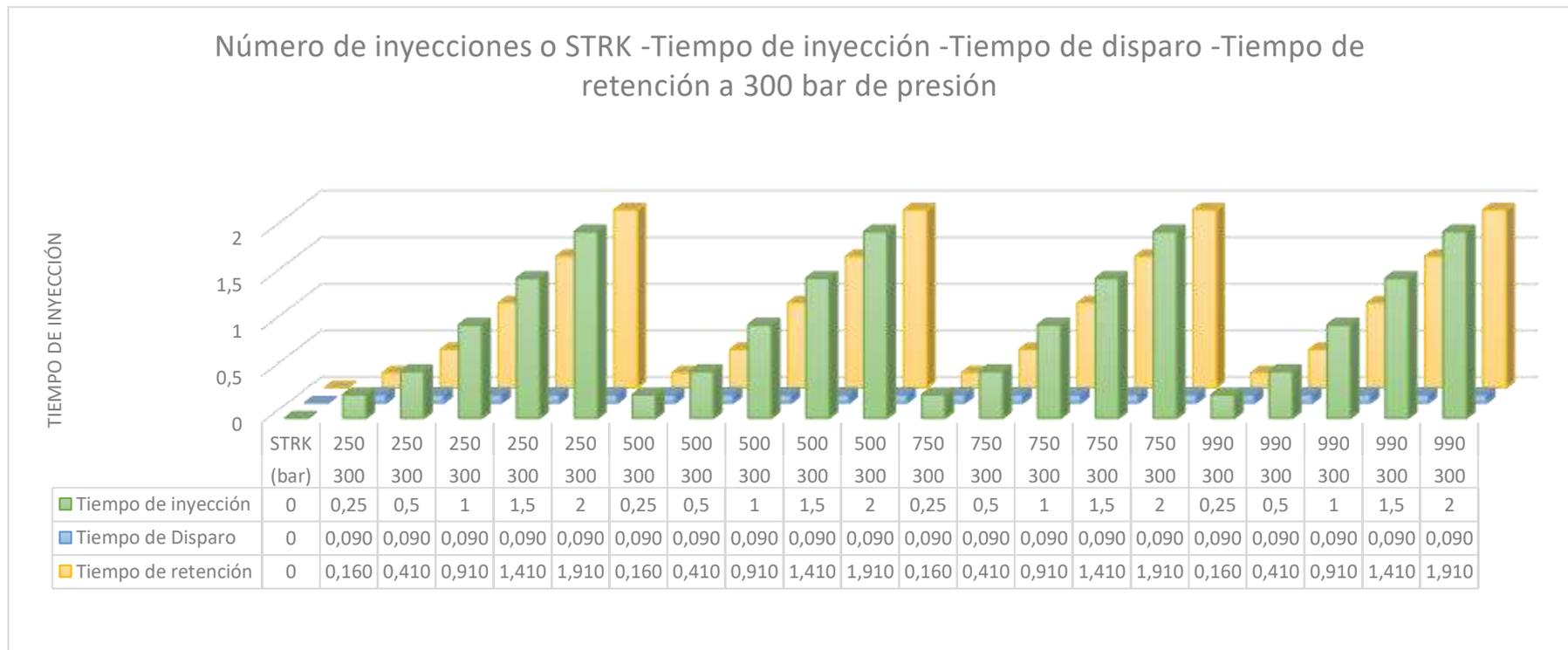


Figura 139 Interpretación gráfica del inyector Bosch 0445110293 a una presión de 300 bar con variación de número de inyecciones en (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms, calculando el tiempo de disparo y el tiempo de retención.

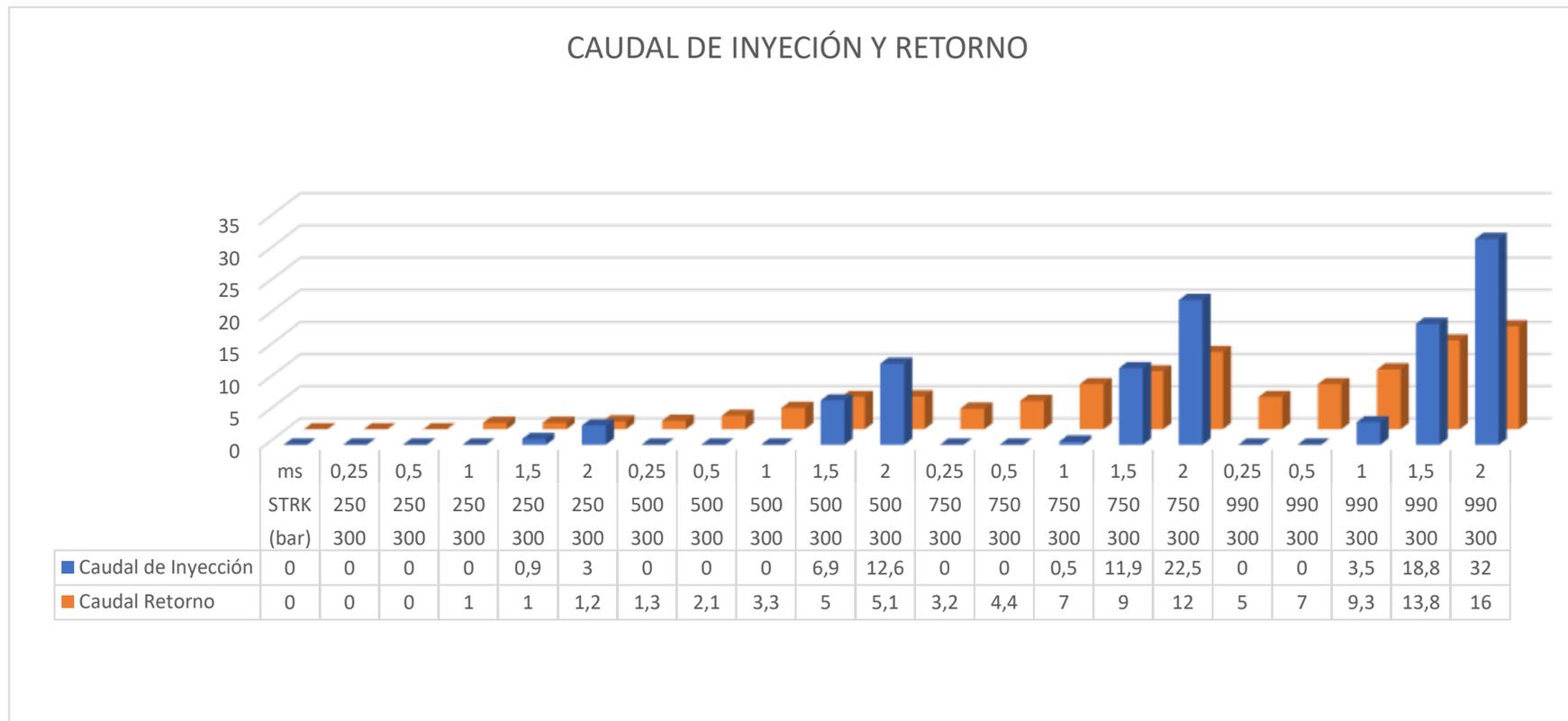


Figura 140 Interpretación gráfica del inyector Bosch 0445110293 a una presión de 300 bar con variación de número de inyecciones en (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms, calculando el caudal de inyección y retorno.

En la figura 139 al tabular los datos obtenidos se observa que el tiempo de disparo en el caso de dicho inyector permanece constante con un valor de 0.090ms, por lo tanto, el tiempo de retención da como resultado de la ecuación 13, los tiempos de inyección, retención y disparo son independientes al número de inyecciones ya que al variar los mismo no cambia sus valores iniciales en tiempos.

En la figura 140 la interpretación gráfica se observa que el caudal de inyección y retorno son directamente proporcional al tiempo de inyección y STRK, obteniendo un caudal de inyección máximo de 32 ml a 990 STRK en 2ms y un caudal mínimo estimable de 0.5 ml a 750 STRK en 1 ms de tiempo de inyección, además se determinó que el caudal máximo de retorno es de 16 ml, el cual se obtiene con 990 STRK y 2 ms de tiempo de inyección.

Al ingresar valores mínimos de prueba (250 STRK y 0,25 ms) para dichos parámetros se observó que el fluido es pulverizado totalmente, presentando una nubosidad en los cilindros de pulverización siendo insignificantes las medidas de caudal tanto de retorno como de inyección, y a su vez se determinó que en el tiempo de inyección de 0,25 ms el inyector permanece abierto un corto período de tiempo siendo el caudal de retorno superior al de inyección.

4.7.3. Análisis de las pruebas a la presión de 400 bar

Tabla 53

Prueba del inyector Bosch 0445110293 a una presión de 400 bar con una variación del número de inyecciones de (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms. Ver (tabla 32 y tabla 33)

Presión Prueba (bar)	STRK	Tiempo de inyección ms	Tiempo de Disparo ms	Tiempo de retención ms	Caudal de Inyección (mm3)	Caudal Retorno (mm3)	Corriente de Activación (A)
400	250	0,25	0,090	0,160	0	0	29,8
400	250	0,5	0,090	0,410	0	0,5	28,4
400	250	1	0,090	0,910	2,8	1,5	30
400	250	1,5	0,090	1,410	8,9	3	30,2
400	250	2	0,090	1,910	14	3,2	30,3
400	500	0,25	0,090	0,160	0	1,7	30,2
400	500	0,5	0,090	0,410	0	1,2	28,6
400	500	1	0,090	0,910	6,8	4,3	29,9
400	500	1,5	0,090	1,410	17	6,8	30,2
400	500	2	0,090	1,910	27,6	8,4	30,2
400	750	0,25	0,090	0,160	0	3,8	30
400	750	0,5	0,090	0,410	0	4,9	26,9
400	750	1	0,090	0,910	10,1	7,9	26,9
400	750	1,5	0,090	1,410	26,2	11	26,6
400	750	2	0,090	1,910	37,2	12,3	26,5
400	990	0,25	0,090	0,160	0	5,4	27,5
400	990	0,5	0,090	0,410	0	7	27,5
400	990	1	0,090	0,910	9,1	10,9	27,5
400	990	1,5	0,090	1,410	31,4	14,5	27,3
400	990	2	0,090	1,910	57,2	17,8	27,2

En la tabla 53 se debe tener en cuenta que los únicos datos variables corresponden a STRK y tiempo de inyección para cada una de las pruebas, visualizando que los STRK y el tiempo de inyección van incrementando, en la cual los valores de caudal de inyección, caudal de retorno y tiempo de retención van aumentando proporcionalmente.

Para el tiempo de disparo se obtuvo un valor de 0,090ms constante. Además, la corriente de activación forma un pequeño rango de variación manteniendo un amperaje mínimo de 26.5 A y un máximo de 30.3 A obteniendo un gasto promedio de 31.17 A, a una presión constante de 400 bar.

Tabla 54.

Prueba del inyector Bosch 0445110293 a una presión de 400 bar con una variación de números de inyecciones a (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección a (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms. Ver (tabla 33)

Presión Prueba (bar)	STRK	Tiempo de inyección ms	Voltaje de activación (V)	Voltaje de retención (V)	Grados de Activación (°)	Resistencia en la Bobina (Ω)	Inductancia (H)
400	250	0,25	20,4	0	0,819	0,5	228 uH
400	250	0,5	20,4	3,9	1,637	0,5	228 uH
400	250	1	20,4	2,9	3,275	0,5	228 uH
400	250	1,5	20,4	2,9	4,912	0,5	228 uH
400	250	2	20,4	2,9	6,550	0,5	228 uH
400	500	0,25	20,4	0	0,819	0,5	228 uH
400	500	0,5	20,4	3,9	1,637	0,5	228 uH
400	500	1	20,4	2,9	3,275	0,5	228 uH
400	500	1,5	20,4	2,9	4,912	0,5	228 uH
400	500	2	20,4	2,9	6,550	0,5	228 uH
400	750	0,25	20,3	0	0,819	0,5	228 uH
400	750	0,5	20,2	3,9	1,637	0,5	228 uH
400	750	1	20,2	2,9	3,275	0,5	228 uH
400	750	1,5	20,2	2,9	4,912	0,5	228 uH
400	750	2	20,2	2,9	6,550	0,5	228 uH
400	990	0,25	20,2	0	0,819	0,5	228 uH
400	990	0,5	20,2	3,9	1,637	0,5	228 uH
400	990	1	20,2	2,9	3,275	0,5	228 uH
400	990	1,5	20,4	2,9	4,912	0,5	228 uH
400	990	2	20,2	2,9	6,550	0,5	228 uH

En la tabla 54 se debe tener en cuenta que los únicos datos variables corresponden a STRK y tiempo de inyección para cada una de las pruebas, se comprobó que al calcular los grados de activación con respecto al tiempo de inyección estos son directamente proporcional, alcanzando un ángulo de giro máximo de 6.55° en un tiempo de inyección de 2ms, generando un gasto promedio de voltaje de 20.315 V, además se verificó que para el correcto funcionamiento de la bobina debe emitir un valor resistivo de 0.5Ω, y una impedancia de 228 μH, cuyos valores son constantes.

Número de inyecciones o STRK -Tiempo de inyección -Tiempo de disparo -Tiempo de retención a 400 bar de presión

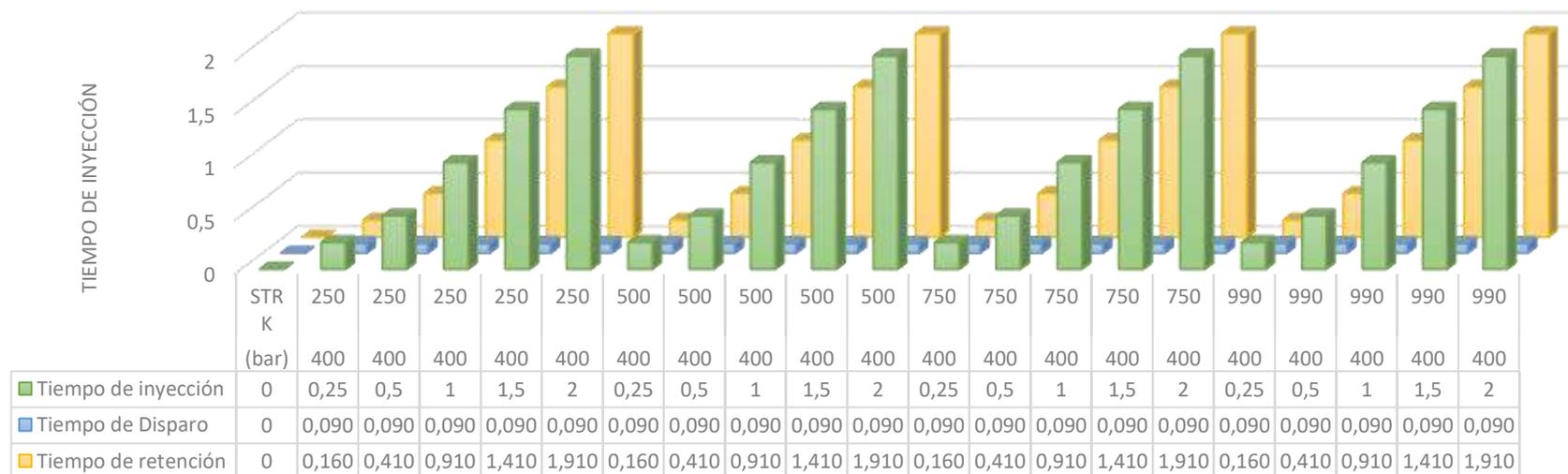


Figura 141 Interpretación gráfica del inyector Bosch 0445110293 a una presión de 400 bar con variación de número de inyecciones en (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms, calculando el tiempo de disparo y el tiempo de retención.

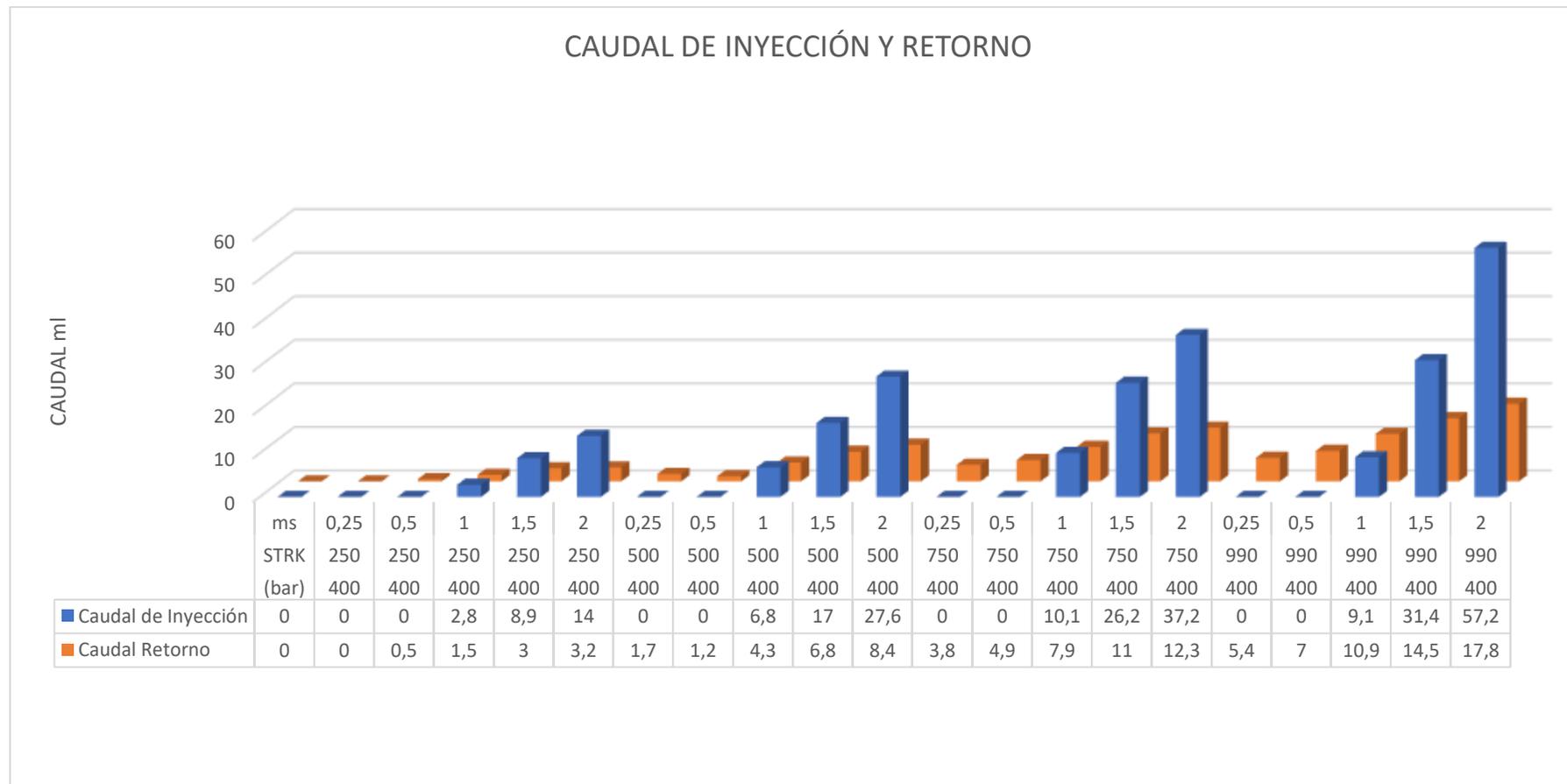


Figura 142 Interpretación gráfica del inyector Bosch 0445110293 a una presión de 400 bar con variación de número de inyecciones en (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms, calculando el caudal de inyección y retorno.

En la figura 141 al tabular los datos obtenidos se observa que el tiempo de disparo en el caso de dicho inyector permanece constante con un valor de 0.090ms, por lo tanto, el tiempo de retención da como resultado de la ecuación 13, los tiempos de inyección, retención y disparo son independientes al número de inyecciones ya que al variar los mismo no cambia sus valores iniciales en tiempos.

En la figura 142 la interpretación gráfica se observa que el caudal de inyección y retorno son directamente proporcional al tiempo de inyección y STRK, obteniendo un caudal de inyección máximo de 57.2 ml a 990 STRK en 2ms y un caudal mínimo estimable de 2.8 ml a 2500 STRK en 1 ms de tiempo de inyección, además se determinó que el caudal máximo de retorno es de 17.8 ml, el cual se obtiene con 990 STRK y 2 ms de tiempo de inyección.

Al ingresar valores mínimos de prueba (250 STRK y 0,25 ms) para dichos parámetros se observó que el fluido es pulverizado totalmente, presentando una nubosidad en los cilindros de pulverización siendo insignificantes las medidas de caudal tanto de retorno como de inyección, y a su vez se determinó que en el tiempo de inyección de 0,25 ms el inyector permanece abierto un corto período de tiempo siendo el caudal de retorno superior al de inyección.

4.7.4. Análisis de las pruebas a la presión de 500 bar

Tabla 55

Prueba del inyector Bosch 0445110293 a una presión de 500 bar con una variación de número de inyecciones a (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección a (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms. Ver (tabla 32 y tabla 33)

Presión Prueba (bar)	STRK	Tiempo de inyección ms	Tiempo de Disparo ms	Tiempo de retención ms	Caudal de Inyección (mm ³)	Caudal Retorno (mm ³)	Corriente de Activación (A)
500	250	0,25	0,090	0,160	0	0,1	31,4
500	250	0,5	0,090	0,410	0	0,5	31,4
500	250	1	0,090	0,910	3,8	1,8	31,3
500	250	1,5	0,090	1,410	8,2	2,7	31,1
500	250	2	0,090	1,910	17,9	4,2	31,3
500	500	0,25	0,090	0,160	0	2,3	31,5
500	500	0,5	0,090	0,410	0	3,4	31,5
500	500	1	0,090	0,910	10,2	5,8	31,3
500	500	1,5	0,090	1,410	24	8	31,5
500	500	2	0,090	1,910	34,8	10,1	31
500	750	0,25	0,090	0,160	0	4,5	31,5
500	750	0,5	0,090	0,410	0	6	31
500	750	1	0,090	0,910	15,2	9,1	31
500	750	1,5	0,090	1,410	33,3	12,2	27,3
500	750	2	0,090	1,910	50	14,1	27,2
500	990	0,25	0,090	0,160	0	6,8	27,4
500	990	0,5	0,090	0,410	1	8,1	27
500	990	1	0,090	0,910	21,2	13	26,8
500	990	1,5	0,090	1,410	42,5	14,5	27,4
500	990	2	0,090	1,910	65,2	18,4	27,4

En la tabla 55 se debe tener en cuenta que los únicos datos variables corresponden a STRK y tiempo de inyección para cada una de las pruebas, visualizando que los STRK y el tiempo de inyección van incrementando, en la cual los valores de caudal de inyección, caudal de retorno y tiempo de retención van aumentando proporcionalmente.

Para el tiempo de disparo se obtuvo un valor de 0,090ms constante. Además, la corriente de activación forma un pequeño rango de variación manteniendo un amperaje mínimo de 26.8 A y un máximo de 31.5 A obteniendo un gasto promedio de 31.17 A, a una presión constante de 500 bar.

Tabla 56

Prueba del inyector Bosch 0445110293 a una presión de 500 bar con una variación de números de inyecciones a (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección a (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms. Ver (tabla 33)

Presión Prueba (bar)	STRK	Tiempo de inyección ms	Voltaje de activación (V)	Voltaje de retención (V)	Grados de Activación (°)	Resistencia en la Bobina (Ω)	Inductancia (H)
500	250	0,25	20,3	0	0,819	0,5	228 uH
500	250	0,5	20,3	3,8	1,637	0,5	228 uH
500	250	1	20,3	2,9	3,275	0,5	228 uH
500	250	1,5	20,3	2,9	4,912	0,5	228 uH
500	250	2	20,3	2,9	6,550	0,5	228 uH
500	500	0,25	20,3	0	0,819	0,5	228 uH
500	500	0,5	20,3	3,8	1,637	0,5	228 uH
500	500	1	20,3	2,9	3,275	0,5	228 uH
500	500	1,5	20,3	2,9	4,912	0,5	228 uH
500	500	2	20,3	2,9	6,550	0,5	228 uH
500	750	0,25	20,3	0	0,819	0,5	228 uH
500	750	0,5	20,3	3,8	1,637	0,5	228 uH
500	750	1	20,3	2,9	3,275	0,5	228 uH
500	750	1,5	20,2	2,9	4,912	0,5	228 uH
500	750	2	20,2	2,9	6,550	0,5	228 uH
500	990	0,25	20,2	0	0,819	0,5	228 uH
500	990	0,5	20,2	3,8	1,637	0,5	228 uH
500	990	1	20,2	2,9	3,275	0,5	228 uH
500	990	1,5	20,3	2,9	4,912	0,5	228 uH
500	990	2	20,3	2,9	6,550	0,5	228 uH

En la tabla 56 se debe tener en cuenta que los únicos datos variables corresponden a STRK y tiempo de inyección para cada una de las pruebas, se comprobó que al calcular los grados de activación con respecto al tiempo de inyección estos son directamente proporcional, alcanzando un ángulo de giro máximo de 6.55° en un tiempo de inyección de 2ms, generando un gasto promedio de voltaje de 20.275 V, además se verificó que para el correcto funcionamiento de la bobina debe emitir un valor resistivo de 0.5Ω, y una impedancia de 228 μH, cuyos valores son constantes.

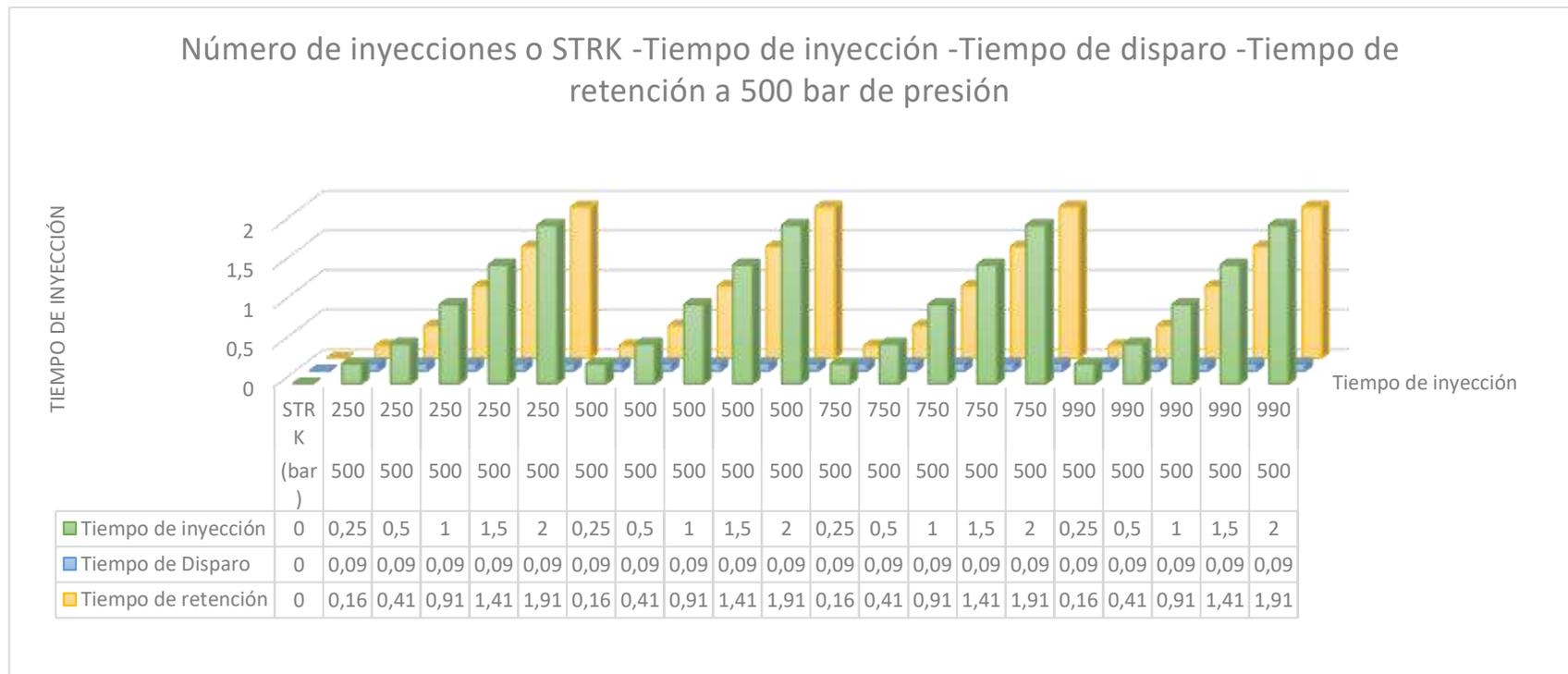


Figura 143 Interpretación gráfica del inyector Bosch 0445110293 a una presión de 500 bar con variación de número de inyecciones en (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms, calculando el tiempo de disparo y el tiempo de retención.

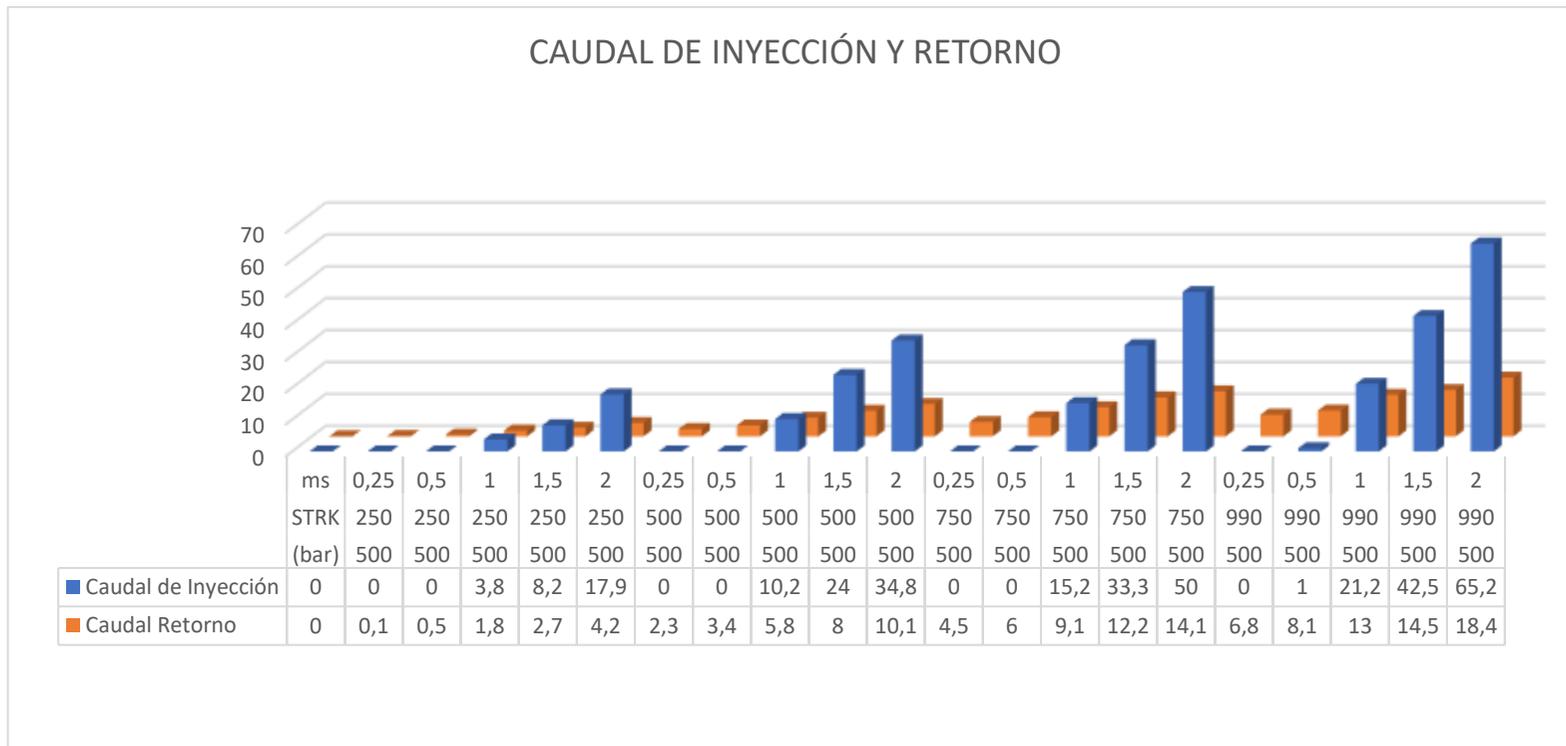


Figura 144 Interpretación gráfica del inyector Bosch 0445110293 a una presión de 500 bar con variación de número de inyecciones en (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms, calculando el caudal de inyección y retorno.

En la figura 143 al tabular los datos obtenidos se observa que el tiempo de disparo en el caso de dicho inyector permanece constante con un valor de 0.090ms, por lo tanto, el tiempo de retención da como resultado de la ecuación 13, los tiempos de inyección, retención y disparo son independientes al número de inyecciones ya que al variar los mismo no cambia sus valores iniciales en tiempos.

En la figura 144 la interpretación gráfica se observa que el caudal de inyección y retorno son directamente proporcional al tiempo de inyección y STRK, obteniendo un caudal de inyección máximo de 65.2 ml a 990 STRK en 2ms y un caudal mínimo estimable de 1 ml a 990 STRK en 0.50 ms de tiempo de inyección, además se determinó que el caudal máximo de retorno es de 18.4 ml, el cual se obtiene con 990 SRTK y 2 ms de tiempo de inyección.

Al ingresar valores mínimos de prueba (250 STRK y 0,25 ms) para dichos parámetros se observó que el fluido es pulverizado totalmente, presentando una nubosidad en los cilindros de pulverización siendo insignificantes las medidas de caudal tanto de retorno como de inyección, y a su vez se determinó que en el tiempo de inyección de 0,25 ms el inyector permanece abierto un corto período de tiempo siendo el caudal de retorno superior al de inyección.

4.7.5. Análisis de las pruebas a la presión de 600 bar

Tabla 57

Prueba del inyector Bosch 0445110293 a una presión de 600 bar con una variación del número de inyecciones a (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección a (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms. Ver (tabla 32 y tabla 33)

Presión Prueba (bar)	STRK	Tiempo de inyección ms	Tiempo de Disparo ms	Tiempo de retención ms	Caudal de Inyección (mm ³)	Caudal Retorno (mm ³)	Corriente de Activación (A)
600	250	0,25	0,090	0,160	0	0,1	32
600	250	0,5	0,090	0,410	0	0,8	30,4
600	250	1	0,090	0,910	4,8	1,2	31,8
600	250	1,5	0,090	1,410	10,5	2,9	30,7
600	250	2	0,090	1,910	18,6	3,5	30,6
600	500	0,25	0,090	0,160	0	2,4	32,5
600	500	0,5	0,090	0,410	0	3,2	32
600	500	1	0,090	0,910	11,6	6,2	32,4
600	500	1,5	0,090	1,410	25	8,1	32,4
600	500	2	0,090	1,910	36,1	9,9	31
600	750	0,25	0,090	0,160	0	4,9	32,2
600	750	0,5	0,090	0,410	0,8	6,2	31,8
600	750	1	0,090	0,910	18	9,9	30,1
600	750	1,5	0,090	1,410	37,6	12	32,1
600	750	2	0,090	1,910	56	15,3	31
600	990	0,25	0,095	0,155	0	7,2	32,6
600	990	0,5	0,090	0,410	2,6	9,8	31,1
600	990	1	0,090	0,910	24,2	13,8	32,5
600	990	1,5	0,090	1,410	48,9	17,4	32,8
600	990	2	0,090	1,910	71,8	19	33

En la tabla 57 se debe tener en cuenta que los únicos datos variables corresponden a STRK y tiempo de inyección para cada una de las pruebas, visualizando que los STRK y el tiempo de inyección van incrementando, en la cual los valores de caudal de inyección, caudal de retorno y tiempo de retención van aumentando proporcionalmente.

Para el tiempo de disparo se obtuvo un valor de 0,090ms constante. Además, la corriente de activación forma un pequeño rango de variación manteniendo un amperaje mínimo de 30.1 A y un máximo de 33 A obteniendo un gasto promedio de 31.17 A, a una presión constante de 600 bar.

Tabla 58

Prueba del inyector Bosch 0445110293 a una presión de 500 bar con una variación de números de inyecciones a (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección a (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms. Ver (tabla 33)

Presión Prueba	STRK	Tiempo de inyección	Voltaje de activación	Voltaje de retención	Grados de Activación	Resistencia en la Bobina	Inductancia
(bar)		ms	(V)	(V)	(°)	(Ω)	(H)
600	250	0,25	20,2	0	0,819	0,5	228 uH
600	250	0,5	20,2	3,2	1,637	0,5	228 uH
600	250	1	20,2	2,9	3,275	0,5	228 uH
600	250	1,5	20,2	3	4,912	0,5	228 uH
600	250	2	20,2	2,8	6,550	0,5	228 uH
600	500	0,25	20,2	0	0,819	0,5	228 uH
600	500	0,5	20,2	3,8	1,637	0,5	228 uH
600	500	1	20,2	3	3,275	0,5	228 uH
600	500	1,5	20,2	2,9	4,912	0,5	228 uH
600	500	2	20,2	2,9	6,550	0,5	228 uH
600	750	0,25	20,2	0	0,819	0,5	228 uH
600	750	0,5	20,3	3,5	1,637	0,5	228 uH
600	750	1	20,3	2,8	3,275	0,5	228 uH
600	750	1,5	20,4	2,9	4,912	0,5	228 uH
600	750	2	20,4	2,8	6,550	0,5	228 uH
600	990	0,25	20,4	0	0,819	0,5	228 uH
600	990	0,5	20,4	3,9	1,637	0,5	228 uH
600	990	1	20,4	3	3,275	0,5	228 uH
600	990	1,5	20,3	3	4,912	0,5	228 uH
600	990	2	20,4	3	6,550	0,5	228 uH

En la tabla 58 se debe tener en cuenta que los únicos datos variables corresponden a STRK y tiempo de inyección para cada una de las pruebas, se comprobó que al calcular los grados de activación con respecto al tiempo de inyección estos son directamente proporcional, alcanzando un ángulo de giro máximo de 6.55° en un tiempo de inyección de 2ms, generando un gasto promedio de voltaje de 20.275 V, además se verificó que para el correcto funcionamiento de la bobina debe emitir un valor resistivo de 0.5Ω , y una impedancia de 228 μH , cuyos valores son constantes.

Número de inyecciones o STRK -Tiempo de inyección -Tiempo de disparo -Tiempo de retención a 600 bar de presión

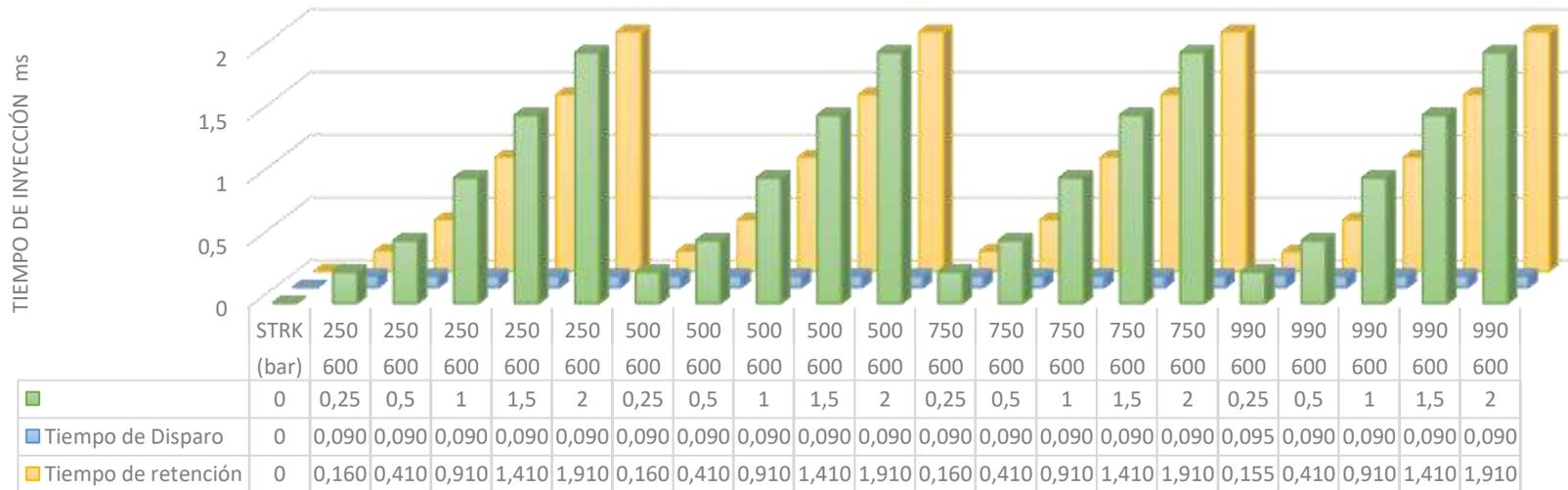


Figura 145 Interpretación gráfica del inyector Bosch 0445110293 a una presión de 600 bar con variación de número de inyecciones en (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms, calculando el tiempo de disparo y el tiempo de retención.

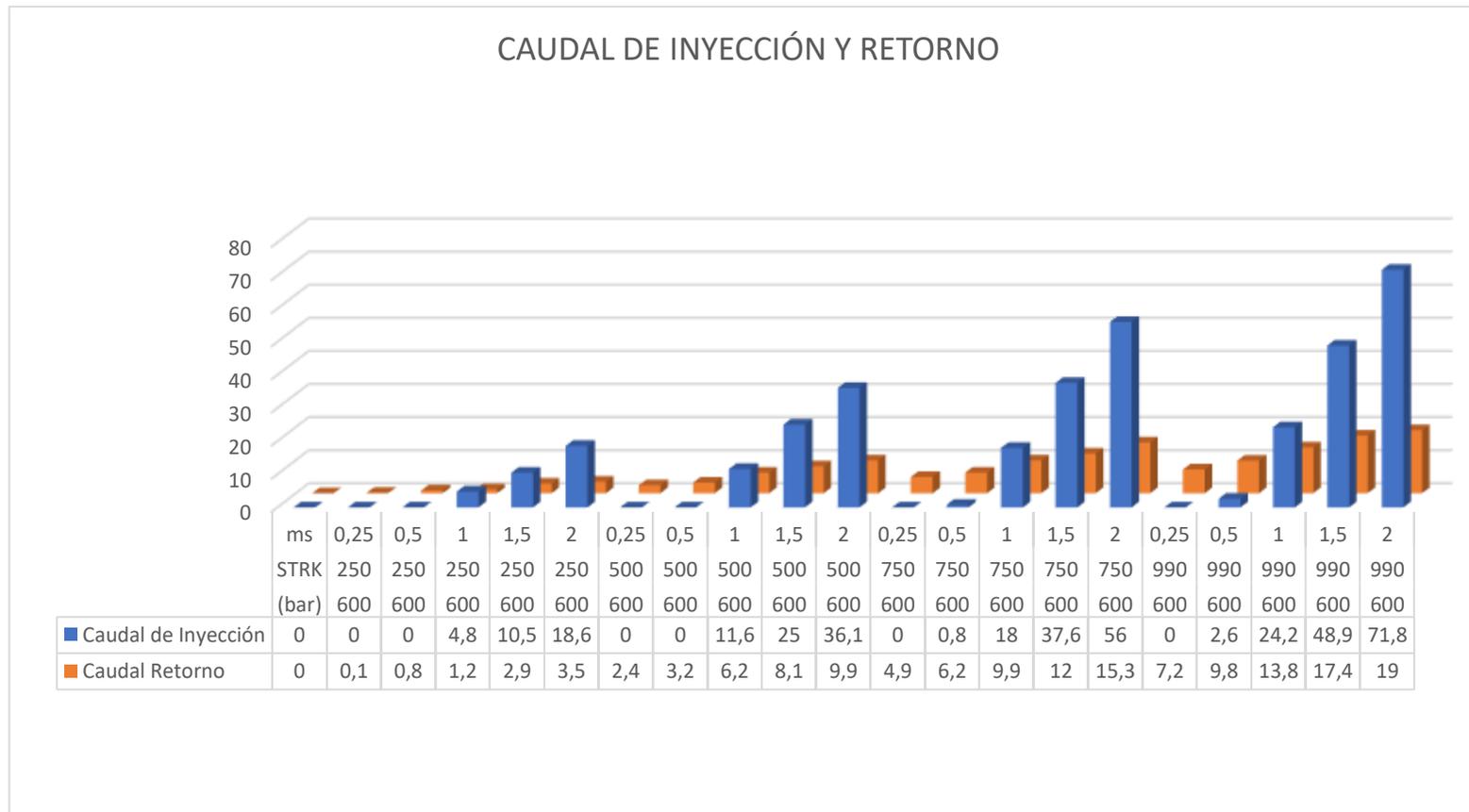


Figura 146 Interpretación gráfica del inyector Bosch 0445110293 a una presión de 600 bar con variación de número de inyecciones en (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms, calculando el caudal de inyección y retorno.

En la figura 145 al tabular los datos obtenidos se observa que el tiempo de disparo en el caso de dicho inyector permanece constante con un valor de 0.090ms, por lo tanto, el tiempo de retención da como resultado de la ecuación 13, los tiempos de inyección, retención y disparo son independientes al número de inyecciones ya que al variar los mismo no cambia sus valores iniciales en tiempos.

En la figura 146 la interpretación gráfica se observa que el caudal de inyección y retorno son directamente proporcional al tiempo de inyección y STRK, obteniendo un caudal de inyección máximo de 71.8 ml a 990 STRK en 2ms y un caudal mínimo estimable de 2.6 ml a 990 STRK en 0.50 ms de tiempo de inyección, además se determinó que el caudal máximo de retorno es de 19 ml, el cual se obtiene con 990 STRK y 2 ms de tiempo de inyección.

Al ingresar valores mínimos de prueba (250 STRK y 0,25 ms) para dichos parámetros se observó que el fluido es pulverizado totalmente, presentando una nubosidad en los cilindros de pulverización siendo insignificantes las medidas de caudal tanto de retorno como de inyección, y a su vez se determinó que en el tiempo de inyección de 0,25 ms el inyector permanece abierto un corto período de tiempo siendo el caudal de retorno superior al de inyección.

4.7.6. Análisis de las pruebas a la presión de 700 bar

Tabla 59

Prueba del inyector Bosch 0445110293 a una presión de 700 bar con una variación del número de inyecciones a (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección a (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms.

Presión Prueba (bar)	STRK	Tiempo de inyección ms	Tiempo de Disparo ms	Tiempo de retención ms	Caudal de Inyección (mm3)	Caudal Retorno (mm3)	Corriente de Activación (A)
700	250	0,25	0,090	0,160	0	0,5	33,3
700	250	0,5	0,090	0,410	0	1	33,2
700	250	1	0,090	0,910	6	2,4	33,2
700	250	1,5	0,090	1,410	12,1	3,3	31,8
700	250	2	0,090	1,910	20,5	5	31,6
700	500	0,25	0,090	0,160	0	3,2	33,4
700	500	0,5	0,090	0,410	0,4	4,7	33,3
700	500	1	0,090	0,910	14,1	6,9	32,9
700	500	1,5	0,090	1,410	29,2	10,4	33,6
700	500	2	0,090	1,910	38,4	9,6	33,2
700	750	0,25	0,090	0,160	0	5,9	31,6
700	750	0,5	0,090	0,410	2	6,8	27,5
700	750	1	0,090	0,910	21,9	9,5	28,2
700	750	1,5	0,090	1,410	40,9	11,5	28,7
700	750	2	0,090	1,910	65,1	16,5	30
700	990	0,25	0,090	0,160	0	8,4	28,6
700	990	0,5	0,090	0,410	2,5	9,8	30,4
700	990	1	0,090	0,910	30	15,5	29,1
700	990	1,5	0,090	1,410	57,2	19,4	30,6
700	990	2	0,090	1,910	86,1	22,7	29,1

En la tabla 59 se debe tener en cuenta que los únicos datos variables corresponden a STRK y tiempo de inyección para cada una de las pruebas, visualizando que los STRK y el tiempo de inyección van incrementando, en la cual los valores de caudal de inyección, caudal de retorno y tiempo de retención van aumentando proporcionalmente.

Para el tiempo de disparo se obtuvo un valor de 0,090ms constante. Además, la corriente de activación forma un pequeño rango de variación manteniendo un amperaje mínimo de 27.5 A y un máximo de 33.9 A obteniendo un gasto promedio de 31.17 A, a una presión constante de 700 bar.

Tabla 60

Prueba del inyector Bosch 0445110293 a una presión de 700 bar con una variación de número de inyecciones a (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección a (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms.

Presión Prueba	STRK	Tiempo de inyección	Voltaje de activación	Voltaje de retención	Grados de Activación	Resistencia en la Bobina	Inductancia
(bar)		ms	(V)	(V)	(°)	(Ω)	(H)
700	250	0,25	20,4	0	0,819	0,5	228 uH
700	250	0,5	20,4	3,8	1,637	0,5	228 uH
700	250	1	20,4	3	3,275	0,5	228 uH
700	250	1,5	20,4	2,9	4,912	0,5	228 uH
700	250	2	20,4	2,9	6,550	0,5	228 uH
700	500	0,25	20,4	0	0,819	0,5	228 uH
700	500	0,5	20,4	3,8	1,637	0,5	228 uH
700	500	1	20,4	3	3,275	0,5	228 uH
700	500	1,5	20,4	2,9	4,912	0,5	228 uH
700	500	2	20,4	2,9	6,550	0,5	228 uH
700	750	0,25	20,4	0	0,819	0,5	228 uH
700	750	0,5	20,1	3,8	1,637	0,5	228 uH
700	750	1	20,2	3	3,275	0,5	228 uH
700	750	1,5	20,2	2,9	4,912	0,5	228 uH
700	750	2	20,2	2,9	6,550	0,5	228 uH
700	990	0,25	20,2	0	0,819	0,5	228 uH
700	990	0,5	20,2	3,8	1,637	0,5	228 uH
700	990	1	20,2	3	3,275	0,5	228 uH
700	990	1,5	20,2	2,9	4,912	0,5	228 uH
700	990	2	20,2	2,9	6,550	0,5	228 uH

En la tabla 60 se debe tener en cuenta que los únicos datos variables corresponden a STRK y tiempo de inyección para cada una de las pruebas, se comprobó que al calcular los grados de activación con respecto al tiempo de inyección estos son directamente proporcional, alcanzando un ángulo de giro máximo de 6.55° en un tiempo de inyección de 2ms, generando un gasto promedio de voltaje de 20.305 V, además se verificó que para el correcto funcionamiento de la bobina debe emitir un valor resistivo de 0.5Ω , y una impedancia de 228 μH , cuyos valores son constantes.

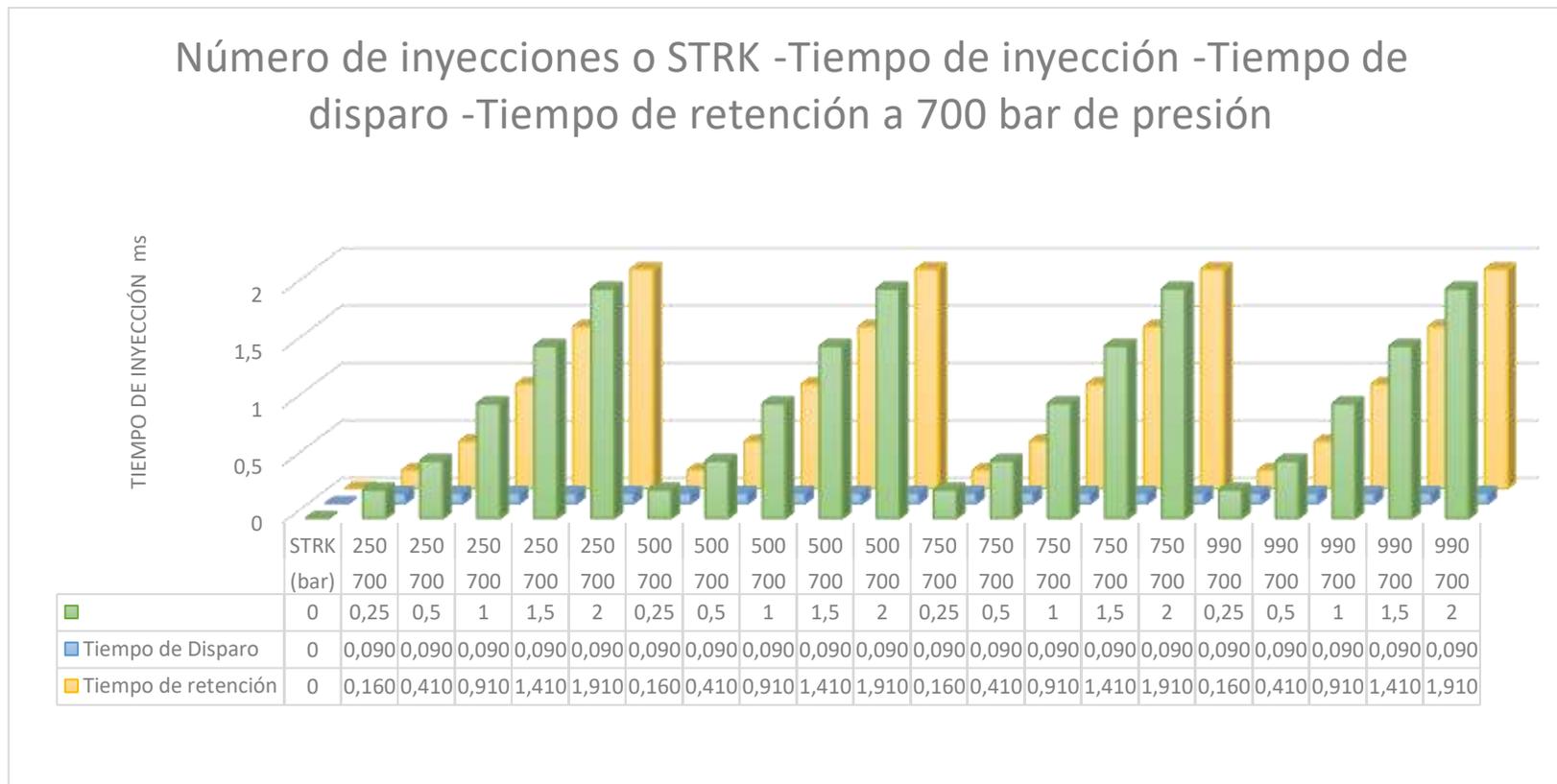


Figura 147 Interpretación gráfica del inyector Bosch 0445110293 a una presión de 700 bar con variación de número de inyecciones en (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms, calculando el tiempo de disparo y el tiempo de retención.

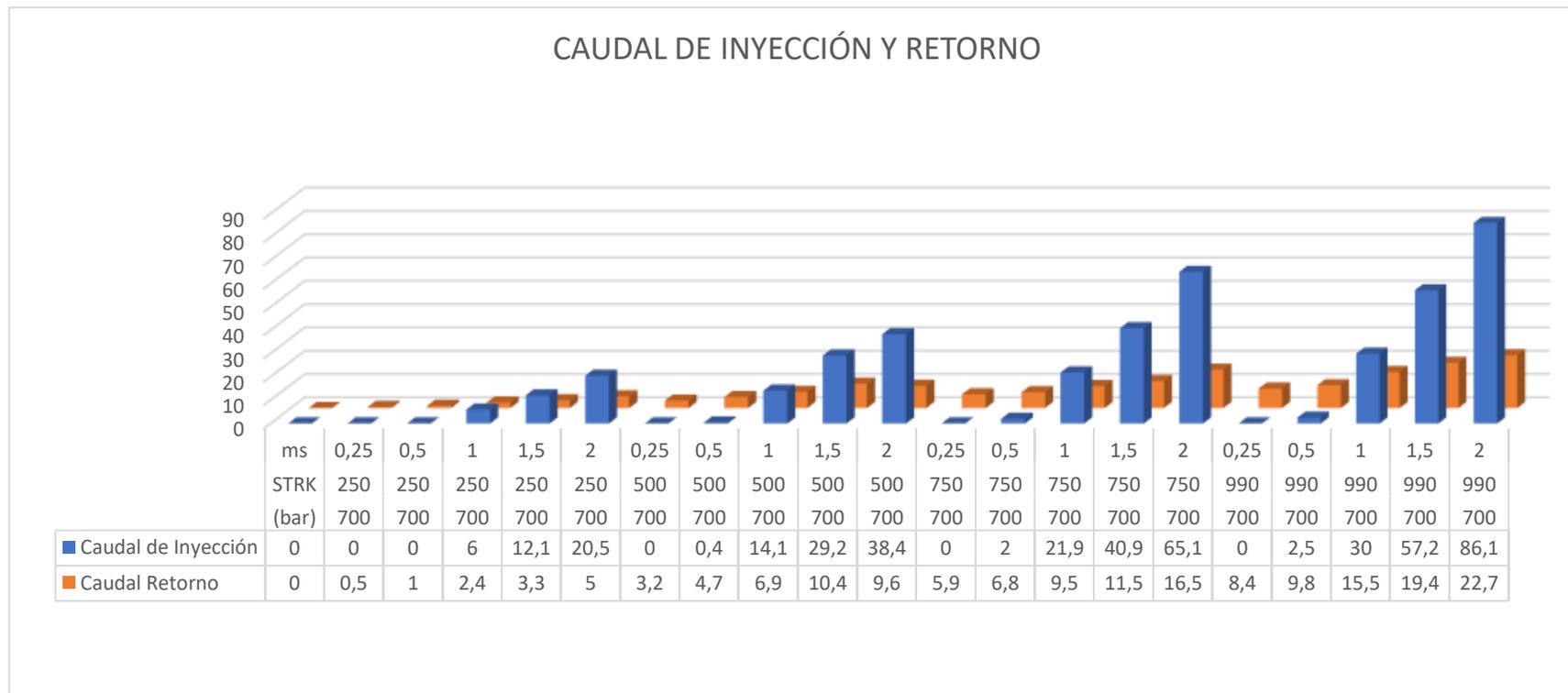


Figura 148 Interpretación gráfica del inyector Bosch 0445110293 a una presión de 700 bar con variación de número de inyecciones en (250, 500, 750, 990) STRK y con tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms, calculando el caudal de inyección y retorno.

En la figura 147 al tabular los datos obtenidos se observa que el tiempo de disparo en el caso de dicho inyector permanece constante con un valor de 0.090ms, por lo tanto, el tiempo de retención da como resultado de la ecuación 13, los tiempos de inyección, retención y disparo son independientes al número de inyecciones ya que al variar los mismo no cambia sus valores iniciales en tiempos.

En la figura 148 la interpretación gráfica se observa que el caudal de inyección y retorno son directamente proporcional al tiempo de inyección y STRK, obteniendo un caudal de inyección máximo de 86.1 ml a 990 STRK en 2ms y un caudal mínimo estimable de 0.4 ml a 500 STRK en 0.50 ms de tiempo de inyección, además se determinó que el caudal máximo de retorno es de 22.7 ml, el cual se obtiene con 990 SRTK y 2 ms de tiempo de inyección.

Al ingresar valores mínimos de prueba (250 STRK y 0,25 ms) para dichos parámetros se observó que el fluido es pulverizado totalmente, presentando una nubosidad en los cilindros de pulverización siendo insignificantes las medidas de caudal tanto de retorno como de inyección, y a su vez se determinó que en el tiempo de inyección de 0,25 ms el inyector permanece abierto un corto período de tiempo siendo el caudal de retorno superior al de inyección.

4.7.7. Análisis comparativo de los caudales de inyección y retorno del inyector CRDI Bosch 0445110293 a (300, 400, 500, 600, 700) bar de presión.

Tabla 61

Análisis comparativo de los caudales de inyección inyector CRDI Bosch 0445110293 a (300, 400, 500, 600,700) bar de presión.

	Tiempo de inyección	Caudal de Inyección 300 bar	Caudal de Inyección 400 bar	Caudal de Inyección 500 bar	Caudal de Inyección 600 bar	Caudal de Inyección 700 bar
STRK	ms	(mm3)	(mm3)	(mm3)	(mm3)	(mm3)
250	0,25	0	0	0	0	0
250	0,5	0	0	0	0	0
250	1	0	2,8	3,8	4,8	6
250	1,5	0,9	8,9	8,2	10,5	12,1
250	2	3	14	17,9	18,6	20,5
500	0,25	0	0	0	0	0
500	0,5	0	0	0	0	0,4
500	1	0	6,8	10,2	11,6	14,1
500	1,5	6,9	17	24	25	29,2
500	2	12,6	27,6	34,8	36,1	38,4
750	0,25	0	0	0	0	0
750	0,5	0	0	0	0,8	2
750	1	0,5	10,1	15,2	18	21,9
750	1,5	11,9	26,2	33,3	37,6	40,9
750	2	22,5	37,2	50	56	65,1
990	0,25	0	0	0	0	0
990	0,5	0	0	1	2,6	2,5
990	1	3,5	9,1	21,2	24,2	30
990	1,5	18,8	31,4	42,5	48,9	57,2
990	2	32	57,2	65,2	71,8	86,1

En la tabla 61 se obtuvo el caudal máximo de retorno de 86,1 ml con valores de prueba a 990 STRK y 2 ms de inyección, a una presión de 700 bar. En otras circunstancias paramétricas de 300 hasta 700 bar, con 0.25 ms en tiempo de inyección y desde 250 hasta 990 STRK, no emite fluido alguno en la probeta, debido a un mínimo tiempo de inyección, sin observar ningún volumen.

Tiempo de inyección -Número de inyecciones STRK -Caudal de inyección a (300, 400, 500, 600, 700)bar de presión

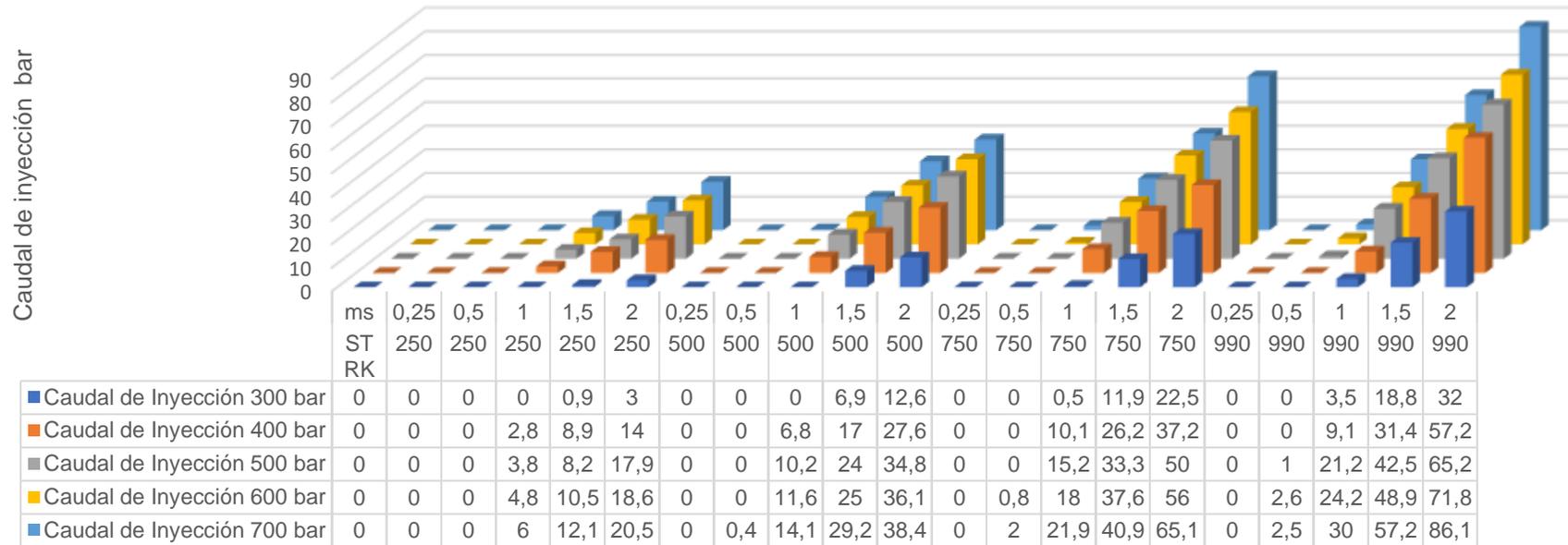


Figura 149 Análisis comparativo gráficamente del inyector Bosch 0445110293 de los caudales de inyección con variación de número de inyecciones y número de STRK a (300, 400, 500, 600, 700) bar de presión, en referencia a los datos de la tabla 61.

Tabla 62

Análisis comparativo de los caudales de retorno del inyector CRDI Bosch 0445110293 a (300, 400, 500, 600,700) bar de presión

STRK	Tiempo de inyección ms	Caudal Retorno 300 bar (mm3)	Caudal Retorno 400 bar (mm3)	Caudal Retorno 500 bar (mm3)	Caudal Retorno 600 bar (mm3)	Caudal Retorno 700 bar (mm3)
250	0,25	0	0	0,1	0,1	0,5
250	0,5	0	0,5	0,5	0,8	1
250	1	1	1,5	1,8	1,2	2,4
250	1,5	1	3	2,7	2,9	3,3
250	2	1,2	3,2	4,2	3,5	5
500	0,25	1,3	1,7	2,3	2,4	3,2
500	0,5	2,1	1,2	3,4	3,2	4,7
500	1	3,3	4,3	5,8	6,2	6,9
500	1,5	5	6,8	8	8,1	10,4
500	2	5,1	8,4	10,1	9,9	9,6
750	0,25	3,2	3,8	4,5	4,9	5,9
750	0,5	4,4	4,9	6	6,2	6,8
750	1	7	7,9	9,1	9,9	9,5
750	1,5	9	11	12,2	12	11,5
750	2	12	12,3	14,1	15,3	16,5
990	0,25	5	5,4	6,8	7,2	8,4
990	0,5	7	7	8,1	9,8	9,8
990	1	9,3	10,9	13	13,8	15,5
990	1,5	13,8	14,5	14,5	17,4	19,4
990	2	16	17,8	18,4	19	22,7

En la tabla 62 se obtuvo el caudal máximo de retorno de 22,7 ml con valores de prueba a 990 STRK y 2 ms de inyección, a una presión de 700 bar. En otras circunstancias paramétricas a 300 y 400 bar con 0.25 ms en tiempo de inyección de 250 STKR, no emite fluido alguno en la probeta, de la misma manera sucede a una presión de 300 bar, 0,5 ms en tiempo de inyección y 250 STRK, debido a un mínimo valor de STRK y tiempo de inyecciones, sin observar ningún volumen.

Tiempo de inyección -Número de Inyecciones STRK -Caudal de retorno a (300, 400, 500, 600, 700)bar de presión

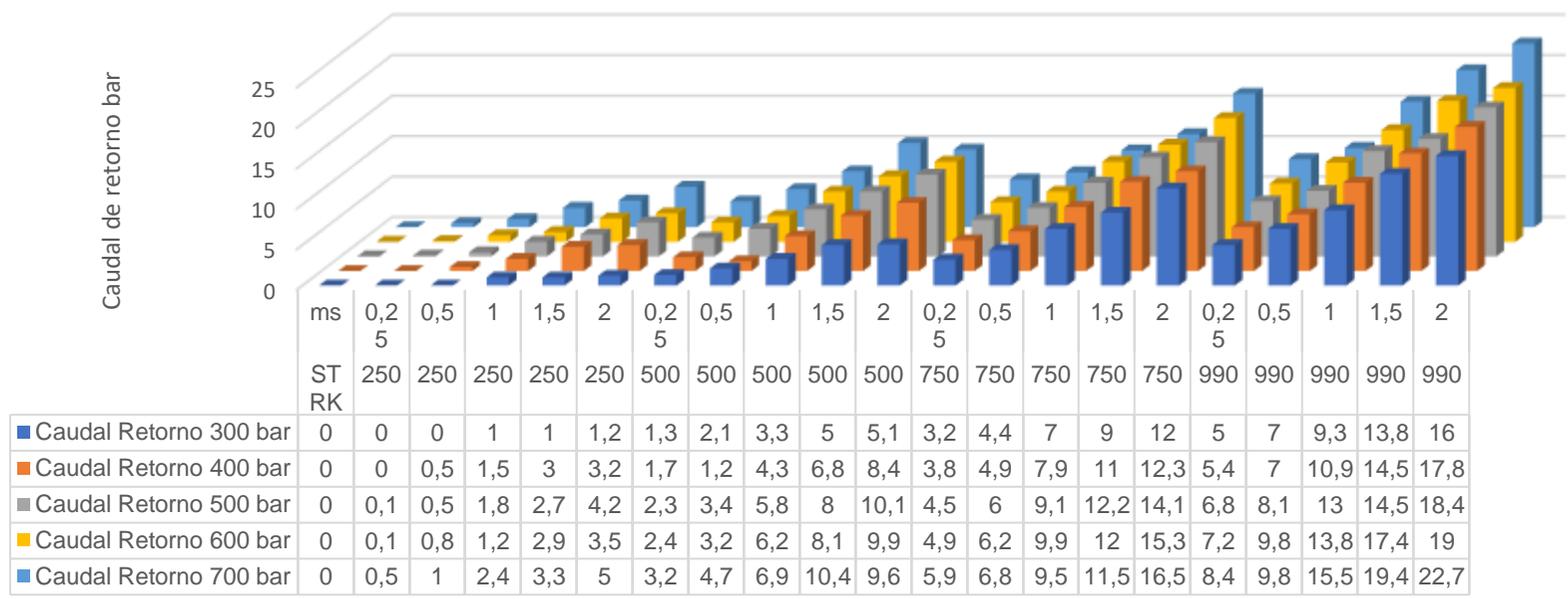


Figura 150 Análisis comparativo gráficamente del inyector Bosch 0445110293 de los caudales de retorno con variación de número de inyecciones y número de STRK a (300, 400, 500, 600, 700) bar de presión, en referencia a los datos de la tabla 62.

4.7.8. Análisis de las pruebas eléctricas del inyector CRDI Bosch 0445110293

Tabla 63

Características eléctricas del inyector CRDI Bosch 0445110293 a presiones de (300, 400, 500, 600, 700) bar y tiempos de inyección de (0.25, 0.5, 1, 1.5, 2) ms

Presión Prueba	Tiempo de inyección	Corriente de Activación	Voltaje de activación	Voltaje de retención	Resistencia en la Bobina	Inductancia
(bar)	ms	(A)	(V)	(V)	(Ω)	(H)
300	0,25	30	20,4	0	0,5	228 uH
300	0,5	30	20,4	3,8	0,5	228 uH
300	1	29,4	20,4	2,9	0,5	228 uH
300	1,5	29,9	20,4	2,9	0,5	228 uH
300	2	29,6	20,4	2,9	0,5	228 uH
400	0,25	29,4	20,3	0	0,5	228 uH
400	0,5	27,9	20,3	3,9	0,5	228 uH
400	1	28,6	20,3	2,9	0,5	228 uH
400	1,5	28,6	20,4	2,9	0,5	228 uH
400	2	28,6	20,3	2,9	0,5	228 uH
500	0,25	30,5	20,3	0	0,5	228 uH
500	0,5	30	20,3	3,8	0,5	228 uH
500	1	30,1	20,3	2,9	0,5	228 uH
500	1,5	29,3	20,3	2,9	0,5	228 uH
500	2	29,2	20,3	2,9	0,5	228 uH
600	0,25	32,3	20,3	0	0,5	228 uH
600	0,5	31,3	20,3	3,6	0,5	228 uH
600	1	31,7	20,3	2,9	0,5	228 uH
600	1,5	32	20,3	3	0,5	228 uH
600	2	31,4	20,3	2,9	0,5	228 uH
700	0,25	31,7	20,4	0	0,5	228 uH
700	0,5	31,1	20,3	3,8	0,5	228 uH
700	1	30,9	20,3	3	0,5	228 uH
700	1,5	31,2	20,3	2,9	0,5	228 uH
700	2	31	20,3	2,9	0,5	228 uH

En la tabla 63, los valores adquiridos mediante la variación de número de STRK y el tiempo de inyección a cada presión, muestran que el valor mínimo de la corriente de activación es de 27.9 A y un máximo de 32.3 A con un promedio de consumo de 30.225 A, en cuanto al valor promedio del voltaje de activación es de 20.328 V, el valor promedio del voltaje de retención es de 2.504 V, manteniéndose constantes durante todas las pruebas, los valores de resistencia eléctrica e inductancia con 0,5 Ω y 228 μ H respectivamente.

ANÁLISIS COMPARATIVO VOLTAJES INYECCIÓN Y RETENCIÓN

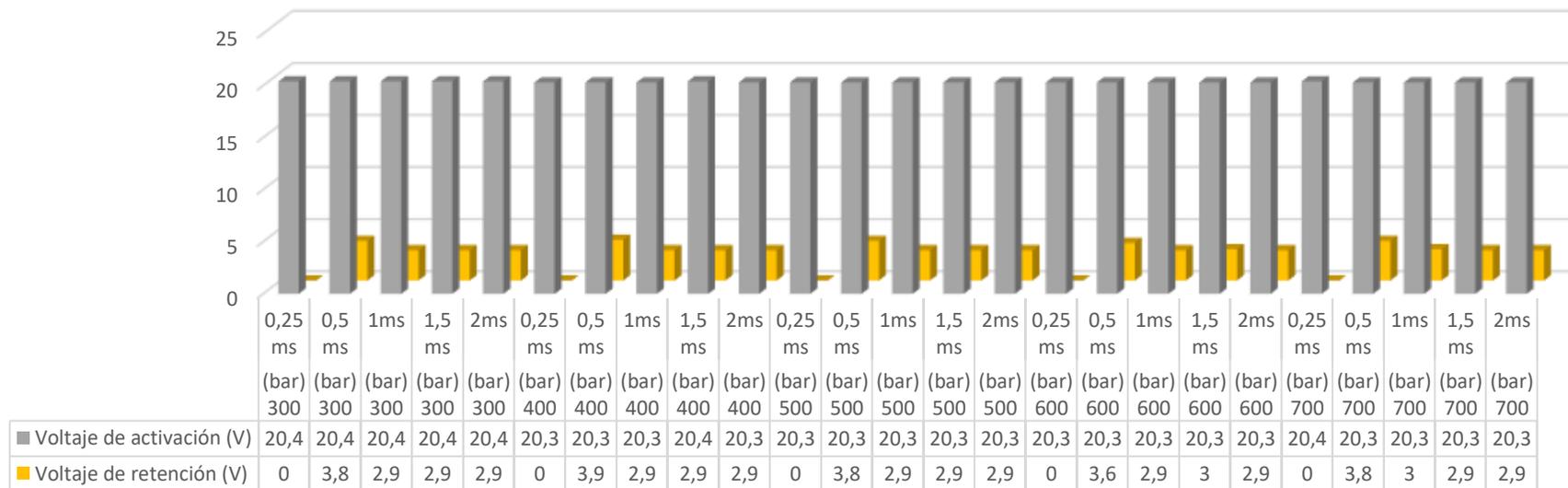


Figura 151 Análisis comparativo gráficamente de voltajes de inyección, voltajes de retención con variación del tiempo de inyección y presiones de trabajo a (300, 400, 500, 600, 700) bar del inyector Bosch 04451101293. Los valores de voltaje de activación y voltajes de retención no son directamente proporcionales a la presión, tiempo de inyección donde se obtuvo un promedio general de 20,3V y 2.504 V respectivamente.

4.7.9. Oscilogramas de voltaje y corriente inyector 0445110293

En el siguiente oscilograma se identificarán cada una de las partes que conforma la onda de acuerdo a la prueba realizada.



Figura 152 Partes oscilograma de tensión inyector 04451101293.

En la figura 152 se detalla las partes que conforman el oscilograma para el inyector, (a) voltaje de activación, al activar la opción messsure se podrá observar dicho valor, (b) distancia horizontal en donde representa el tiempo de inyección en ms, (c) distancia vertical representa el voltaje de activación en voltios, (d) es la calibración que permite realizar el osciloscopio para el eje de tiempo (abscisa), para el caso es de 500 μ s, (e) distancia vertical del valor para el voltaje de retención, (f) distancia que representa el tiempo de retención de inyección, dicho valor irá aumentando progresivamente en función del tiempo de inyección, (g) es la calibración que permite realizar el osciloscopio para el eje de voltaje (ordenada), para el caso es de 5V.

En el siguiente oscilograma se identifica las partes de la onda de corriente que emite el inyector.

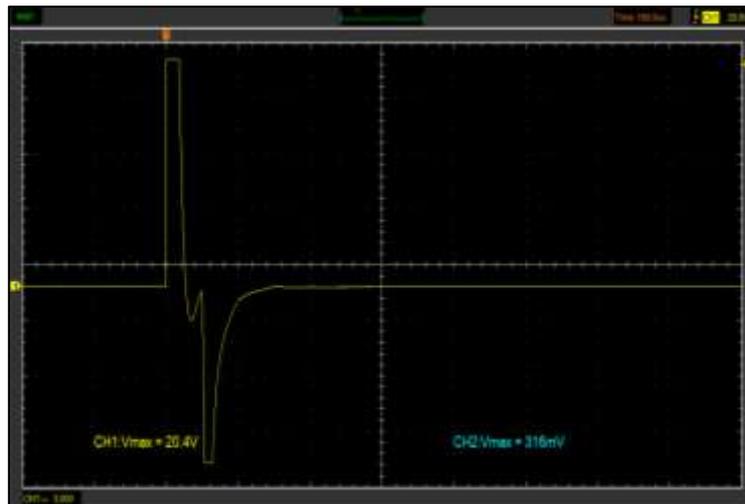


Figura 154 Oscilograma de voltaje, tiempo de inyección 0,25ms inyector CRDI Bosch 0445110293.

En la figura 154 la curva amarilla representa el voltaje necesario para activar el inyector de 20,4 voltios en 0,090 mili segundos y un voltaje de retención de 0 voltios en un tiempo de 0,160 milisegundos, el voltaje de activación no varía al cambiar los parámetros de presión o número de inyecciones o STRK.

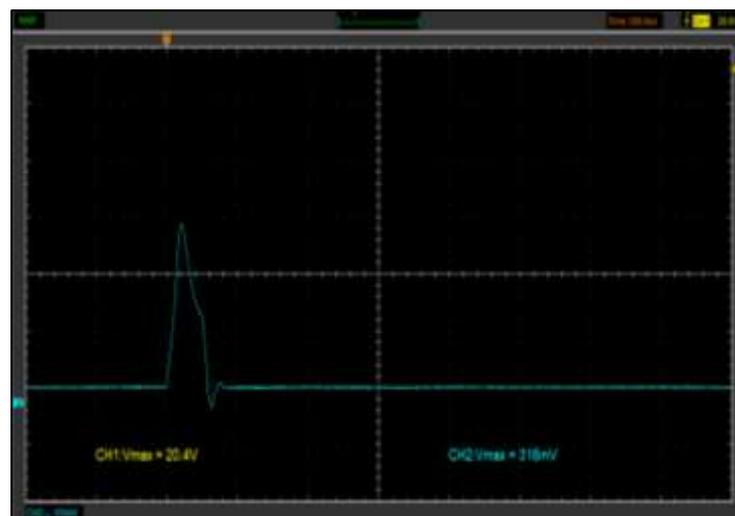


Figura 155 Oscilograma de corriente, tiempo de inyección 0,25ms del inyector CRDI Bosch 0445110293.

En la figura 155, la curva turquesa indica la corriente necesaria para activar el inyector de 31.6 A, donde se mantiene constante durante el tiempo de disparo, la corriente de activación no varía al cambiar los parámetros de presión o número de inyecciones o STRK.

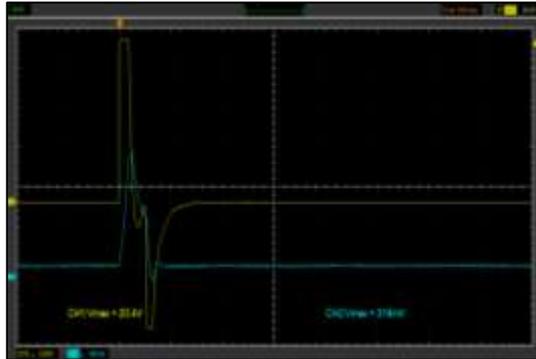


Figura 156 Oscilograma de corriente y voltaje, tiempo de inyección 0,25ms del inyector CRDI Bosch 0445110293.

En la figura 156 se observa la curva de voltaje y corriente para la activación del inyector, apreciando el pico de voltaje, así como el pico de corriente, para posteriormente descender respectivamente hacia la zona de retención de la inyección y enseguida finalizar con el proceso de inyección e iniciar un nuevo ciclo de inyección.

Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 0.50 ms, inyector inductivo CRDI Bosch 0445110293.

Los oscilogramas de voltaje y corriente se obtuvieron únicamente variando los pulsos de inyección a 0.50 ms, mientras que al osciloscopio se regula en 500 us para el eje de tiempo y 5 V para el eje de voltaje.

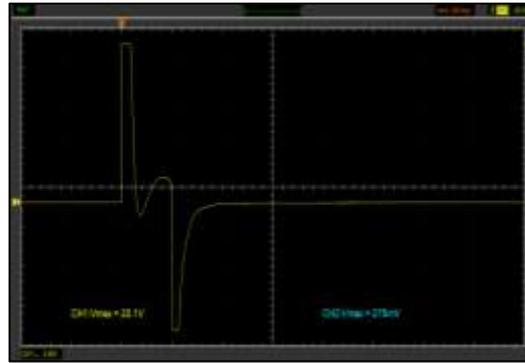


Figura 157 Oscilograma de voltaje, tiempo de inyección 0,50 ms inyector CRDI Bosch 0445110293.

En la figura 157 la curva amarilla representa el voltaje necesario para activar el inyector de 20,1 voltios en 0,090 mili-segundos y un voltaje de retención de 3,8 voltios en un tiempo de 0,410 milisegundos, el voltaje de activación no varía al cambiar los parámetros de presión o número de inyecciones o STRK.

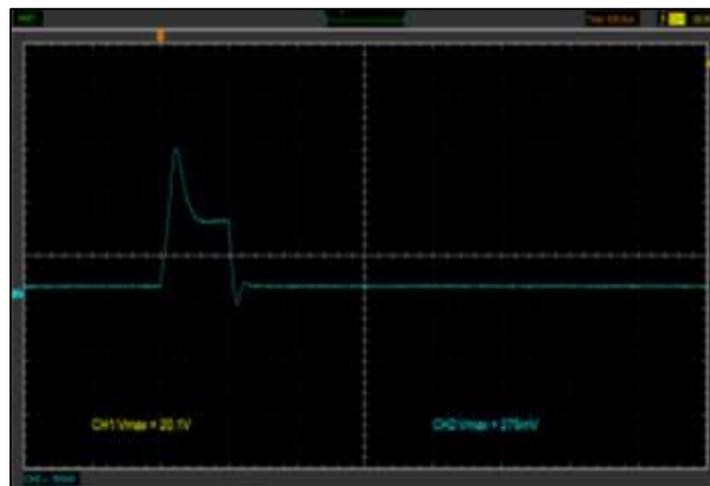


Figura 158 Oscilograma de corriente, tiempo de inyección 0.50ms del inyector CRDI Bosch 0445110293.

En la figura 158, la curva turquesa indica la corriente necesaria para activar el inyector de 27,5 A, donde se mantiene constante durante el tiempo de disparo, la corriente de activación no varía al cambiar los parámetros de presión o número de inyecciones o STRK.

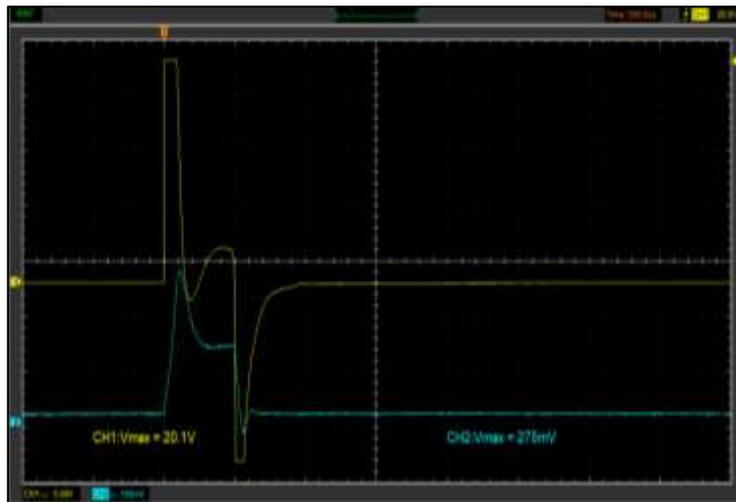


Figura 159 Oscilograma de corriente y voltaje, tiempo de inyección 0,50ms del inyector CRDI Bosch 0445110293.

En la figura 159 se observa la curva de voltaje y corriente para la activación del inyector, apreciando el pico de voltaje, así como el pico de corriente, para posteriormente descender respectivamente hacia la zona de retención de la inyección y enseguida finalizar con el proceso de inyección e iniciar un nuevo ciclo de inyección.

Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 1 ms, inyector inductivo CRDI Bosch 0445110293.

Los oscilogramas de voltaje y corriente se obtuvieron únicamente variando los pulsos de inyección a 1 ms, mientras que al osciloscopio se regula en 500 us para el eje de tiempo y 5 V para el eje de voltaje.

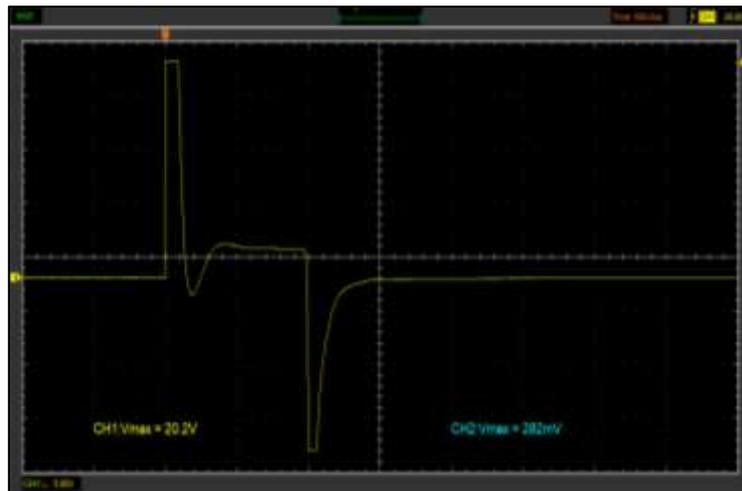


Figura 160 Oscilograma de voltaje, tiempo de inyección 1 ms inyector CRDI Bosch 0445110293.

En la figura 160 la curva amarilla representa el voltaje necesario para activar el inyector de 20.2 voltios en 0,090 mili segundos y un voltaje de retención de 3 voltios en un tiempo de 0,910 milisegundos, el voltaje de activación no varía al cambiar los parámetros de presión o número de inyecciones o STRK.



Figura 161 Oscilograma de corriente, tiempo de inyección 1 ms del inyector CRDI Bosch 0445110293.

En la figura 161, la curva turquesa indica la corriente necesaria para activar el inyector de 28.2 A, donde se mantiene constante durante el tiempo de disparo,

la corriente de activación no varía al cambiar los parámetros de presión o número de inyecciones o STRK.



Figura 162 Oscilograma de corriente y voltaje, tiempo de inyección 1 ms del inyector CRDI Bosch 0445110293.

En la figura 162 se observa la curva de voltaje y corriente para la activación del inyector, apreciando el pico de voltaje, así como el pico de corriente, para posteriormente descender respectivamente hacia la zona de retención de la inyección y enseguida finalizar con el proceso de inyección e iniciar un nuevo ciclo de inyección.

Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 1,5 ms, inyector inductivo CRDI Bosch 0445110293.

Los oscilogramas de voltaje y corriente se obtuvieron únicamente variando los pulsos de inyección a 1.5 ms, mientras que al osciloscopio se regula en 500 us para el eje de tiempo y 5 V para el eje de voltaje.

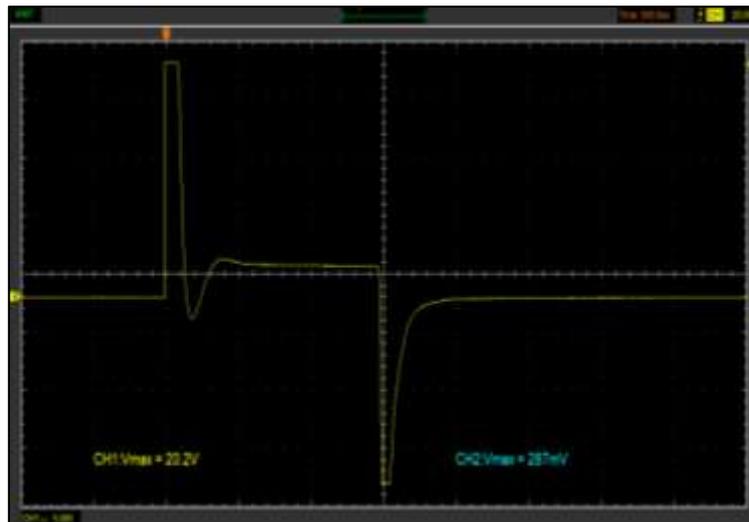


Figura 163 Oscilograma de voltaje, tiempo de inyección 1,5 ms inyector CRDI Bosch 0445110293.

En la figura 163 la curva amarilla representa el voltaje necesario para activar el inyector de 20.2 voltios en 0,090 mili segundos y un voltaje de retención de 2.9 voltios en un tiempo de 1,410 milisegundos, el voltaje de activación no varía al cambiar los parámetros de presión o número de inyecciones o STRK.

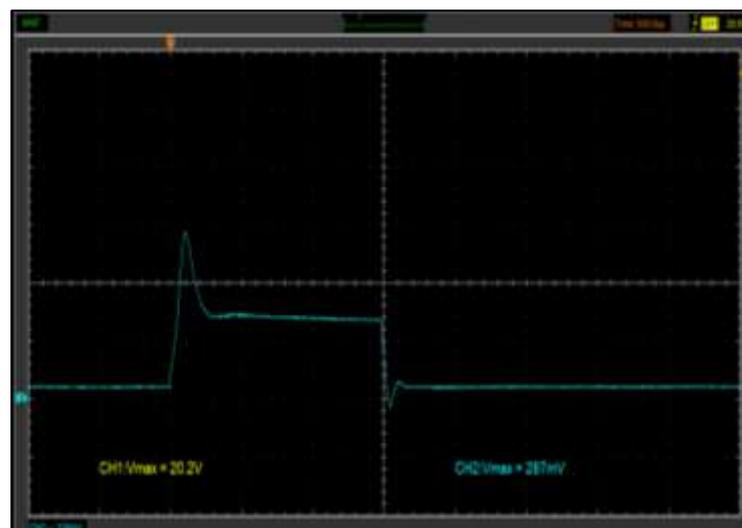


Figura 164 Oscilograma de corriente, tiempo de inyección 1,5 ms del inyector CRDI Bosch 0445110293.

En la figura 164, la curva turquesa indica la corriente necesaria para activar el inyector de 28.7 A, donde se mantiene constante durante el tiempo de disparo, la corriente de activación no varía al cambiar los parámetros de presión o número de inyecciones o STRK.

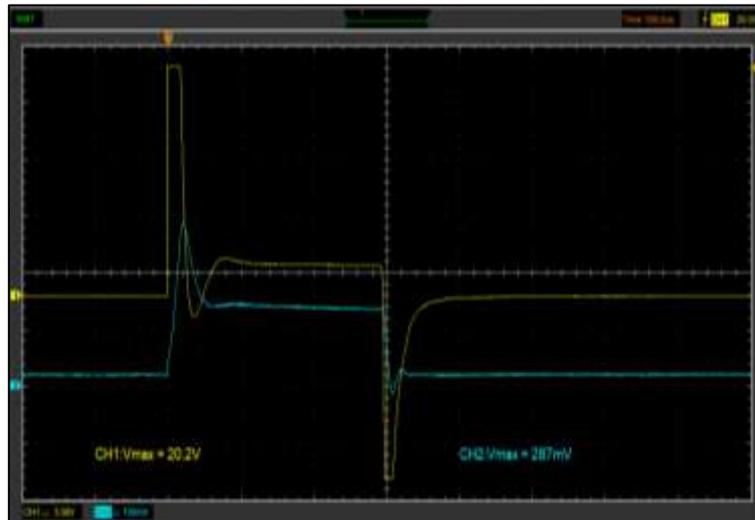


Figura 165 Oscilograma de corriente y voltaje, tiempo de inyección 1,5 ms del inyector CRDI Bosch 0445110293.

En la figura 165 se observa la curva de voltaje y corriente para la activación del inyector, apreciando el pico de voltaje, así como el pico de corriente, para posteriormente descender respectivamente hacia la zona de retención de la inyección y enseguida finalizar con el proceso de inyección e iniciar un nuevo ciclo de inyección.

Oscilogramas de voltaje y corriente, pulso de inyección de 2 ms, inyector inductivo CRDI Bosch 0445110293.

Los oscilogramas de voltaje y corriente se obtuvieron únicamente variando los pulsos de inyección a 2 ms, mientras que al osciloscopio se regula en 500 us para el eje de tiempo y 5 V para el eje de voltaje.

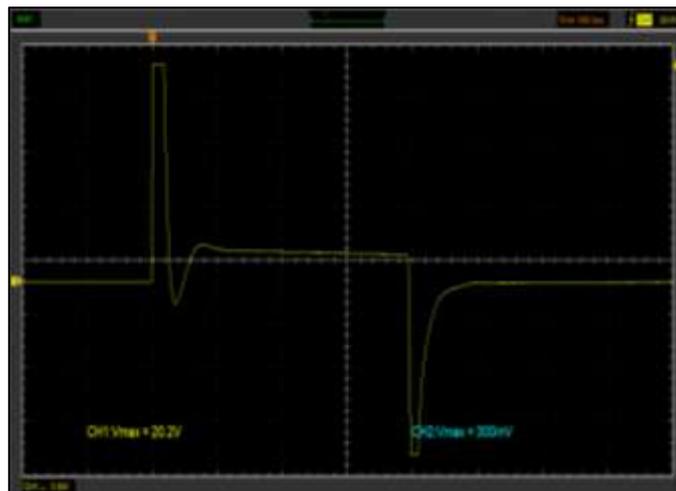


Figura 166 Oscilograma de voltaje, tiempo de inyección 2 ms inyector CRDI Bosch 0445110293.

En la figura 166 la curva amarilla representa el voltaje necesario para activar el inyector de 20.2 voltios en 0,090 mili segundos y un voltaje de retención de 2.9 voltios en un tiempo de 1,910 milisegundos, el voltaje de activación no varía al cambiar los parámetros de presión o número de inyecciones o STRK.



Figura 167 Oscilograma de corriente, tiempo de inyección 2 ms del inyector CRDI Bosch 0445110293.

En la figura 167, la curva turquesa indica la corriente necesaria para activar el inyector de 30 A, donde se mantiene constante durante el tiempo de disparo, la corriente de activación no varía al cambiar los parámetros de presión o número de inyecciones o STRK.



Figura 168 Oscilograma de corriente y voltaje, tiempo de inyección 2 ms del inyector CRDI Bosch 0445110293.

En la figura 168, se observa la curva de voltaje y corriente para la activación del inyector, apreciando el pico de voltaje, así como el pico de corriente, para

posteriormente descender respectivamente hacia la zona de retención de la inyección y enseguida finalizar con el proceso de inyección e iniciar un nuevo ciclo de inyección.

4.7.10. Parámetros del inyector CRDI Bosch 0445110293

Tabla 64

Parámetros del inyector CRDI Bosch 0445110293

Indicador	Ítem	Técnica	Medición	Gráfica
Presión máxima de prueba	Bar	Medición (Tester VNP-3500)	700	 <p>Figura 169 Presión manómetro</p>
Presión mínima de prueba	Bar	Medición (Tester VNP-3500)	300	 <p>Figura 170 Presión manómetro</p>
Número de orificios del inyector	#	Visualización inyector	6	 <p>Figura 171 Orificios inyector</p>

CONTINÚA



Presión de retorno	Bar	Medición (manómetro)	2.2	
				Figura 172 Presión retorno
Ángulo de dispersión	°	Cálculo (Datos obtenidos)	8,94 °	
				Figura 173 Ángulo de dispersión
Ángulo de disparo	°	Cálculo (Datos obtenidos)	18,36 °	
				Figura 174 Ángulo de disparo
Bomba	#	Investigación (especificaciones)	0 445 010 159	
				Figura 175 Bomba
Tobera	#	Investigación (especificaciones)	DLLA150P1666	
				Figura 176 Tobera

4.7.11. Ángulo de pulverización

El inyector CRDI Bosch 0445110293, es un inyector del tipo inductivo empleado en el vehículo Great Wall Gingle 2.8 turbo diésel (ver figura 177).



Figura 177 Inyector CRDI Bosch 0445110293

Para efectuar el cálculo del ángulo de pulverización es indispensable los siguientes pasos.

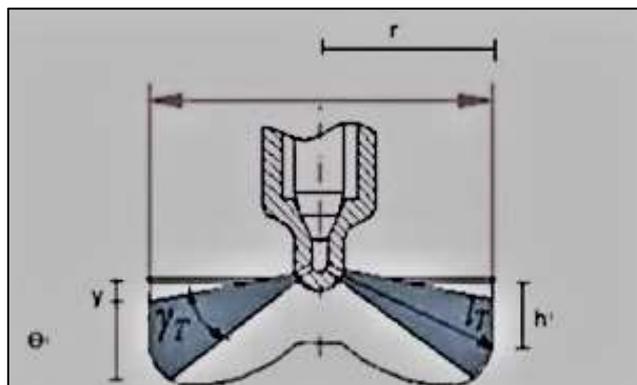


Figura 178 Identificación de las partes del ángulo de pulverización.

Nomenclatura:

- $h = \text{altura}$
- $r = \text{radio del cilindro}$
- $\theta = \text{diámetro del chorro}$
- $I_T = \text{ángulo de disparo}$
- $\gamma_T = \text{ángulo de dispersión}$
- $Y = \text{Diferencia de alturas}$

Para obtener los datos a continuación se efectuó los siguientes pasos.

Tabla 65

Cálculos de los ángulos de pulverización

N°-	Descripción	Gráfica
1	Se procede a medir la distancia del inyector hacia la punta de la tobera desde una referencia establecida, tener en cuenta que distancia ingresa el inyector hacia el cilindro	
2	Se obtuvo el diámetro del cilindro de pulverización, tomar en cuenta el espesor del cilindro.	

Figura 179 Distancia del inyector.

Figura 180 Diámetro del cilindro.

CONTINÚA



-
- 3 Se calculó la medida desde la punta hasta el centro de los orificios de pulverización.



Figura 181 Distancia de la punta a los orificios de pulverización.

- 4 Se trasladó la medida obtenida del inyector hacia el cilindro de pulverización, mediante papel milimetrado de manera que coincidiera la punta del inyector con la marca medida en el papel milimetrado.

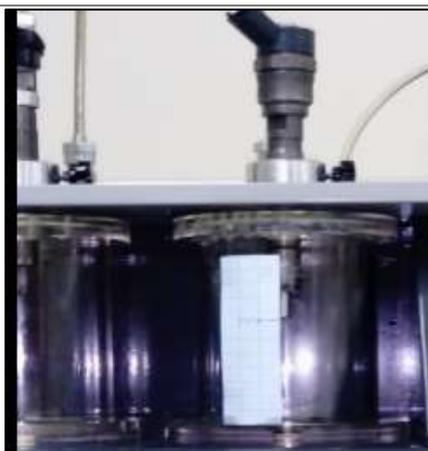


Figura 182 Ubicación de la medida del inyector.

- 5 Medir el diámetro del chorro al aplicar la prueba de pulverización.



Figura 183 Diámetro del chorro.

Con los pasos realizados para la determinación de los ángulos de pulverización se obtuvo los siguientes datos.

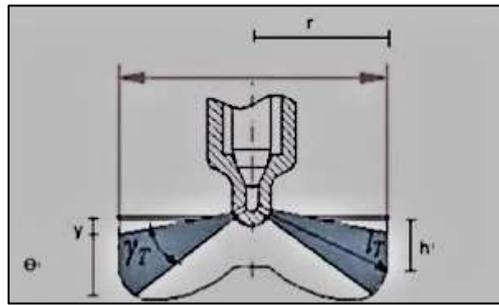


Figura 184 Ángulo de inyección.

- $h = \text{altura} = 11,5\text{mm}$
- $r = \text{radio del cilindro} = 34,60\text{ mm}$
- $\theta = \text{diámetro del chorro} = 6\text{ mm}$
- $I_T = \text{ángulo de disparo}$
- $\gamma T = \text{ángulo de dispersión}$
- $Y = \text{Diferencia de alturas} = 8,5\text{mm}$

Mediante la utilización de la ecuación (1) y (2) ingresando los datos obtenidos se calculó los ángulos de disparo y dispersión.

Ángulo de disparo

$$I_T \quad \alpha = \arctan\left(\frac{11,5\text{mm}}{34,60\text{mm}}\right)$$

$$I_T = 18,36^\circ$$

Ángulo de dispersión

$$\gamma T \quad \beta = \arctan\left(\frac{6\text{mm} + 8,5\text{mm}}{34,60}\right) - \arctan\left(\frac{8,5\text{mm}}{34,60\text{mm}}\right)$$

$$\gamma T \quad \beta = 8,94^\circ$$

Tabla 66**Valores obtenidos del cálculo de ángulo de disparo y dispersión**

Ángulo de disparo	18,36 °
Ángulo de dispersión	8,94 °

4.6.12. Presión de retorno

Para medir la presión de retorno del fluido fue necesario un manómetro y seguir el siguiente procedimiento.

- Conectar la manguera del manómetro en la salida del fluido del retorno del inyector.
- Efectuar los adecuados ajustes para las cañerías y sus acoples del manómetro.
- Poner en funcionamiento el inyector en una de las opciones que dispone el banco Tester VNP-3500.
- Medir el valor que emite el manómetro al momento de efectuar la prueba de caudal de retorno.

En el inyector CRDI Bosch 0445110293 la presión de retorno que se verificó está detallada en la siguiente tabla.

Tabla 67**Presión caudal de retorno**

Marca	Inyector	Medida	Unidades	Gráfica
Bosch	0445110293	2.2	Bar	

Figura 185 Presión de retorno.

CAPÍTULO V

MARCO ADMINISTRATIVO

5.1. Recursos

Para el desarrollo de esta investigación fue necesario la utilización de recursos humanos, físicos, materiales, tecnológicos y financieros que permitieron cumplir con los objetivos planteados en el tema de estudio.

5.1.1. Recursos humanos

Los recursos humanos son de vital importancia para el desarrollo de investigaciones de cualquier índole ya que de estos recursos dependerá el buen desarrollo del tema propuesto, por lo tanto si no hubiese una participación significativa de estos recursos no podría alcanzar los objetivos planteados en la investigación.

Tabla 68

Recursos Humanos

RECURSOS HUMANOS	
ING. Fabián Salazar	Director
Ing. Germán Erazo	Docente
Ing. José Quiroz	Docente
Carlos Cabezas	Investigadores
Damián Freire	

5.1.2. Recursos físicos

Es necesario contar con los espacios físicos adecuados, debido a que el desarrollo de este tipo de investigaciones implicar la utilización de laboratorios adecuados que permitan desarrollar de manera eficaz y eficiente el tema de estudio. Es por ello que la investigación se desarrolla en las instalaciones de la universidad de las Fuerzas Armadas extensión Latacunga campus General Guillermo Rodríguez Lara, específicamente en los laboratorios de Autotrónica.

Tabla 69

Recursos Físicos

Recursos Físicos	
Pruebas de laboratorio	Laboratorio de Autotrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE –L (Campus Belisario Quevedo)
Desarrollo teórico	Biblioteca de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L
	Domicilio de los investigadores.

5.1.3. Recursos materiales

Para el desarrollo de las pruebas de laboratorio fue necesario el uso de materiales técnicos específicos para las funciones requeridas; a más de la utilización de dichos materiales, también se requirió para la realización de la parte teórica y metodológica del proyecto materiales de estudio y suministros extras:

Tabla 70

Recursos materiales

Recursos Materiales	
Pruebas de laboratorio	Compresor de aire de 4 HP
	Batería 9V
	Papel milimetrado
	Waipe
	Calibrador pie de rey
	Equipo de seguridad personal
	Cinta adhesiva
	Herramientas Automotrices
Desarrollo tecnológico	Manuales, libros automotrices
	Hojas de papel
	Esferos
	Libros/ calculadora

5.1.4. Recursos tecnológicos

Para el desarrollo de las pruebas de laboratorio fue necesario el uso de herramientas y equipos específicos los cuales cumplen con funciones específicas; de la misma manera para el desarrollo teórico y metodológico del proyecto es necesario materiales de estudio y suministros extras.

Tabla 71

Recursos Tecnológicos

Recursos Tecnológicos	
Pruebas de laboratorio	Computador
	Pinza amperimétrica Bran Bee
	Multímetro automotriz
	Osciloscopio Hantek 1008c
	Osciloscopio Owon PDS5022T
	Tester VNP – 3500 CRDI
	LCR meter Proskit Tool MT-5211
	Impresora
Desarrollo teórico	Internet
	Computadora

5.1.5. Recursos financieros

Al tratarse de un proyecto de calidad técnica y tecnológica, implica ciertos costos en cuanto a equipos, materiales, instrumentos e implementos, los mismos que son asumidos por parte de los investigadores encargados del proyecto.

El presupuesto económico utilizado se detalla en la siguiente tabla (ver tabla 72):

Tabla 72

Recursos Financieros

Ord	Cant	Detalle	Unitario	Total
1	1000	Impresiones	0.15	150
2	1000	Papel Bond	0.01	10
3	1	Inyector Bosch serie 00 445 110 290	1	438.55
4	1	Inyector Bosch serie 0 445 110 293	1	487.35
5	1	Alquiler de la pinza amperimetrica Brain Bee	100	100
6	1	Alquiler del osciloscopio Hantek	200	200
7	1	Alquiler del osciloscopio Owon	200	200
8	1	Alquiler del Tester VNP – 3500 CRDI	400	400
9	5	Guaípe	1	5
10	1	Juego de herramientas manuales	150	150
11	2	Equipos de seguridad personal	10	20
12	1	Viscor	60	60
13	1	Transporte	150	150
14	1	Gastos extras	150	150
TOTAL GENERAL				\$2520.90

5.2. Análisis de costo del proyecto

EL costo del proyecto es elevado ya que fue necesario la compra de diferentes materiales técnicos y tecnológico necesarios para poder llevar a cabo la investigación, así como también se suman los costos del alquiler de los equipos especializados de medición como son: la pinza amperimétrica, los osciloscopios y el equipo más importante como lo es el Tester VNP – 3500 CRDI.

Análisis de costo-beneficio

Es importante mencionar que, a pesar de los altos costos del proyecto, este será de gran utilidad, siendo un soporte verídico para futuras investigaciones dentro de la universidad o todos aquellos que se sientan identificados con este tipo de estudios, a más de que contribuye con uno de los principales objetivos de la universidad que es el de la investigación e innovación continua.

Por ello es necesario y viable el impulso de este tipo de investigaciones ya que su aporte a la comunidad automotriz es de alto valor, puesto que a través de esta permite dar información verídica y detallada de los parámetros óptimos de funcionamiento de los inyectores marca Bosch para una mejor combustión, ahorro de combustible y con relación al cuidado del medio ambiente contribuye la reducción de las emisiones de gases contaminantes.

CONCLUSIONES

- Se analizó las fuentes bibliográficas, manuales y datos técnicos confiables sobre el sistema CRDI e inyectores Bosch, para el desarrollo del proyecto planteado.
- Se constató la marca y año de los vehículos haciendo uso de este tipo de inyectores marca Bosch.
- Se realizó el protocolo de pruebas para medir los parámetros mecánicos y eléctricos de los inyectores Bosch.
- Se estableció el tiempo de funcionamiento óptimo de los inyectores Bosch mediante la variación de parámetros de tiempo, número de inyecciones y presión.
- Se ejecutaron pruebas mecánicas a los inyectores Bosch, las cuales son: pruebas de caudal y pulverización.
- Se realizaron las pruebas eléctricas correspondientes a los inyectores Bosch las cuales son: de corriente de activación, voltaje de activación, resistencia de la bobina e inductancia.
- Se tabuló los resultados obtenidos generando una base de datos de las variaciones de los tiempos de activación y de retención, así como de los voltajes respectivamente comparando los parámetros medidos
- Se estableció que para cada prueba efectuada al inyector Bosch 0445110126, el caudal de inyección es directamente proporcional al número de inyecciones o STRK, presión y tiempo de inyección con un valor máximo de 80.3 mm^3 a 2ms de tiempo de inyección, 990 STRK y 700 bar de presión.
- Se comprobó que para cada prueba efectuada al inyector 0445110126, el caudal de retorno es directamente proporcional al número de inyecciones o

STRK, presión y tiempo de inyección con un valor máximo de 20.5 mm^3 a 1.5 ms de tiempo de inyección, 990 STRK y 700 bar de presión.

- Se determinó que para cada prueba efectuada al inyector 0445110126 variando el número de inyecciones, tiempo de inyección y presión, se aprecia un valor máximo de corriente de activación de 32.1 A y un mínimo de 25.3 A.
- Se estableció que las pruebas eléctricas efectuada al inyector 0445110126 variando el número de inyecciones, tiempo de inyección y presión, el valor promedio de voltaje de activación es de 20.5 V.
- Se comprobó que las pruebas eléctricas efectuada al inyector 0445110126 variando el número de inyecciones, tiempo de inyección y presión, el valor promedio de voltaje de retención es de 3.78 V.
- Se determinó que las pruebas eléctricas efectuada al inyector 0445110126 variando el número de inyecciones, tiempo de inyección y presión, el valor de la resistencia e inductancia para el adecuado funcionamiento de la bobina emite un valor de 0.5Ω y $164 \mu\text{H}$ respectivamente dichos valores son constantes en los distintos parámetros de prueba.
- Se concluyó que en el inyector Bosch 0445110126 a diferentes parámetros de prueba, el tiempo de inyección es directamente proporcional al tiempo de retención, además que el tiempo de disparo se mantiene constante con un valor de $0,090 \text{ ms}$.
- Se determinó que para cada prueba efectuada al inyector 0445110293, el caudal de inyección es directamente proporcional al número de inyecciones o STRK, presión y tiempo de inyección con un valor máximo de 86.1 mm^3 a 2 ms de tiempo de inyección, 990 STRK y 700 bar de presión.
- Se comprobó que para cada prueba efectuada al inyector 04451101293, el caudal de retorno es directamente proporcional al número de inyecciones o

STRK, presión y tiempo de inyección con un valor máximo de 22.7 mm^3 a 2ms de tiempo de inyección, 990 STRK y 700 bar de presión.

- Se estableció que para cada prueba efectuada al inyector 0445110293 variando el número de inyecciones, tiempo de inyección y presión, se aprecia un valor máximo de corriente de activación de 33.6 A y un mínimo de 26.5 A.
- Se determinó que las pruebas eléctricas efectuada al inyector 0445110293 variando el número de inyecciones, tiempo de inyección y presión, el valor promedio de voltaje de activación es de 20.384 V.
- Se estableció que las pruebas eléctricas efectuada al inyector 0445110293 variando el número de inyecciones, tiempo de inyección y presión, el valor promedio de voltaje de retención es de 2.504 V.
- Se comprobó que las pruebas eléctricas efectuada al inyector 0445110293 variando el número de inyecciones, tiempo de inyección y presión, el valor de la resistencia e inductancia para el adecuado funcionamiento de la bobina emite un valor de 0.5Ω y $228 \mu\text{H}$ respectivamente dichos valores son constantes en los distintos parámetros de prueba.
- Se concluyó que en el inyector Bosch 0445110293 a diferentes parámetros de prueba, el tiempo de inyección es directamente proporcional al tiempo de retención, además que el tiempo de disparo se mantiene constante con un valor de 0,090 ms.

RECOMENDACIONES

- Es necesario realizar futuras investigaciones con variación de parámetros como número de inyecciones, tiempo de inyección y presiones esta última en intervalos de 100 hasta 900 bares de presión con la finalidad de obtener mayor base de datos e información a diferentes rangos establecidos.
- Obtener el ángulo de pulverización mediante imágenes sucesivas obteniendo un patrón específico para cada inyector y conocer la dimensión del chorro de inyección.
- Es recomendable efectuar investigaciones en inyectores piezo-eléctricos generando una base datos para este tipo de inyectores ya que en la actualidad no existe información de dichos inyectores.
- Es importante para la realización de las pruebas en el TESTER VNP – 3500 CRDI que los inyectores sean adquiridos totalmente nuevos para obtener datos de valores o parámetros precisos, ya que en caso de que los inyectores sean remanufacturados ocasionará que los parámetros oscilen significativamente.
- Es necesario el uso de equipo de seguridad personal para evitar cualquier tipo de percance, que pueda resultar perjudicial para la integridad de los operadores de la máquina y equipos al momento de la realización de las pruebas dentro del laboratorio.
- Los racores deben ser colocados y ajustados con precisión previamente a la realización de las pruebas y de esta manera evitar cualquier tipo de fuga de combustible, ya que esto podría ocasionar daños en el circuito electrónico dentro del circuito electrónico del TESTER VNP – 3500 CRDI.
- Es aconsejable no encender el banco de pruebas si los inyectores no están instalados con anterioridad, ya que esto podría ocasionar algún tipo de accidente puesto que la maquina trabaja con altas presiones.

- Una vez que se ha finalizado las pruebas y antes de retirar los inyectores es necesario purgar el sistema de presión al girar la válvula de presión en sentido anti horario, misma que se encuentra ubicada al costado derecho de la máquina y así proceder a desmontar los inyectores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arrègle, J. (1997). Análisis de la estructura y dinámica interna de chorros Diesel, Tesis Doctoral, E.T.S. Ingenieros Industriales. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Barros, L., & Pulla, C. (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: Escuela Politécnica Nacional.
- Bosch. (6 de Septiembre de 2015). Catálogo Toberas Bosch y Zexcel. Recuperado 23 de Octubre del 2017 de: file:///C:/Users/ADMIN/Downloads/Catalogo_Toberas_2015.pdf
- Bosch. (2 de Septiembre de 2017). La expansión del Diesel en el mercado automotriz y el desempeño de los inyectores Bosch. Recuperado 23 de Octubre del 2017 de: file:///C:/Users/ADMIN/Downloads/BAP_Technical_Resources%252FDiesel%252FFolleto%20Inyectores%20Diesel%202013%20(LR).pdf
- Bosch, R. (2002). Los sensores en el automóvil. Barcelona: Reverté.
- Bosch, R. (2002). Regulación electrónica Diésel (EDC). Alemania: Bosch.
- Bosch, R. (2005). Manual de la Técnica del Automóvil. Alemania: BOSCH.
- Bosch, R. (2005). Sistemas de inyección Diesel por acumulador Common Rail. Alemania.
- Casanova, J. (2014). Diseño e implementación de instrumental para un procedimiento de diagnóstico y reparación en Taller de Sistemas CRDI Bosch CP1 y CP3 aplicados a la línea KIA (Bachelor's thesis, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Extensión Latacunga). Latacunga.
- Castillejo, A. (2014). Sistemas de Inyección en Motores Diesel Universidad de Sevilla. Sevilla, España.
- Castro, J., & Salazar, M. (2015). Análisis del desempeño de motores CRDI (Common rail diésel injection) a través de formas de onda procesadas por osciloscopio. Doctoral dissertation.
- Cobo, G. (2009). Analisis de Averias en componentes diesel CRDI. Azuay.
- Coral, F. (2013). Diseño e implementacion de un banco de pruebas de inyectores de vehículos a diesel CRDI para la Escuela de Ingeniería Automotriz. Riobamba.

- Dohle, U., Kampmann, S., Hammer, J., Wintrich, T., & Hinrichsen, C. (2004). Advanced Diesel Common Rail Systems for Future Emission Legislation. In International Conference on Automotive Technologies-ICAT).
- Electronics., C. (2010). Gestión electrónica en motores diesel. Sistemas common rail, 12-33.
- Garzón, R., & Ramírez, J. (2013). Diseño y simulación de banco de pruebas de inyectores diesel para vehículos de carga pesada. Bogotá: Universidad de San Buenaventura.
- Joaquín, B. (2010). Manual técnicas de mantenimiento sistemas common rail.
- Kia Motors. (2012). Sistema de control del motor diesel 2. Technical Service Training Center.
- Payri, R., Climent, H., Salvador, F., & Favennec, A. (2004). Diesel injection system modelling. methodology and application for a first-generation common rail system (Vol. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineering Vol. 218 Part D).
- Payri, R., Tormos, B., Salvador, F., & Plazas, A. (2005). Using onedimensional modelling to analyse the influence of diesel nozzle geometry in the injection rate characteristics (Vols. International Journal of Vehicle Designed, n°- 1).
- Salvador, F. (2003). Estudio teórico experimental de la influencia de la geometría de toberas de inyección diesel sobre las características del flujo interno y del chorro Doctoral, E.T.S. Ingenieros Industriales. Valencia: Universidad Politécnica.
- Smith, W., & Hashemi, J. (2006). Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales. México D.F.: McGraw-Hill.

ANEXOS



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

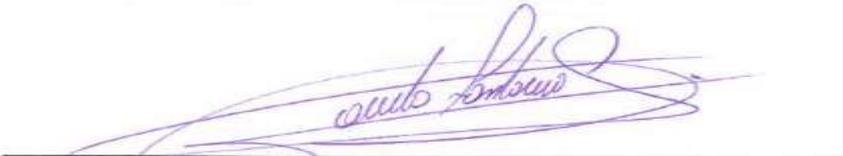
CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los Señores: **CARLOS AMILCAR CABEZAS BEJARANO Y EDWIN DAMIÁN FREIRE POVEDA**

En la ciudad de Latacunga, a los **21 días del mes de febrero del 2018.**


Ing. Fabián Salazar

DIRECTOR PROYECTO


Ing. Danilo Zambrano

DIRECTOR CARRERA

Aprobado por:


Dr. Freddy Jaramila

SECRETARIO ACADÉMICO

