



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO

AUTOMOTRIZ

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ**

**TEMA: INTERPRETACIÓN DE LOS NIVELES DE OPACIDAD
GENERADOS POR FALLAS EN LA VÁLVULA DOSIFICADORA E
INYECTORES EN MOTORES DIÉSEL ELECTRÓNICOS.**

AUTORES:

INLAGO PERUGACHI FRANKLIN PAUL

VINUEZA IBADANGO EDWIN XAVIER

DIRECTOR: ING. CARLOS NOLASCO MAFLA YÉPEZ MSc

Ibarra, Diciembre 2022

CERTIFICADO

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

En mi calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es "INTERPRETACIÓN DE LOS NIVELES DE OPACIDAD GENERADOS POR FALLAS EN LA VÁLVULA DOSIFICADORA E INYECTORES EN MOTORES DIÉSEL ELECTRÓNICOS". presentado por el señor: Inlago Perugachi Franklin Paul con número de cédula 1727690826 doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 19 días del mes diciembre de 2022.

Atentamente,



Ing. MAFLA YÉPEZ CALOS NOLASCO, MSc
DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO

CERTIFICADO

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

En mi calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es "INTERPRETACIÓN DE LOS NIVELES DE OPACIDAD GENERADOS POR FALLAS EN LA VÁLVULA DOSIFICADORA E INYECTORES EN MOTORES DIÉSEL ELECTRÓNICOS", presentado por el señor: Vinueza Ibadango Edwin Xavier con número de cédula 1004016380 doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 19 días del mes diciembre de 2022.

Atentamente,



Ing. MAFLA YÉPEZ CALOS NOLASCO, MSc
DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA IDENTIDAD:	DE	1727690826	
APELLIDOS NOMBRES:	Y	Inlago Perugachi Franklin Paul	
DIRECCIÓN:		Tupigachi – Cajas	
EMAIL:		fpinlago@utn.edu.ec	
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0993806041

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA IDENTIDAD:	DE	1004016380	
APELLIDOS NOMBRES:	Y	Vinueza Ibadango Edwin Xavier	
DIRECCIÓN:		Natabuela – Antonio Ante	
EMAIL:		exvinuezai@utn.edu.ec	
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0993452986

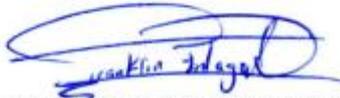
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“INTERPRETACIÓN DE LOS NIVELES DE OPACIDAD GENERADOS POR FALLAS EN LA VÁLVULA DOSIFICADORA E INYECTORES EN MOTORES DIÉSEL ELECTRÓNICOS.”
AUTOR (ES):	Inlago Perugachi Franklin Paul Vinueza Ibadango Edwin Xavier
FECHA: DD/MM/AAAA	19/12/2022
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Carlos Nolasco Mafla Yépez, MSc

2. CONSTANCIAS

Los autores manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo, sin violar derechos del autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 19 días del mes de diciembre de 2022

LOS AUTORES:



INLAGO PERUGACHI FRANKLIN PAUL
1727690826



VINUEZA IBADANGO EDWIN XAVIER
1004016380

DEDICATORIA

Primero agradecer a dios por brindarme salud, vida y la oportunidad de culminar una etapa más durante mi trayectoria de formación profesional, estoy eternamente agradecido por darme el suficiente valor, perseverancia, fortaleza para levantarme en cada mañana y seguir luchando por todos los sueños y metas por conseguir.

Agradezco a mi querida madre Delia Perugachi quien fue el pilar fundamental para lograr mi formación profesional y también a mi padre José Inlago quien con su trabajo y sacrificio me han hecho realidad este objetivo gracias a sus consejos me han formado un hombre de bien, siempre ocuparan un espacio en mi corazón me siento muy feliz por cumplirles este sueño tan anhelado pese a muchas dificultades siempre me apoyaron.

A mi hermana Johana Inlago le dedico en estas líneas gracias por su, cariño, amor y consejos para lograr este objetivo en mi vida.

Franklin Paul Inlago Perugachi

DEDICATORIA

El presente trabajo de grado se lo dedico con mucho cariño a mis padres Arturo Vinueza y Carmen Ibadango, pues sin su apoyo incondicional y sus consejos no lo hubiese logrado. Gracias por ser un pilar fundamental en mi formación personal y académica ya que con su amor y sacrificio me enseñaron a seguir adelante hasta lograr mis objetivos a pesar de las adversidades.

A mis hermanos Andrés, William, Alvaro, Lizbeth y Nayeli quienes forman parte fundamental en mis logros. Gracias por todo el apoyo brindado día a día, por brindarme su cariño y darme ánimos para seguir siempre adelante.

Edwin Xavier Vinueza Ibadango

AGRADECIMIENTO

Agradecimiento a la Universidad Técnica del Norte, por permitirme formarme en sus aulas como profesional al cuerpo de docentes de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, quienes me impartieron sus enseñanzas transmitiendo sus conocimientos en las aulas.

A mis padres por haberme formado un hombre con valores y a mi hermana por brindarme siempre su voz de aliento para alcanzar cada uno de mis objetivos.

Agradezco a nuestro director de tesis Ing. Carlos Mafla Msc. quien nos ayudó con las correcciones para culminar el presente trabajo de grado.

Un grato agradecimiento a mi compañero de tesis Xavier Vinueza por su amistad durante toda la trayectoria en nuestra formación profesional y su buena voluntad de esfuerzo y trabajo en equipo fue posible salir adelante con el trabajo de grado.

Franklin Paul Inlago Perugachi

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y a mi Virgencita del Quinche por guiar mi camino a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme sabiduría para poder alcanzar mis objetivos.

A mis padres por apoyarme en todo momento, por motivarme a seguir adelante y por los valores que me han inculcado para poder ser una persona de bien, y por todo su esfuerzo y dedicación en el transcurso de mi vida.

Un enorme agradecimiento a la Universidad Técnica del Norte por haberme permitido ser parte de tan noble institución y formarme como profesional en sus aulas.

A la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, por permitirme ser parte de esta gran familia, en especial a sus docentes por compartir sus conocimientos y experiencias a lo largo de todos estos años.

Como no agradecer a mi director de tesis el Ing. Carlos Mafla Msc., por ser un excelente docente y por tener toda la predisposición para guiarme durante la realización de esta tesis. Al Ing. Erik Hernández Msc., por ser nuestro asesor y contribuir en todo este trabajo compartiendo sus conocimientos.

A mis amigos quienes me brindaron su gran amistad durante toda mi formación profesional, donde juntos compartimos momentos difíciles, alegres y tristes.

Finalmente quiero agradecer a mi compañero de tesis Paul Inlago por todo el apoyo brindando en la realización de este trabajo de grado y durante todos estos años como compañero y amigo con quien compartimos muchas experiencias.

Edwin Xavier Vinueza Ibadango

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	xix
ABSTRACT	xx
INTRODUCCIÓN.....	xxi
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1 OBJETIVOS	1
1.1.1 Objetivo general.....	1
1.1.2 Objetivos específicos.....	1
1.2 ANTECEDENTES	1
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.4 JUSTIFICACIÓN	3
1.5 ALCANCE.....	4
1.6 MOTORES ELECTRÓNICOS DIÉSEL.....	5
1.6.1 Características del motor diésel.....	5
1.6.2 Funcionamiento del motor diésel	7
1.6.3 Ciclos de funcionamiento del motor diésel de 4 tiempos.....	7
1.6.3.1 Admisión	7
1.6.3.2 Compresión.....	7
1.6.3.3 Combustión.....	8
1.6.3.4 Escape.....	8
1.7 CLASIFICACIÓN DE LOS MOTORES DIÉSEL DE ACUERDO AL TIPO DE INYECCIÓN	9
1.7.1 Motores diésel de inyección directa	9
1.7.2 Motores diésel de inyección indirecta.....	9
1.8 SISTEMA DE INYECCIÓN DIÉSEL COMMON-RAIL	10
1.8.1 Inicio de la inyección en el sistema Common Rail	11
1.8.2 Componentes del sistema de inyección.....	12
1.8.2.1 Depósito del combustible	12
1.8.2.2 Filtro de combustible	12
1.8.2.3 Bomba de inyección de alta presión	13
1.8.2.4 Válvula dosificadora de combustible	14
1.8.2.5 Tuberías del circuito de alta presión.....	16

1.8.2.6 Common Rail.....	17
1.8.2.7 Inyector del motor diésel electrónico	18
1.9 OPACIDAD EN LOS VEHÍCULOS	20
1.9.1 Opacidad de gases de escape.....	21
1.9.2 Pruebas de opacidad	21
1.9.3 Normativa técnica para emisiones en el Ecuador.....	22
1.9.4 Límites de opacidad máximos en el Ecuador	23
1.9.5 Normativa EURO para el control de emisiones	24
1.10 FORMACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES	24
1.10.1 Gases contaminantes producidos por motores diésel.....	25
1.11 EQUIPOS DE MEDIDA DE OPACIDAD	26
1.11.1 Opacómetro	26
1.11.2 Principio de funcionamiento del opacómetro	27
1.11.3 Equipo de comprobación Bosch FSA 740	27
2 MATERIALES Y MÉTODOS	29
2.1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	29
2.1.1 Enfoque investigativo.....	29
2.1.2 Tipo de investigación	29
2.1.2.1 Documental.....	29
2.1.2.2 Tecnológica	30
2.1.2.3 Experimental.....	30
2.1.2.4 Analítico	30
2.2 MATERIALES Y EQUIPOS	30
2.2.2 Equipos y Herramientas	30
2.2.2.1 Motor diésel CRDi Mazda BT50	31
2.2.2.2 Equipo FSA 740	32
2.2.2.3 FSA 720 - Módulo de medición portátil.....	33
2.2.2.4 KTS 560.....	34
2.2.2.5 Analizador de emisiones BEA 070.....	35
2.2.2.6 Opacómetro Brain Bee OPA-100.....	36
2.2.2.7 Probador y simulador de presión Common Rail GT-508.....	37
2.2.2.8 Multímetro automotriz.....	38
2.3 PROCESOS METODOLÓGICOS	40

2.3.1 Selección del vehículo.....	41
2.3.2 Identificación de los actuadores seleccionados (Válvula dosificadora de combustible e inyectores).....	42
2.3.3 Obtención de señales de los actuadores seleccionados previo a la obtención de señales de fallas.....	43
2.3.4 Medición de los niveles de opacidad con el motor en buen estado.....	44
2.3.5 Obtención de señales de falla en la válvula dosificadora de combustible	45
2.3.6 Toma de señales de fallas con el equipo Bosch FSA 740.....	47
2.3.7 Medición de los niveles de opacidad con fallas en la válvula dosificadora de combustible	47
2.3.8 Obtención de señales de falla en los inyectores	49
2.3.9 Toma de señales de falla con el equipo Bosch FSA 740	50
2.3.10 Medición de los niveles de opacidad con fallas en los inyectores	51
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	53
3.1 Identificación de actuadores seleccionados	53
3.2 Obtención de señales de los actuadores	54
3.2.1 Señales de la válvula dosificadora de combustible	54
3.2.2 Señales de los inyectores.....	57
3.2.2.1 Señal del inyector 1	58
3.2.2.2 Señal del inyector 2	60
3.2.2.3 Señal del inyector 3	62
3.2.2.4 Señal del inyector 4	64
3.3 Medición de los niveles de opacidad con el motor en buen estado	67
3.4 Obtención de señales de falla en la válvula dosificadora de combustible	70
3.5 Medición de los niveles de opacidad con fallas en la válvula dosificadora de combustible.....	76
3.6 Obtención de señales de falla en los inyectores.....	78
3.6.1 Prueba de retorno de combustible de inyectores diésel.....	78
3.6.2 Señales de los inyectores con fallas	81
3.6.2.1 Señal del inyector 1 con falla	81
3.6.2.2 Señal del inyector 2 con falla	84
3.6.2.3 Señal del inyector 3 con falla	88
3.6.2.4 Señal del inyector 4 con falla	92

3.7 Medición de los niveles de opacidad con fallas en los inyectores.....	96
3.7.1 Niveles de opacidad con inyectores defectuosos sin simulación de falla	96
3.7.2 Niveles de opacidad con inyectores defectuosos con simulación de falla	99
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	103
4.1 Conclusiones.....	103
4.2 Recomendaciones	105
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107
ANEXOS	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Partes del motor electrónico diésel de cuatro tiempos	5
Figura 1.2 Esquema de las características de las partes de un motor diésel.....	6
Figura 1.3 Desarrollo del ciclo de cuatro tiempos en un motor diésel	8
Figura 1.4 Sistema Common Rail.....	10
Figura 1.5 Circuito del sistema de inyección Common Rail.....	11
Figura 1.6 Filtro de combustible	13
Figura 1.7 Partes de la bomba de alta presión	14
Figura 1.8 Válvula dosificadora de combustible	15
Figura 1.9 Principio de funcionamiento de la válvula dosificadora de combustible.....	16
Figura 1.10 Tuberías del circuito de alta presión	17
Figura 1.11 Acumulador de presión (Common Rail).....	17
Figura 1.12 Partes de un inyector electrónico Common Rail.....	18
Figura 1.13 Esquema de funcionamiento de un inyector con electroválvula.....	20
Figura 1.14 Composición de gases contaminantes diésel	26
Figura 1.15 Equipo de diagnóstico Bosch FSA 740.....	28
Figura 2.1 Motor diésel CRDI Mazda BT50.....	31
Figura 2.2 Equipo FSA 740.....	32
Figura 2.3 FSA 720 – Módulo de medición portátil	33
Figura 2.4 KTS 560	35
Figura 2.5 Analizador de emisiones BEA 070	36
Figura 2.6 Opacímetro Brain Bee OPA-100	37
Figura 2.7 Probador y simulador de presión Common Rail GT-508	38
Figura 2.8 Multímetro automotriz	39
Figura 2.7 Flujograma de proceso metodológico	41
Figura 2.8 Banco de pruebas del motor diésel	42
Figura 2.9 Ubicación de la válvula dosificadora de combustible.....	42
Figura 2.10 Ubicación de los inyectores	43
Figura 2.11 Conexión de las agujas en los terminales de la válvula dosificadora	43
Figura 2.12 Conexión de agujas de medición y la pinza amperimétrica en un inyector	44
Figura 2.13 Equipo de medición de emisiones BEA 070.....	44
Figura 2.14 Conexión de pinzas para medir las rpm	45

Figura 2.15 Resistencia de 003,5 ohmios	46
Figura 2.16 Conexión de resistencia de 003.5 ohmios en la válvula dosificadora de combustible.....	46
Figura 2.17 Selección de la opción osciloscopio universal para obtener oscilogramas .	47
Figura 2.18 Conexiones del opacímetro	48
Figura 2.19 Condiciones para empezar a realizar la medición de la opacidad.....	48
Figura 2.20 Reemplazo de inyector en buen estado	49
Figura 2.1 Conexión para la prueba de retorno de combustible en inyectores diésel	49
Figura 2.22 Simulación de señal de falla en inyectores Common Rail.....	50
Figura 2.23 Obtención de señales de falla en inyectores con el equipo FSA 740.....	51
Figura 2.24 Instalación del medidor de opacidad en el tubo de escape.....	52
Figura 3.1 Cables de la válvula dosificadora de combustible	53
Figura 3.2 Inyectores diésel electrónicos bobinados	54
Figura 3.4 Oscilograma válvula dosificadora de combustible ralentí	56
Figura 3.5 Oscilograma de la válvula dosificadora de combustible a 2 500 rpm.....	57
Figura 3.6 Oscilograma del inyector 1 a ralentí	58
Figura 3.7 Oscilograma del inyector 1 a 2000 rpm	59
Figura 3.8 Oscilograma del inyector 2 a ralentí	60
Figura 3.9 Oscilograma del inyector 2 a 2000 rpm	61
Figura 3.10 Oscilograma del inyector 3 a ralentí	63
Figura 3.11 Oscilograma del inyector 3 a 2000 rpm	63
Figura 3.12 Oscilograma del inyector 4 a ralentí	65
Figura 3.13 Oscilograma del inyector 4 a 2000 rpm	66
Figura 3.14 Niveles de opacidad a 2000 rpm con el motor en buen estado	67
Figura 3.15 Oscilograma del nivel más alto de opacidad obtenido a 2000 rpm con el motor en buen estado.....	68
Figura 3.16 Niveles de opacidad a 2500 rpm con el motor en buen estado	69
Figura 3.17 Oscilograma del nivel de opacidad a 2500 rpm con el motor en buen estado	69
Figura 3.18 Comparación de oscilogramas de la válvula dosificadora de combustible normal y con una resistencia de 003,5 ohmios en contacto	71
Figura 3.19 Comparación de oscilogramas de la válvula dosificadora de combustible normal y con resistencia de 003,5 ohmios a ralentí.....	73

Figura 3.20 Comparación de oscilogramas de la válvula dosificadora de combustible normal y con resistencia de 003,5 ohmios a 2500 rpm	75
Figura 3.21 Niveles de opacidad a 2500 rpm con la válvula dosificadora de combustible normal.....	76
Figura 3.22 Niveles de opacidad a 2500 rpm con falla en la válvula dosificadora de combustible.....	77
Figura 3.23 Prueba de retorno de combustible con inyectores diésel defectuosos	79
Figura 3.24 Prueba de retorno de combustible con variación de la presión de combustible en el riel con una presión de 61,70 MPa.....	80
Figura 3.25 Comparación entre oscilogramas a ralentí del inyector 1 en condición normal y cuando tiene una elevación de presión del combustible en los inyectores.....	82
Figura 3.26 Comparación entre oscilogramas del inyector 1 a 2000 rpm en condición normal y cuando tiene una elevación de presión del combustible en los inyectores.....	84
Figura 3.27 Comparación entre oscilogramas a ralentí del inyector 2 en condición normal y cuando tiene una elevación de presión del combustible en los inyectores.....	86
Figura 3.28 Comparación entre oscilogramas a 2000 rpm del inyector 2 en condición normal y cuando tiene una elevación de presión del combustible en los inyectores.....	87
Figura 3.29 Comparación entre oscilogramas a ralentí del inyector 3 en condición normal y cuando tiene una elevación de presión del combustible en los inyectores.....	89
Figura 3.30 Comparación entre oscilogramas a 2000 rpm del inyector 3 en condición normal y cuando tiene una elevación de presión del combustible en los inyectores.....	91
Figura 3.31 Comparación entre oscilogramas a ralentí del inyector 4 en condición normal y cuando tiene una elevación de presión del combustible en los inyectores.....	93
Figura 3.32 Comparación entre oscilogramas a 2000 rpm del inyector 4 en condición normal y cuando tiene una elevación de presión del combustible en los inyectores.....	95
Figura 3.33 Niveles de opacidad a 2500 rpm con inyectores defectuosos	97
Figura 3.34 Comparación de niveles de opacidad a 2500 rpm con inyectores en condiciones normales y defectuosos.....	98
Figura 3.35 Oscilograma de opacidad a 2500 rpm con inyectores defectuosos.....	98
Figura 3.36 Medición de opacidad a 2500 rpm con el equipo Brain Bee OPA-100....	100
Figura 3.37 Niveles de opacidad a 2500 rpm con inyectores defectuosos y simulación de falla adicional	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Límites máximos de emisiones para fuentes móviles con motor diésel.....	23
Tabla 1.2 Límites máximos de opacidad para fuentes móviles con motor diésel.	24
Tabla 2.1 Equipos y herramientas.	31
Tabla 2.2 Especificaciones técnicas del motor.	32
Tabla 2.3 Especificaciones técnicas del equipo FSA 740.	33
Tabla 2.4 Especificaciones técnicas del FSA 720 – Módulo de medición portátil.	34
Tabla 2.5 Especificaciones técnicas de la fuente de alimentación KTS 560.....	35
Tabla 2.6 Especificaciones técnicas del analizador de emisiones BEA 070.....	36
Tabla 2.7 Especificaciones técnicas del opacímetro Brain Bee OPA-100.....	37
Tabla 2.8 Especificaciones técnicas del equipo GT-508.....	38
Tabla 2.9 Especificaciones técnicas del multímetro automotriz.	39
Tabla 3.1 Cuadro comparativo de valores de la válvula dosificadora de combustible. .	57
Tabla 3.2 Cuadro de datos del inyector 1.	59
Tabla 3.3 Cuadro de datos del inyector 2.	61
Tabla 3.4 Cuadro de datos del inyector 3.	64
Tabla 3.5 Cuadro de datos del inyector 4.	66
Tabla 3.6 Cuadro comparativo de los niveles de opacidad a 2000 y 2500 rpm con el motor en buen estado.....	70
Tabla 3.7 Cuadro comparativo de datos de la válvula dosificadora de combustible en contacto en condición normal y con un incremento de resistencia de 003,5 ohmios.....	72
Tabla 3.8 Cuadro comparativo de datos de la válvula dosificadora de combustible a ralentí en condición normal y con un incremento de resistencia de 003,5 ohmios.	74
Tabla 3.9 Cuadro comparativo de datos de la válvula dosificadora de combustible a 2500 rpm en condición normal y con incremento de resistencia de 003,5 ohmios.....	75
Tabla 3.10 Cuadro comparativo de los niveles de opacidad a 2500 rpm cuando la válvula se encuentra en buen estado y cuando presenta fallas.	78
Tabla 3.11 Parámetros obtenidos en prueba de retorno de combustible en inyectores defectuosos.	80
Tabla 3.12 Cuadro comparativo de datos del inyector 1 a ralentí en condición normal y cuando tiene una elevación de presión del combustible en los inyectores.....	82

Tabla 3.13 Cuadro comparativo de datos del inyector 1 a 2000 rpm en condición normal y cuando tiene una elevación de presión del combustible en los inyectores.	84
Tabla 3.14 Cuadro comparativo de datos del inyector 2 a ralentí en condición normal y cuando tiene una elevación de presión del combustible en los inyectores.	86
Tabla 3.15 Cuadro comparativo de datos del inyector 2 a 2000 rpm en condición normal y cuando tiene una elevación de presión del combustible en los inyectores.	88
Tabla 3.16 Cuadro comparativo de datos del inyector 3 a ralentí en condición normal y cuando tiene una elevación de presión del combustible en los inyectores.	90
Tabla 3.17 Cuadro comparativo de datos del inyector 3 a 2000 rpm en condición normal y cuando tiene una elevación de presión del combustible en los inyectores.	92
Tabla 3.18 Cuadro comparativo de datos del inyector 4 a ralentí en condición normal y cuando tiene una elevación de presión del combustible en los inyectores.	94
Tabla 3.19 Cuadro comparativo de datos del inyector 4 a 2000 rpm en condición normal y cuando tiene una elevación de presión del combustible en los inyectores.	96
Tabla 3.20 Cuadro comparativo de los niveles de opacidad a 2500 rpm con inyectores defectuosos	99
Tabla 3.21 Cuadro comparativo de los niveles de opacidad a 2500 rpm con inyectores buenos, defectuosos y simulado una falla adicional.	101

RESUMEN

En el presente tema de estudio se realizó la simulación de señales de falla en la válvula dosificadora de combustible e inyectores para comprobar que efectos causan en los niveles de opacidad emitidos al medio ambiente cuando existen fallas de funcionamiento en los actuadores mencionados. Para obtener la señal de falla en la válvula dosificadora se instaló una resistencia de 003,5 ohmios en el cable que conduce la señal de PWM, mientras para la obtención de las señales de fallas en los inyectores se modificó la presión de combustible en el riel con la ayuda del equipo Common Rail GT-508, aumentando la presión del combustible de 38,70 MPa a 61,70 MPa (Mega Pascales) y con ayuda del opacímetro OPA-100 se obtuvo los niveles de opacidad con el motor en buen estado de funcionamiento y con la simulación de señales fallas en los actuadores mencionados. Como resultados en la válvula dosificadora de combustible en condición normal se obtuvo un promedio de 5,4% de opacidad y en condición de falla un valor de 4,9%, evidenciando una disminución de 0,5% debido a que, con la falla simulada la válvula se mantiene más tiempo abierta, originando que gran cantidad del combustible retorne al depósito y causando que exista menos combustible en el Common Rail, por lo que se da la disminución de opacidad, además de que la resistencia de 003,5 ohmios se desgasta y el motor no permanece encendido por más de 3 minutos. En la prueba de opacidad con los inyectores en condición normal, se obtuvo un valor promedio de 6,0% de opacidad, a diferencia del momento cuando se da una falla en los inyectores, donde el nivel de opacidad se incrementó a 9,5%, existiendo un aumento de 3,5% debido al incremento de la presión del combustible en el Common Rail, causando un mayor consumo de combustible y aumentando así las emisiones contaminantes.

ABSTRACT

In the present topic of study was carried out the simulation of failure signals in the fuel metering valve and injectors to verify the effects they cause in the opacity levels emitted to the environment when there are malfunctions in the aforementioned actuators. In order to obtain the metering valve failure signal, a 003.5-ohm resistor was installed in the cable that conducts the PWM signal, while to obtain the injector failure signals, the fuel pressure on the rail was modified by using the Common Rail GT-508 equipment, increasing the fuel pressure from 38.70 MPa to 61.70 MPa (Mega Pascals) and with the help of the OPA-100 opacimeter, the opacity levels were obtained with the engine in good operating condition and with the simulation of fault signals in the aforementioned actuators. As result, an average of 5.4% opacity was obtained in the fuel dosing valve in normal conditions and in failure conditions, a value of 4.9%, evidencing a decrease of 0.5% because with the failure simulated, the valve remains open for a longer period of time, which causes a large amount of fuel to return to the tank and causes less fuel to existing in the Common Rail, and this, in turn, causes a decrease in opacity, in addition to the 003.5-ohm resistor wears out, and the engine does not stay on for more than 3 minutes. When performing the opacity test with the injectors in normal conditions, an average value of 6.0% opacity was obtained, while at the moment in which a failure occurs in the injectors, an increase in the opacity level to 9 is evident. .5%, with an increase of 3.5% caused by the increase in fuel pressure in the Common Rail, causing greater fuel consumption and thus increasing polluting emissions.

INTRODUCCIÓN

En el presente proyecto se realizará la interpretación y medición de los niveles de opacidad emitidos al medio ambiente generado por fallas en la válvula dosificadora de combustible e inyectores electrónicos en un motor diésel marca Mazda modelo BT50 CRDI, a causa de que las emisiones contaminantes emitidas por estos motores provocan efectos negativos en la salud de las personas.

Ante esta problemática se realiza el presente estudio para comprobar si las fallas en los actuadores mencionados afectan en los niveles de opacidad emitidos al medio ambiente. Para lo cual se inició con la recopilación de información de fuentes bibliográficas que permitan conocer el funcionamiento de la válvula dosificadora de combustible e inyectores, además de conocer los niveles de opacidad permitidos en el país.

Una vez concluida la recopilación de información, se realizó un flujograma con la metodología a seguir paso a paso para lograr cumplir con los objetivos planteados, además de la utilización de los materiales y equipos necesarios para la ejecución de las diferentes pruebas en la válvula dosificadora e inyectores.

Con el equipo FSA 740 se obtiene los oscilogramas de los actuadores mencionados en condiciones normales y con falla en su funcionamiento, para lo cual, para simular una señal de falla en la válvula dosificadora de combustible, se instaló una resistencia de 3,5 ohmios en el cable de la señal de PWM para verificar como varía su señal y sus valores de trabajo. Para la obtención de las señales de falla en los inyectores se reemplazó los inyectores buenos con inyectores desgastados y se procedió a elevar la presión del combustible de 38,70 MPa a 61,70 MPa con el equipo Common Rail GT-508 para generar problemas de inyección y así obtener las señales de falla. Además, el opacímetro OPA-100 Brain Bee se utiliza para medir los niveles de opacidad emitidos al medio ambiente cuando la válvula dosificadora e inyectores tienen fallas en su funcionamiento y con los resultados obtenidos se realiza el análisis correspondiente y se elabora las conclusiones y recomendaciones para futuras investigaciones.

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

Interpretar y medir las diferentes señales de la válvula dosificadora de combustible e inyectores y analizar los niveles de opacidad de un motor diésel marca Mazda modelo BT50 CRDI del año 2012.

1.1.2 Objetivos específicos.

- Identificar la válvula dosificadora e inyectores en un motor encendido por compresión.
- Analizar las señales de la válvula dosificador de combustible e inyectores para verificar su estado de funcionamiento.
- Medir los niveles de opacidad del motor diésel en funcionamiento para realizar el diagnóstico de los actuadores.
- Obtener señales de fallas en la unidad dosificadora de combustible e inyectores para comprobar si afecta en los niveles de opacidad emitidos al ambiente.
- Utilizar el equipo BOSCH FSA 740 para realizar las diferentes pruebas de mediciones.

1.2 ANTECEDENTES

La contaminación ambiental por parte de los vehículos es muy problemática para la atmósfera, provocando problemas de salud a la población, por lo que una de las leyes actuales de regulación de emisiones en el país y del mundo han provocado que la industria automotriz este obligada a desarrollar nuevas innovaciones tecnológicas que cumplan las necesidades de la población y cumpla con las normas impuestas por cada país para mejorar la calidad y disminuir la contaminación exigida por los vehículos (Bayas, 2017). En la industria automotriz se ha logrado importantes avances relacionados a la reducción de emisiones de gases contaminantes desde los años 80, los motores siguen siendo responsables de la mayor parte de contaminación en los centros urbanos, causando grandes aumentos relacionados a problemas de salud en la población y en la contaminación a la atmósfera (García et al., 2013).

El motor alternativo de encendido por compresión (MEC) fue patentado por Rudolf Diesel en el año 1893, estos motores diésel tienen un papel muy importante en la economía, debido a que estos son responsables del 99% del transporte de mercancías en la actualidad ya que a estos motores se los utiliza en diversas aplicaciones como locomotoras, barcos, vehículos, camiones, autobuses, además en el sector industrial como, en áreas de generación de energía eléctrica, plantas industriales, minería y construcción (Hernández López, 2010).

Se desarrolló un sistema llamado Common Rail para los motores de encendido por compresión, con el cual mejoran su rendimiento con respecto al par motor y se reduce el ruido y las emisiones de escape, esto es para automóviles que necesitan un sistema flexible de inyección de combustible. Además de la variación de la cantidad de combustible y el inicio de la inyección, permite elegir libremente la presión de inyección en el rango de 150 a 1400 bares y la inyección de combustible en varias porciones (Criollo & Matute, 2014).

El Sistema de Common Rail es nombrado así por el acumulador de alta presión, el cual es el encargado de suministrar el combustible hacia los inyectores. Los vehículos que utilizan el sistema de inyección diésel convencionales con bomba rotatoria, es necesario que la presión del combustible se genere de forma individual en cada inyección. Sin embargo, en el sistema de riel común, la generación y la inyección de presión se realizan por separado, lo que significa que el combustible está siempre disponible y en la presión necesaria para su inyección (Salazar, 2018).

La válvula dosificadora de combustible se encuentra en el tubo de alimentación hacia la bomba de alta presión y hacia el regulador de presión del combustible. En funcionamiento normal, la válvula se encuentra abierta y libera el paso hacia el regulador de presión del combustible. Si la temperatura del líquido refrigerante supera los 95°C cuando el motor está en el ciclo de arranque y la temperatura del aire aspirado es superior a 50 ° C, se trata de un arranque en caliente por lo que la ECU excita la válvula durante unos 50 segundos y cierra así el paso hacia el regulador de presión del combustible, provocando un aumento de la presión en el circuito de baja presión gracias a la bomba eléctrica que suministra el

combustible desde el tanque, por lo cual se necesita la intervención de la válvula interna para la limitación de la presión que alcanza 580 kPa como máximo. Este aumento de presión evita que se originen burbujas de vapor en el lado de aspiración de la bomba de alta presión y garantiza una presurización adecuada (Salazar, 2018).

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los niveles de opacidad producto de la combustión de los motores es cada día más problemática para el medio ambiente y la salud de las personas, por lo que las nuevas tecnologías aplicadas en el sector automotriz buscan reducir estos niveles de gases contaminantes. Para lo cual, los elementos que conforman el circuito de alimentación de combustible deben estar en perfectas condiciones de funcionamiento y no presentar fallas, ya que si estos presentan fallas pueden afectar la combustión y esto puede afectar los niveles de gases contaminantes emitidos al medio ambiente.

La válvula dosificadora es un elemento importante en los motores diésel para que se produzca la combustión. Por tal motivo, en este trabajo de investigación se va a interpretar las señales de la válvula dosificadora de combustible e inyectores y simular fallas para determinar si esto afecta en los niveles de opacidad emitidos al medio ambiente.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Este estudio de investigación surge debido a la falta de equipo tecnológico donde se pueda realizar este tipo de pruebas y análisis de todos estos sistemas eléctricos y electrónicos en el vehículo. Por este motivo, con la adquisición de este equipo de diagnóstico se podrá realizar este tipo de pruebas en sensores y actuadores, además de que el equipo de diagnóstico servirá para que los estudiantes de la carrera de ingeniería automotriz puedan realizar sus prácticas a futuro y puedan tener conocimiento sobre las nuevas tecnologías y métodos de diagnóstico automotriz que se tiene en la actualidad y que servirá de mucho para su formación profesional.

El presente trabajo de investigación es importante para analizar el funcionamiento de la unidad dosificadora de combustible de un motor de encendido por compresión y mediante la utilización del equipo Bosch FSA 740, se podrá realizar diferentes pruebas y así poder

interpretar las señales de la unidad dosificadora y comprobar si se encuentra en perfectas condiciones o si tiene alguna falla.

En este estudio, también se analizará los niveles de opacidad emitidos por el motor de encendido por compresión, debido a que estos gases contaminantes afectan al medio ambiente y a la salud de las personas, por lo que medir los niveles de opacidad ayuda a saber si el motor está funcionando correctamente y si los niveles son los permitidos.

Por lo que este proyecto de estudio se encuentra vinculado con el plan nacional de desarrollo 2017-2021 Toda una vida con respecto al objetivo (3). Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones; En el cual la política 3.3 establece lo siguiente: “Promover buenas prácticas ambientales que aporten a la reducción de la contaminación, a la conservación, a la mitigación y a la adaptación a los efectos del cambio climático, e impulsar las mismas en el ámbito global” (Plan Nacional de Desarrollo, 2017).

Por tal motivo con esta investigación se pretende analizar los niveles de opacidad emitidos al medio ambiente por los motores diésel para tratar de reducir la contaminación generados por el uso tradicional de los vehículos.

1.5 ALCANCE

El presente trabajo de investigación se lo realizara en un banco de pruebas en un motor diésel marca Mazda modelo BT50 CRDI del año 2012, que se dispone en los talleres automotrices de la Universidad Técnica del Norte, donde se realizara un determinado número de pruebas de medición y diagnóstico en la unidad dosificadora de combustible utilizando el equipo BOSCH Modelo FSA 740 para determinar el estado de esta, e interpretar las diferentes señales y posibles averías. Además, se realizará un análisis de opacidad del motor como método de diagnóstico, para lo cual se realizará un determinado número de pruebas para obtener datos verídicos que serán analizados para la realización del presente proyecto de investigación.

1.6 MOTORES ELECTRÓNICOS DIÉSEL

El motor de combustión interna diésel fue inventado por el ingeniero alemán Rudolf Diésel en el año 1892 como se muestra en la figura 1.1. Gracias a toda su investigación y los avances tecnológicos en el sistema de inyección que se ha dado en el motor diésel en el transcurso de los años, en la actualidad estos motores son los más utilizados en el sector automotriz tanto en maquinaria liviana como pesada y en el campo industrial, además estos motores a diferencia de los motores a gasolina tienen una mayor eficiencia térmica, logrando así obtener menores niveles de emisiones de CO₂ a la atmósfera y obteniendo mayor torque incluso en velocidades bajas. Además, estos motores no necesitan de una bujía que produzca la chispa para producir la quema del combustible ya que en los motores diésel la mezcla aire-combustible se auto enciende debido a que fácilmente se puede tener temperaturas entre 600 a 1200 °C en el tiempo de ignición, pero algunos motores constan de un sistema auxiliar de ignición para proceder a encender el combustible mientras el motor aún no se encuentra caliente y no tiene la temperatura adecuada para iniciar con la combustión (Payri & Desantes, 2011).

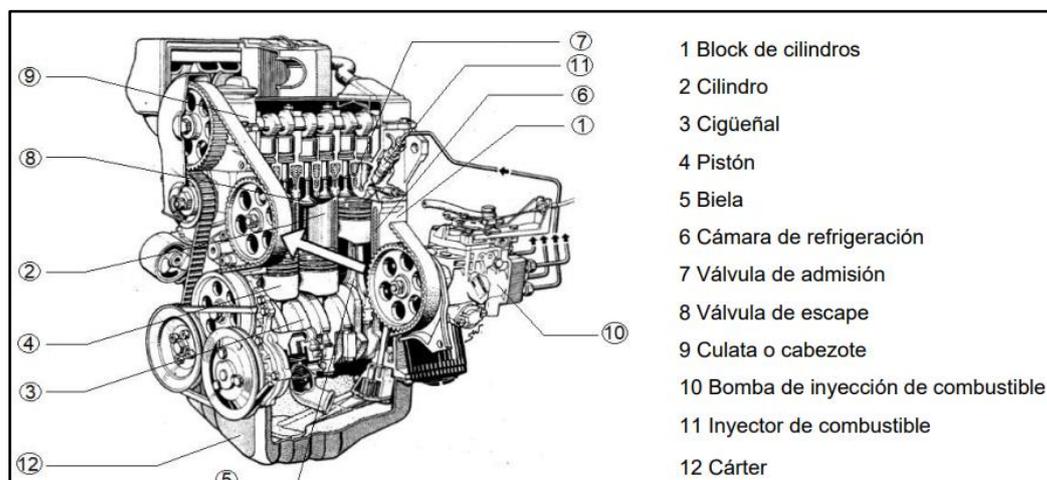


Figura 1.1 Partes del motor electrónico diésel de cuatro tiempos

(Barona López & Velasteguí, 2019)

1.6.1 Características del motor diésel

Entre las características del motor diésel se menciona la durabilidad de estos motores, motivo por el cual sus piezas son más robustas y están construidas de materiales más resistentes, debido a que estos motores tienen más compresión a diferencia de los de gasolina. Además, por el proceso de compresión de aire, las piezas sufren menos desgaste.

Otra característica es que estos motores son más fiables debido a la resistencia de sus piezas por lo que son muy utilizados en la maquinaria para trabajo pesado. Además, debido a que el diésel es más denso que la gasolina y ahorra hasta un 30 % del consumo, por lo que los motores diésel son capaces de recorrer hasta más que el doble de distancia que los motores de gasolina consumiendo la misma cantidad de combustible.

La capacidad de arrastre del motor diésel es otra característica a tomar en cuenta, esto debido a que el motor diésel es capaz de generar menos torque por las revoluciones bajas que produce el motor, por lo que se obtiene un aumento en la efectividad y la capacidad para cargar (Payri & Desantes, 2011).

La relación de compresión del motor diésel puede ser aumentada arbitrariamente debido a que el aire es incombustible. Sin embargo, con una relación de compresión de 15:20 es suficiente para lograr obtener una presión final de 30 bares, provocando así un aumento de la temperatura de 500 °C a 600 °C (Alvarez & Elizalde, 2007). Por lo tanto, como esta temperatura es más alta que el punto de ignición de la mezcla aire-combustible, se puede lograr que el motor diésel arranque en frío.

Con respecto al rendimiento, en los motores diésel una gran parte de calor puede ser convertida en trabajo, esto debido a que el consumo medio de combustible es aproximadamente de 270 g/KWh. Además, en muchos motores el consumo mínimo es de 240 g/KWh (Alvarez & Elizalde, 2007).

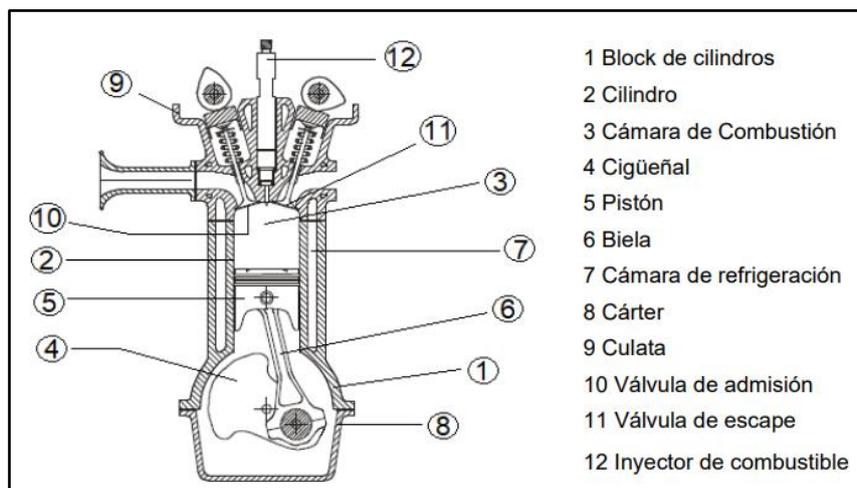


Figura 1.2 Esquema de las características de las partes de un motor diésel

(Barona López & Velasteguí, 2019)

En la figura 1.2 se observa un esquema de algunos componentes del motor diésel de cuatro tiempos, donde las partes fijas y móviles van montadas en el block de cilindros, además de que son elementos de mucha importancia por lo que deben ser más robustos y tener mayor resistencia ya que estos motores son utilizados incluso en maquinaria pesada.

1.6.2 Funcionamiento del motor diésel

El funcionamiento del motor diésel a diferencia del motor a gasolina es principalmente en la forma de realizar la mezcla y el encendido del combustible, ya que la mezcla en los motores diésel se realiza en el interior de la cámara de combustión y se inflama cuando se inyecta el combustible sobre el aire caliente que existe en el cilindro por la fuerte compresión y se inicia la combustión por auto encendido, estos motores no necesitan de una chispa para que se encienda la mezcla aire-combustible. Para que los motores diésel arranquen en frío se utilizan bujías incandescentes de precalentamiento que sirven para subir la temperatura de la cámara de combustión y obtener una temperatura óptima para iniciar la combustión en frío, para que se cumplan los cuatro tiempos del ciclo de funcionamiento, el cigüeñal debe realizar dos vueltas (Payri & Desantes, 2011).

1.6.3 Ciclos de funcionamiento del motor diésel de 4 tiempos

El funcionamiento del motor diésel de cuatro tiempos es similar a cualquier motor de combustión interna, la diferencia con los de gasolina radica en la forma en que se realiza la combustión ya que los motores diésel no necesita de una chispa para encender la mezcla ya que se realiza por auto encendido.

1.6.3.1 Admisión

En el primer tiempo de funcionamiento se realiza la aspiración, donde la válvula de admisión se encuentra abierta mientras tanto el pistón desciende hacia el punto muerto inferior permitiendo así el llenado total de aire en el cilindro, durante este período la válvula de escape se encuentra cerrada y el cigüeñal realiza un giro de 180° y el árbol de levas un giro de 90° completando así el primer ciclo.

1.6.3.2 Compresión

Cuando el pistón llega al punto muerto inferior, la válvula de admisión se cierra y el pistón comienza a ascender hasta el punto muerto superior del cilindro comprimiendo el aire

contenido en la cámara, en ese momento la presión y la temperatura aumenta significativamente. La relación de compresión en ese momento es de aproximadamente 18:1, para este ciclo el cigüeñal ha girado 360° mientras el árbol de levas 180° .

1.6.3.3 Combustión

Antes que el pistón llegue al punto muerto superior el aire a alcanzado una presión máxima y una temperatura ideal entre 700°C a 900°C , el inyector se encarga de pulverizar el combustible en la cámara, en ese momento el combustible se inflama inmediatamente cuando hace contacto con el aire caliente provocando lo que se conoce como autoencendido de la mezcla, causando así la expansión de los gases y provocando que el pistón descienda hacia el punto muerto inferior. En este tiempo la energía calorífica se transforma en trabajo, para este ciclo el cigüeñal ha girado 440° y el árbol de levas 270° .

1.6.3.4 Escape

En esta fase el pistón se encuentra en el punto muerto inferior, la válvula de escape se abre mientras el pistón asciende nuevamente hacia el punto muerto superior y expulsa los gases quemados hacia el exterior por el múltiple de escape, para este tiempo el cigüeñal ha girado 720° y el árbol de levas 360° completando así las 2 vueltas del cigüeñal en los 4 tiempos y dejando todo listo para empezar un nuevo ciclo por efecto de inercia (Luna & Mier, 2014).

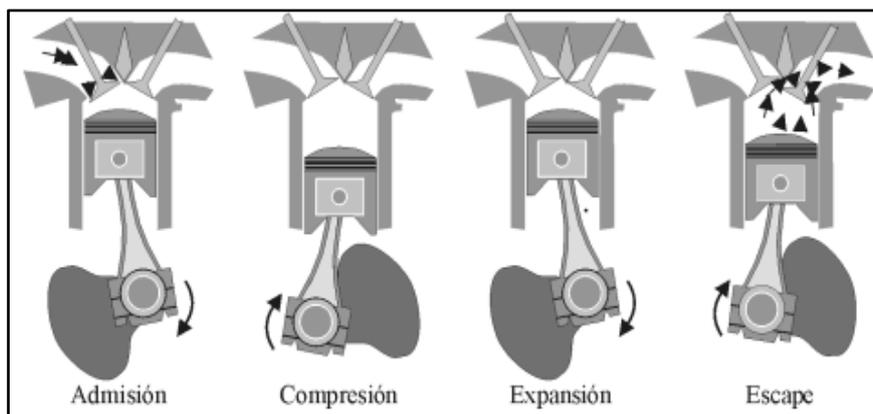


Figura 1.3 Desarrollo del ciclo de cuatro tiempos en un motor diésel

(Payri & Desantes, 2011)

En la figura 1.3 se aprecia como es el ciclo de funcionamiento de la combustión en los motores diésel de cuatro tiempos, cada grafico indica como es la carrera que realiza el pistón en el proceso de combustión.

1.7 CLASIFICACIÓN DE LOS MOTORES DIÉSEL DE ACUERDO AL TIPO DE INYECCIÓN

Existen dos tipos de sistemas de inyección en los motores diésel de acuerdo a la manera en que se produce la inyección de combustible en la cámara de combustión.

- Inyección directa
- Inyección indirecta

1.7.1 Motores diésel de inyección directa

Los motores diésel con este tipo de inyección directa, tienen la cámara de inyección labrada en la cabeza del pistón, donde los inyectores están integrados directamente sobre el cilindro, por lo que el inyector introduce el combustible directamente en la cámara de combustión donde este se mezcla con el aire que había ingresado por la válvula de admisión. Este sistema de inyección es más eficiente a diferencia del sistema de inyección indirecta, debido a que este sistema de inyección directa ayuda a ahorrar combustible y ofrece un mejor rendimiento en el motor debido al proceso de inyección que es controlada por un dispositivo electrónico con lo cual se consigue la máxima eficiencia del combustible. Para este tipo de inyección los inyectores suelen ser de 4 o 6 orificios dependiendo del tamaño del motor (Consuegra, 2007).

Dentro de la inyección directa existen dos tipos de inyección con respecto al método en que se ejecuta:

- Sistema de inyección Common-Rail
- Sistema de inyección Bomba-Inyector

1.7.2 Motores diésel de inyección indirecta

Los motores diésel con este tipo de sistema de inyección indirecta inyectan el carburante fuera de la cámara de combustión, debido a que cuentan con una cámara de combustión dividida, la cual está constituida por una precámara de combustión ubicada en la culata

que se conecta a la cámara principal por medio de un conducto, donde el combustible es inyectado dentro de la cámara principal por el inyector. Cuando se introduce el carburante y este empieza a arder, se produce un aumento de presión que empuja el aire y el combustible que no se han quemado hacia la cámara principal a través de dicho conducto. En este proceso se aumenta la mezcla y la turbulencia requerida para la combustión en la cámara principal y se utilizan inyectores de un solo orificio que inyecta el combustible a presiones de 100 a 140 bares (Payri & Desantes, 2011).

1.8 SISTEMA DE INYECCIÓN DIÉSEL COMMON-RAIL

El sistema Common Rail es uno de los sistemas de inyección más perfeccionado que existe en la actualidad, debido a que este sistema cumple con todos los requisitos planteados a los motores diésel, como se puede apreciar en la figura 1.4 el sistema completo de inyección Common Rail.

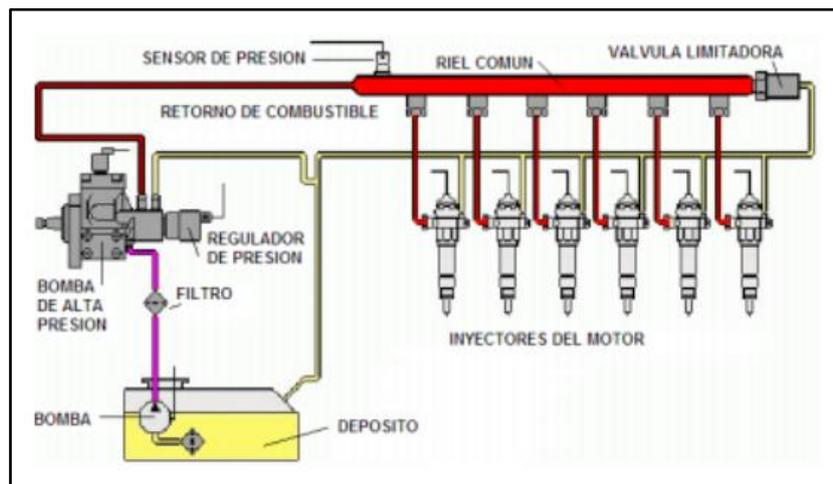


Figura 1.4 Sistema Common Rail

(Arízaga & Torres, 2014)

La integración de los sistemas Common Rail en los motores diésel de inyección directa ha logrado un paso más en la mejora de estos motores debido al control preciso de la inyección, lo que permite mejorar la combustión y reducir el consumo de combustible y la disminución de emisiones contaminantes, además de aumentar la potencia y reducir las vibraciones y el sonido del motor.

La principal ventaja que tiene este sistema Common Rail es la capacidad de variar con gran facilidad la presión y el tiempo de inyección dentro de un amplio rango, esto se logra separando los componentes de generación de presión como la bomba de alta presión y de la inyección de combustible por parte de los inyectores electrónicos.

El riel o conducto actúa como un acumulador donde la presión en el interior del riel es independiente del régimen de giro del motor y del caudal de inyección, en estos sistemas Common Rail actuales la presión supera los 2 000 bares (Castillejo, 2014).

1.8.1 Inicio de la inyección en el sistema Common Rail

El inicio de la inyección en el sistema Common Rail empieza cuando la bomba de baja presión toma el combustible desde el depósito y alimenta a la bomba de alta presión, esta bomba es la que se encarga de enviar el combustible a alta presión hacia el riel común. Una gran parte de este combustible es inyectado en la cámara de combustión y una pequeña parte sirve para la activación hidráulica de los inyectores, esta pequeña cantidad de combustible regresa al depósito. En la figura 1.5 se puede observar los componentes que conforman el circuito Common Rail.

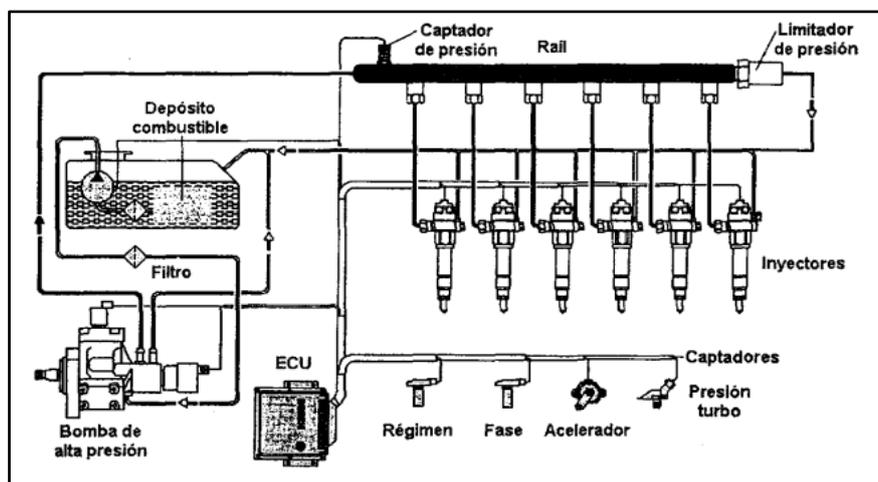


Figura 1.5 Circuito del sistema de inyección Common Rail

(Payri & Desantes, 2011)

En el riel común (Common Rail) se acumula el combustible a alta presión para luego enviar hacia los inyectores, un sensor mide la presión del combustible en el riel y esta información se compara con el valor almacenado en la unidad de control electrónico

(ECU) y si el valor medido no cumple con los valores de presión almacenados en la Unidad de control electrónica, entonces un orificio de descarga en el regulador de presión se abre o se cierra hasta igualar los valores que se necesita, y si el caudal del combustible es demasiado, este retorna al depósito. Los inyectores se abren o cierran electrónicamente ya que son controlados por la ECU (Payri & Desantes, 2011).

1.8.2 Componentes del sistema de inyección

1.8.2.1 Depósito del combustible

La función principal del depósito de combustible es almacenar el combustible de forma segura en los vehículos, y su característica es que deben ser herméticos para soportar presiones de retorno del combustible. Estos son fabricados de materiales termoplásticos para así evitar la corrosión del material, también cuentan con válvulas de seguridad para eliminar las sobrepresiones en el depósito y poseen tres cañerías que sirven para la ventilación, una cañería de retorno y otra de alimentación.

El depósito debe estar instalado en la parte más baja del vehículo para así reducir el centro de gravedad, además, en su interior cuenta con placas para poder evitar oleajes del combustible ya que el combustible no debe salir por la boca de llenado (Gómez Ullauri, 2012).

1.8.2.2 Filtro de combustible

La función principal del filtro de combustible es evitar que las impurezas del combustible ingresen al sistema de inyección. Además, actúa como separador de partículas de agua que existe en el diésel para así purificar el combustible que llega a los inyectores. Si no se cuenta con filtros se puede deteriorar los componentes del sistema de inyección y del motor.

Estos filtros cuentan con un precalentador de combustible que actúa cuando la temperatura ambiente es demasiado baja, evitando así la formación de cristales parafínicos (Gómez Ullauri, 2012).



Figura 1.6 Filtro de combustible

(Gómez Ullauri, 2012)

En la figura 1.6 se observa el filtro de combustible y el calentador, donde un bimetálico es el encargado de activar el precalentador de combustible cuando la temperatura ambiente es baja.

1.8.2.3 Bomba de inyección de alta presión

Es la encargada de mandar el combustible suficiente, en el momento apropiado, a la presión necesaria y en el orden establecido a cada inyector para que pueda ser introducido en el interior de la cámara de combustión en las mejores condiciones de combustión, y por lo tanto de optimización del rendimiento térmico del motor.

La alta presión se genera por medio de la bomba de émbolos radiales con tres émbolos decalados a 120° y la impulsión de la bomba de alta presión es mediante una correa dentada. La presión máxima que puede soportar en el conducto Común Rail es de aproximadamente 1 350 bares (Bosch, 2015).

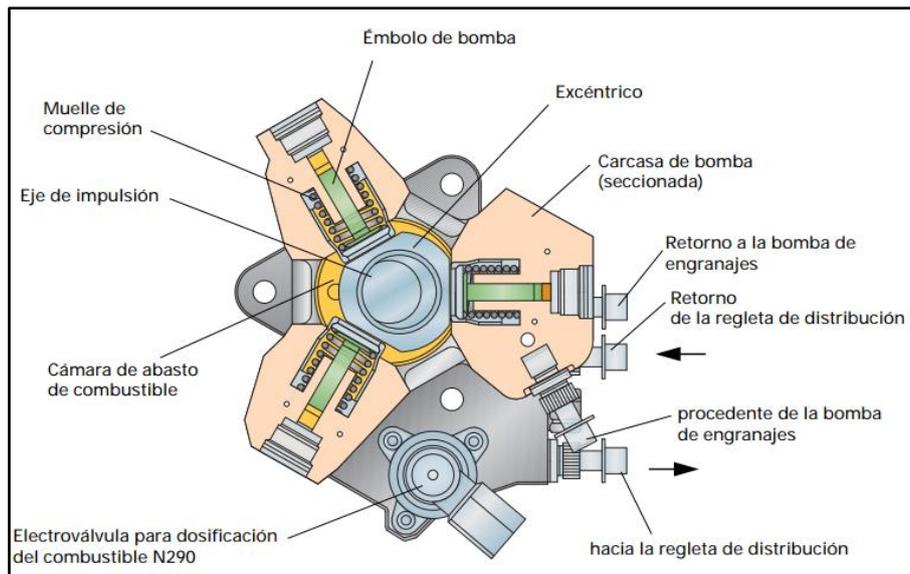


Figura 1.7 Partes de la bomba de alta presión

(Audi, 2015)

En la figura 1.7 se observa las partes que conforman la bomba de alta presión, conservando el principio de funcionamiento de carrera de pistón constante, el eje de impulsión con su leva excéntrica se encarga de desplazar el embolo de la bomba de tres elementos provocando que se ejecute un movimiento de ascenso y descenso senoidal. Además, presenta las características de alimentar varios cilindros en un único elemento de pulverización del combustible, empleando por ello un distribuidor rotativo, además de incorporar la bomba de alimentación, se encuentran los diferentes sistemas de regulación y avance (Bosch, 2015).

Las ventajas de la bomba de alta presión en el sistema Common Rail son las siguientes:

- Más pequeña y menor peso, por lo que su acoplamiento en el motor es fácil.
- La dosificación es igual para cada cilindro
- Permite altas velocidades de rotación (ideal para motores diésel).
- El mismo combustible del sistema se encarga de la lubricación
- Menor precio de adquisición y de mantenimiento

1.8.2.4 Válvula dosificadora de combustible

La función principal de la válvula es controlar la presión del combustible que existe en el sistema de inyección, controlando que la presión se mantenga casi constante en cada

condición de operación. Con el funcionamiento de la bomba de combustible, la presión de la línea de combustible aumenta, esta vence la fuerza de resorte y provoca la apertura del regulador de presión. Cuando la válvula reguladora de presión está abierta, el exceso de presión fluye para la línea de retorno y la presión disminuye.

La válvula dosificadora se encuentra a la salida de la bomba de alta presión como se muestra en la figura 1.8, la cual se encarga de regular la presión en la rampa o riel de combustible. Además, con la válvula dosificadora de la presión del combustible se logra amortiguar las variaciones de presión de combustible, producto de la alimentación y de la inyección del combustible (Gómez Ullauri, 2012).

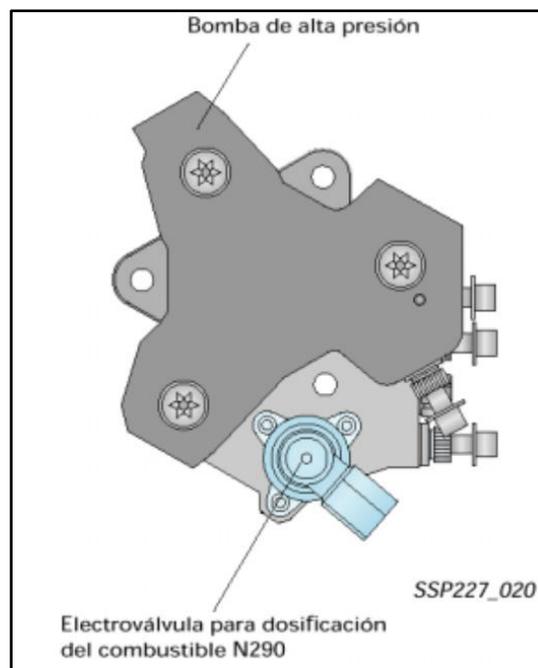


Figura 1.8 Válvula dosificadora de combustible

(Audi, 2015)

La ECM controla la válvula dosificadora de combustible de forma que la presión en la rampa o riel siempre sea la adecuada para cada estado de funcionamiento del motor.

La válvula se acciona de forma electromagnética y se abre y cierra mediante las señales del PWM enviadas de la ECM. El control variable de la válvula es una función compuesta por la orden del conductor, solicitante de presión del combustible y el régimen del motor.

El principio de funcionamiento de la válvula dosificadora de la presión del combustible es normalmente abierto, por lo tanto, para que esta se cierre y acumule presión en el riel de combustible, es necesario que el ECM comande el transistor y cierre el circuito, como se observa en la figura 1.9. Es decir, para que exista aumento de presión en el riel de combustible, el ciclo activo negativo b controlado por el ECM debe aumentar; caso contrario, para que la presión en el riel disminuya y la válvula se abra, el ciclo activo negativo b debe disminuir (Gómez Ullauri, 2012).

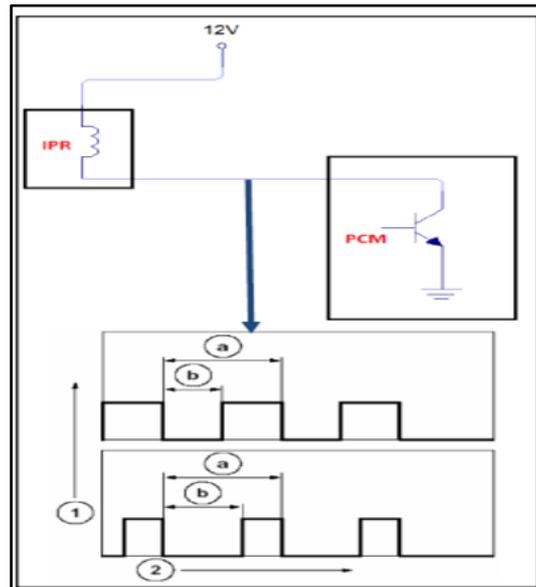


Figura 1.9 Principio de funcionamiento de la válvula dosificadora de combustible

(Gómez Ullauri, 2012)

1.8.2.5 Tuberías del circuito de alta presión

Las tuberías de alta presión van acopladas a la bomba de alta presión hasta el conducto Common Rail e inyectores, las tuberías del circuito de alta presión son fabricadas con acero debido a que deben soportar elevadas presiones y oscilaciones durante la circulación del combustible por el sistema de inyección. Las tuberías suelen tener un diámetro de fabricación que por lo general es de 6 mm de diámetro exterior y 2.4mm de diámetro interior.

La largura de las tuberías no debe de ser muy largas, por tal motivo las tuberías tienen curvaturas para no ocupar mucho espacio ya que deben de estar lo más cerca entre el riel y los inyectores. El volumen de combustible que se acumula sirve a su vez para

amortiguar las vibraciones de presión que se producen a causa de la bomba de alta presión (Coral De La Cadena, 2013).

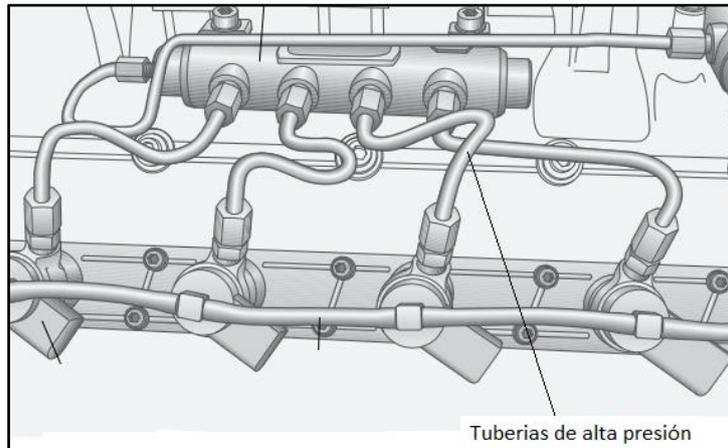


Figura 1.10 Tuberías del circuito de alta presión

(Audi, 2015)

En la figura 1.10 se aprecia las tuberías de acero del circuito de alta presión y se observa que tienen curvaturas para estar conectadas lo más cerca entre el riel y los inyectores.

1.8.2.6 Common Rail

El sistema Common Rail dispone de un riel o acumulador de presión común para todas las líneas de inyección en motores diésel que cuenten con este sistema de inyección como se puede apreciar en la figura 1.11.

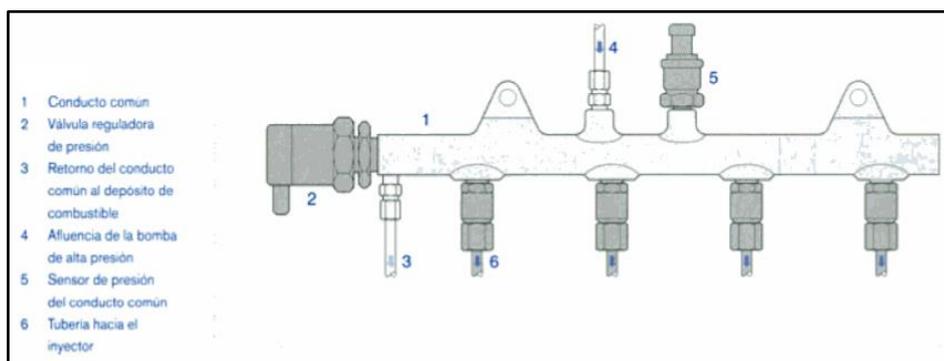


Figura 1.11 Acumulador de presión (Common Rail)

(Bosch, 2005)

En el riel se acumula el combustible que es suministrado por la bomba de alta presión, esta presión del combustible es independiente de las revoluciones del motor y del caudal

de inyección. El acumulador es el encargado de suministrar el combustible a alta presión a todos los inyectores que se abren y cierran por medio de electroválvulas, las cuales son activadas mediante la unidad de control electrónica ECU, la cual es la encargada de gestionar la inyección en función de parámetros almacenados del régimen del motor y de la carga. El acumulador debe estar continuamente lleno de combustible a presión para abastecer a los inyectores (Castillejo, 2014).

1.8.2.7 Inyector del motor diésel electrónico

La función principal de los inyectores es la de inyectar el combustible en la cámara de combustión, ya que ellos son los encargados de pulverizar el combustible que se encuentra acumulado en el interior del conducto Common Rail. Los inyectores electrónicos tienen la capacidad de abrirse y cerrarse miles de veces por minuto sin que el combustible se escape o exista goteos (Barbosa Tautiva et al., 2014).

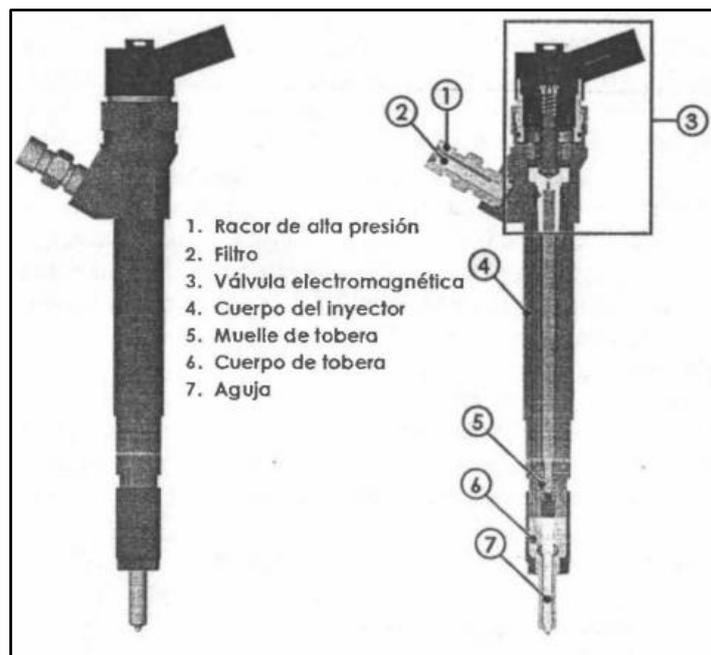


Figura 1.12 Partes de un inyector electrónico Common Rail

(Payri & Desantes, 2011)

En la figura 1.12 se observa las partes principales que componen un inyector Common Rail para la pulverización de combustible y la correcta inyección en la cámara de combustión.

Los inyectores se clasifican en tres bloques funcionales que son:

- El inyector de orificios.
- El servosistema hidráulico.
- La electroválvula.

El funcionamiento del inyector trabaja en cuatro partes de servicio, con el motor y la bomba de alta presión en funcionamiento.

- El Inyector se encuentra cerrado (con alta presión).
- Apertura del inyector (comienzo de inyección).
- Inyector abierto por completo.
- El inyector se cierra (final de inyección).

El Inyector cerrado, la electroválvula no se activa (estado de reposo) y por tal motivo tenemos cerrado el estrangulamiento de salida lo que hace que la presión del gasoil sea igual en la cámara.

Apertura del inyector (comienzo de inyección): El inyector lo tenemos en posición de reposo. La electroválvula se activa con la llamada corriente de excitación la cual sirve para la apertura rápida de la electroválvula.

Inyector abierto por completo: El émbolo de mando alcanza su máximo estado superior y permanece allí sobre un volumen de gasoil de efecto amortiguador

El inyector se cierra (final de inyección): Esto sucede cuando deja de funcionar la electroválvula, el inducido presiona hacia abajo por la fuerza que ejerce el muelle de válvula y la bola cierra el estrangulador de salida de gasoil (Castillejo, 2014).

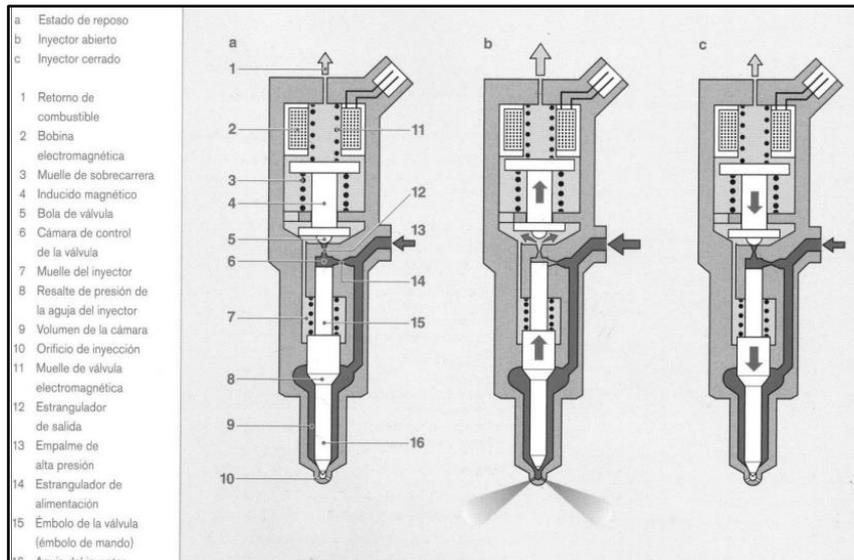


Figura 1.13 Esquema de funcionamiento de un inyector con electroválvula
(Castillejo, 2014)

En la figura 1.13 se observa cómo es el funcionamiento del inyector con electroválvula, en donde en el gráfico (a) se encuentra en reposo, en el gráfico (b) se aprecia que el inyector se abre e inyecta el combustible, y en el gráfico (c) el inyector vuelve a cerrarse.

1.9 OPACIDAD EN LOS VEHÍCULOS

La opacidad es una de las magnitudes que se emplea para poder evaluar y controlar las emisiones contaminantes producidas por vehículos a diésel y gasolina, la opacidad se puede observar en la coloración del humo que reduce la cantidad de luz que se observa en una tubería ocasionada por los gases de escape al pasar por esta.

La opacidad puede generarse por distintos factores como puede ser por la falta de oxígeno en la cámara en el momento que se realiza la combustión, puede existir exceso de goteo durante el tiempo de inyección o simplemente por una mala combustión. Además, las emisiones de escape se clasifican en emisiones en frío y en caliente dependiendo de la temperatura del líquido refrigerante. cuando el líquido refrigerante se encuentra por debajo de los 70°C y en caliente cuando este está por encima de los 70°C.

Esta clasificación influye de gran manera en la opacidad, debido a que, si el motor no se encuentra en la temperatura ideal de trabajo, los gases de escape producidos por el motor y la coloración del humo saldrán en mayor cantidad a lo normal y la opacidad puede variar

en la coloración por lo que esto puede arrojar valores erróneos al momento de realizar la medición en esas condiciones (Beltrán, 2017).

1.9.1 Opacidad de gases de escape

La opacidad se caracteriza por el color de humo que sale por el tubo de escape, el cual por la coloración que emana se puede conocer posibles fallas existentes en el motor o en la combustión, estas coloraciones pueden ser:

- Blanco

Esta coloración de humo es producida por la inadecuada mezcla de aire - combustible, pero por lo general este color se da cuando existe pequeñas cantidades de agua en la cámara de combustión, estos problemas se dan por fallas en el sistema de inyectores o una mala sincronización entre la válvula y los inyectores o existir averías en la bomba de combustible.

- Azul

Esta coloración se da comúnmente cuando existe presencia de aceite de motor en la cámara de combustión y este se está quemando en el momento de la combustión, este problema puede ser porque las válvulas y los segmentos de los pistones se encuentren desgastadas.

- Negro

Este color se da cuando existe una combustión incompleta por ese motivo existe presencia de partículas sólidas de carbón, esto puede ser porque el filtro de aire se encuentra tapado o dañado o exista fallas de los inyectores, de la bomba de inyección de combustible o se esté utilizando el combustible inadecuado

- Gris

Cuando del tubo de escape sale el humo de este color, es una señal que indica que el motor está en perfecto funcionamiento y no existe problemas en su sistema de alimentación de combustible (Ramos, 2015).

1.9.2 Pruebas de opacidad

La prueba de opacidad o nivel de coeficiente de absorción, se trata de una prueba que se realiza para la inspección técnica vehicular, donde mediante esta prueba se mide la cantidad de gases contaminantes que expulsan los automotores hacia la atmosfera.

Las pruebas de gases de escape no toman en cuenta si la EGR o los inyectores se encuentra en mal estado o tienen fallas en su funcionamiento, debido a que estas pruebas solo buscan medir la cantidad de humo global expulsados y que el contenido de estos no exceda los límites permitidos por el fabricante del vehículo o los límites de opacidad genéricos permitidos en el país.

La prueba de opacidad consiste en realizar por lo menos 3 aceleraciones del motor en vacío desde que se encuentra en ralentí, hasta el inicio del corte de la inyección (Clavero, 2020).

1.9.3 Normativa técnica para emisiones en el Ecuador

En el Ecuador la normativa que se aplicaba era la norma EURO 1 desde el año 1992, pero a partir del año 2017 hasta la actualidad se aplica la norma EURO 3 con el fin de regular las emisiones de CO₂ y disminuir el impacto ambiental, a pesar de que en Europa, Estados Unidos y otros países desarrollados se aplica la norma EURO 6. Sin embargo, con respecto a la calidad de los combustibles ecuatorianos, estos cumplen con la Normativa Técnica Ecuatoriana NTE INEN. Ya que los combustibles son analizados en laboratorios acreditados por el servicio de Acreditación Ecuatoriano SAE, bajo la norma 17 025 y calificados por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables (el Comercio, 2022).

Actualmente en el Ecuador, la norma que se aplica para las fuentes móviles terrestres que utilizan diésel es la siguiente:

- NTE INEN 2207. Gestión ambiental. aire. vehículos automotores. límites permitidos de emisiones producidas por fuentes móviles terrestres que utilizan diésel.

En la tabla 1.1 se aprecia los requisitos específicos para esta norma que establece que toda fuente móvil con motor de diésel no debe emitir al aire monóxido de carbono, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y partículas, en cantidades superiores a las indicadas en la siguiente tabla (INEN, 2016).

Tabla 1.1 Límites máximos de emisiones para fuentes móviles con motor diésel.

Categoría	Peso bruto del vehículo kg	CO g/km	HC g/km	NOx g/kg	HC + NOx g/km	Partículas g/km	Ciclos de prueba
M1		0,64	-	0,5	0,56	0,05	ECE – 15 + EUDC
N1	CL1 ≤1 305	0,64	-	0,5	0,56	0,05	
	CL2 1 350 - 1 760	0,8	-	0,65	0,72	0,07	
	CL3 >1 760	0,95	-	0,78	0,86	0,1	
N2, N3, M2 M3 ^(a)	>3 500	2,1	0,66	5	-	0,10 0,13 ^(b)	ESC & ELR
Prueba realizada a nivel del mar (a) Unidades en g/kWh (b) Para los motores de menos de 0,75dm ³ de cilindrada por cilindro y una potencia nominal a velocidad mayor de 3 000 rpm							

Fuente: (INEN, 2016)

1.9.4 Límites de opacidad máximos en el Ecuador

Los niveles máximos de opacidad de los gases de escape producidos por fuentes móviles terrestres con motor diésel permitidos en el Ecuador lo podemos observar en el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) en la norma técnica NTE INEN 2 202: 2002, en el punto 6.3.1. donde manifiesta que toda fuente móvil con motor diésel, en condición de aceleración libre, no puede emanar gases contaminantes al aire libre en cantidades superiores a las que se indican en la siguiente tabla (INEN, 2002)

En la tabla 1.2 se indica que toda fuente móvil con motores diésel no deben emitir emisiones contaminantes que superen los límites indicados por la normativa aplicada en el país.

Tabla 1.2 Límites máximos de opacidad para fuentes móviles con motor diésel.

Año modelo	Opacidad %
2000 y posteriores	50
1999 y anteriores	60

Fuente: (INEN, 2002)

1.9.5 Normativa EURO para el control de emisiones

La normativa EURO para el control de emisiones contaminantes se aplica en la Unión Europea a partir del año 1988, con el objetivo de regular los límites máximos de emisiones contaminantes producidas por los vehículos con motor a gasolina y diésel. Esta normativa EURO controla todas las emisiones consideradas tóxicas para la salud de las personas, como son los óxidos de nitrógeno, el monóxido de carbono, los hidrocarburos y el material particulado. Además, desde el año 2014 se aplica la norma EURO VI para vehículos pesados, y desde el año 2015 la EURO 6 para vehículos ligeros (Cabrera & Carpio, 2019).

1.10 FORMACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES

Las emisiones contaminantes se producen por la combustión en los motores de combustión interna, en los motores diésel el CO₂ es el principal contaminante que se genera, luego le siguen los NO_x, CO, NO, HC Y material particulado. Debido a estas emanaciones producidas por los motores diésel, se generan altos niveles de contaminación del aire causando una variedad de enfermedades al ser humano; aumenta el riesgo de infecciones respiratorias, enfermedades cardíacas, derrames cerebrales y cáncer de pulmón, los más vulnerables a causa de estas emisiones contaminantes son los niños, adultos de la tercera edad y las mujeres.

Según los datos de la Organización Panamericana de la Salud, en todo el mundo se registró un estimado de 7 millones de muertes prematuras relacionadas a la contaminación del aire ambiental en el año 2016 (OPS, 2016).

La Secretaría de Movilidad y Obras Públicas estima que en el Ecuador al año se consumen 80 millones de galones de combustible diésel para el uso en el sector automotriz. Este combustible, considerado fuente móvil de contaminación es el encargado de emanar a la atmósfera contaminantes tóxicos para la salud de las personas, contaminantes como el dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, el monóxido de carbono y material particulado conocido como opacidad (el Comercio, 2012).

1.10.1 Gases contaminantes producidos por motores diésel

Las partículas de carbón que generan los tubos de escape en los vehículos con motor diésel son de naturaleza toxica, debido a que en estas partículas existen compuestos que han sido reconocidos como cancerígenos para el ser humano. En la figura 1.14 se observa los diferentes gases contaminantes que son emitidos por los motores diésel los cuales son perjudiciales para la salud de las personas. Estas partículas de carbón tienen un diámetro inferior a $0,1 \mu\text{m}$ y en su superficie se absorbe otros hidrocarburos e incluso sulfatos por el alto contenido de azufre que tiene el combustible. Por lo que las emisiones de los motores diésel son mucho más visibles a diferencia de los motores a gasolina, debido a que estos contienen más hollín o materia particulada, con menos CO, pero con más NOx y SO2 (Bernaola, 2013).

Los principales gases contaminantes producidos por los motores diésel son:

- Dióxido de azufre (SO₂)
- Monóxido de carbono (CO)
- Óxidos de nitrógeno (NO_x)
- Hidrocarburos (HC)
- Dióxido de carbono (CO₂)
- Material particulado (PM)

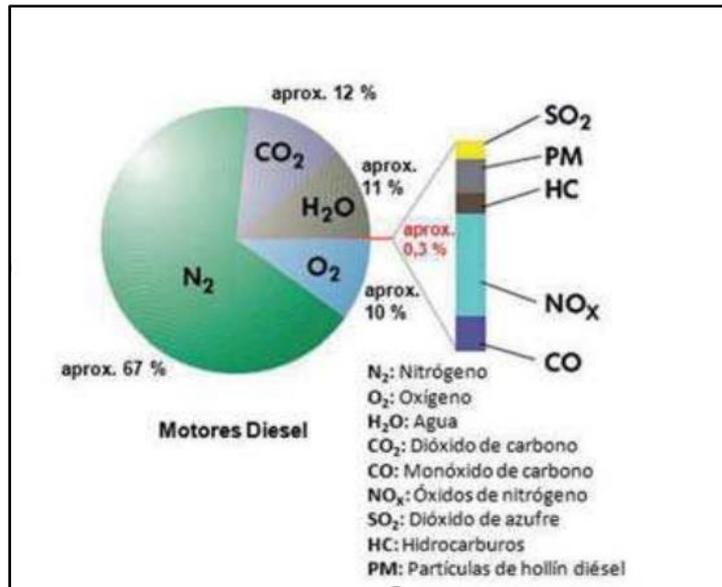


Figura 1.14 Composición de gases contaminantes diésel

(Bernaola, 2013)

1.11 EQUIPOS DE MEDIDA DE OPACIDAD

La aplicación de la medida de la opacidad es de gran importancia para el medio ambiente, ya que está relacionada a la evaluación de las emisiones de gases que se emanan hacia la atmósfera debido a la combustión generada por los motores diésel.

Los equipos que utilizan los centros de inspección vehicular y los laboratorios de calibración para realizar la medición de los niveles de opacidad son los opacímetros, los cuales deben cumplir ciertas características físicas y ópticas, así como el requisito de calibración para asegurar resultados reales en la medición de la opacidad (Metas y Metrólogos Asociados, 2008).

1.11.1 Opacómetro

El opacómetro es un instrumento de medición que se utiliza en el sector automotriz para analizar el porcentaje de opacidad en los motores diésel, este equipo de medición cumple la función de medir la cantidad de hollín o humo que se genera por la combustión en los motores diésel, mientras que en los motores a gasolina este instrumento de medición mide la cantidad de hidrocarburos y monóxido de carbono. Dependiendo del valor que se obtenga de la medición se podrá deducir que tan eficiente es la bomba de inyección o si

tiene algún problema, mientras el resultado de la medición sea menor la bomba se encuentra en perfectas condiciones y es efectiva (Ramos, 2015).

Los opacímetros tienen dos escalas de medición, la primera se mide en unidades de absorción de luz expresado en m^{-1} y la otra escala de medición es lineal de 0% a 100% de opacidad, las dos mediciones se extienden desde cero con el flujo total de luz hasta el valor máximo de la escala con obscurecimiento total (Metas y Metrologos Asociados, 2008).

1.11.2 Principio de funcionamiento del opacímetro

El principio de funcionamiento de los opacímetros se basa en la extinción de la luz cuando se propaga en un medio específico, en el caso de los motores diésel, el humo es el medio de propagación específico. Los opacímetros para controlar las emisiones de los motores diésel, están formados por una cámara de medición que en su interior contiene una fuente emisora y un receptor de luz, de manera que al momento de recircular los gases de escape por esta cámara se genera una absorción del haz de luz emitido hacia el receptor en función de la mayor o menor cantidad de humo negro emitido.

Esta reducción de luminosidad facilita la medición del porcentaje de opacidad de los gases de escape, y como resultado de la prueba realizada, mediante un cálculo logarítmico matemático correspondiente se obtiene el valor actual de opacidad que tiene el vehículo (Reynasa, 2020).

1.11.3 Equipo de comprobación Bosch FSA 740

El equipo de diagnóstico de vehículos FSA 740 es un aparato de comprobación de estructura modular para la técnica de comprobación de los sistemas eléctricos y electrónicos que existen en los vehículos. El equipo FSA 740 se encarga de registrar las señales específicas del vehículo y las transfiere a un PC basado en Windows, a través de una interfaz USB.

En la PC está instalado el software del sistema FSA, en el cual contiene las siguientes funciones:

- Identificación del vehículo
- Ajustes
- Análisis de sistemas para vehículos (comprobador de sensores, osciloscopio universal, etc.) (Bosch, 2019).

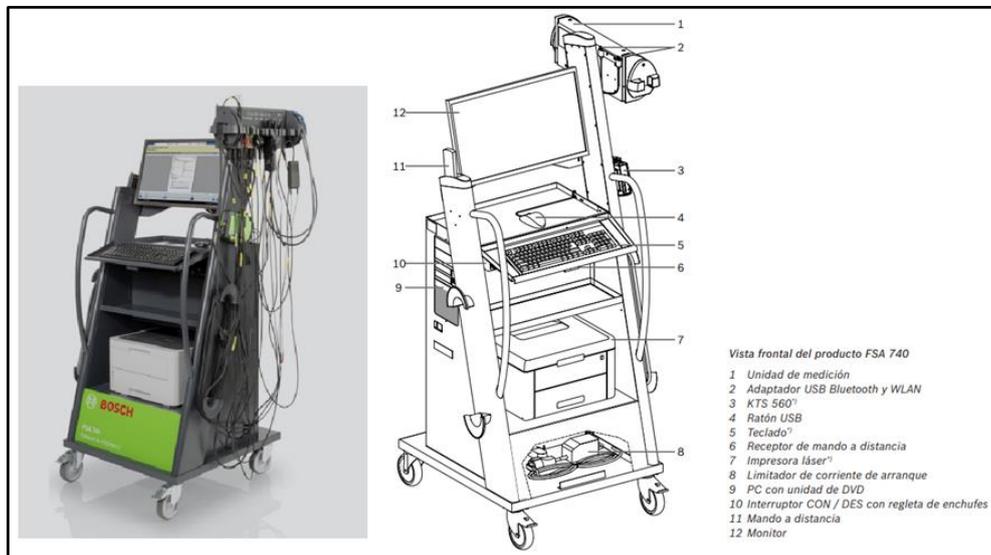


Figura 1.15 Equipo de diagnóstico Bosch FSA 740

(Bosch, 2019)

En la figura 1.15 se puede observar el equipo de diagnóstico Bosch y sus componentes de la parte posterior del equipo, los cuales forman en conjunto un solo equipo de diagnóstico.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

En el presente capítulo se explica la metodología de la investigación que se emplea para el desarrollo del tema propuesto sobre la interpretación de los niveles de opacidad generados por fallas en los actuadores como la válvula dosificadora e inyectores en motores diésel electrónicos CRDI, con el fin de cumplir los objetivos planteados anteriormente. Mediante una investigación documental se recolectó información científica importante y verdadera sobre temas relacionados que aportan al conocimiento sobre el proyecto propuesto. Con la elaboración de un diagrama de flujo se logró seguir un proceso ordenado y secuencial para lograr obtener los resultados esperados por medio del método experimental. Al culminar cada proceso se detalla una explicación basada en la interpretación de los resultados utilizando el método analítico-explicativo.

2.1.1 Enfoque investigativo

El propósito de este proyecto es interpretar los niveles de opacidad generados por fallas en la válvula dosificadora de combustible e inyectores en motores diésel electrónicos, para lo cual es necesario tener conocimiento sobre el funcionamiento de los actuadores mencionados y considerar simulaciones de las señales con la ayuda del equipo de diagnóstico Bosch FSA 740 para obtener valores que pueden afectar en los niveles de opacidad emitidos al medio ambiente.

2.1.2 Tipo de investigación

2.1.2.1 Documental

Para el desarrollo del presente proyecto se utilizó la recolección de información técnica y científica para obtener conocimiento sobre el funcionamiento e interpretación de las señales de los actuadores y niveles de opacidad que emiten los automotores diésel, haciendo uso de diferentes fuentes de información científica como libros, revistas científicas, tesis, artículos científicos, manuales técnicos y páginas web, de tal manera que la información recolectada sea un respaldo confiable que contribuya al desarrollo del proyecto de titulación de grado de manera eficaz con la investigación del tema establecido.

2.1.2.2 Tecnológica

El proyecto se elaboró con el equipo de diagnóstico Bosch FSA 740, utilizando su sistema de software para la interpretación de los niveles de opacidad en las pruebas realizadas en la válvula dosificadora e inyectores del motor diésel, con la finalidad de abarcar todas las necesidades de pruebas requeridas para el desarrollo de la presente investigación.

2.1.2.3 Experimental

Este proyecto es de tipo experimental, debido a que su desarrollo se debe a la simulación, observación, manipulación de equipo tecnológico moderno, pruebas en cada actuador mencionado e interpretación de resultados obtenidos mediante las diferentes pruebas realizadas conforme se desarrolla el proyecto.

2.1.2.4 Analítico

El proyecto se considera analítico debido a que se debe interpretar los resultados obtenidos mediante las diferentes pruebas realizadas a los actuadores mediante el equipo de diagnóstico Bosch FSA 740, y comprobar que los resultados obtenidos sobre los niveles de opacidad emitidos por los motores diésel tengan sentido y coherencia con las pruebas realizadas.

2.2 MATERIALES Y EQUIPOS

Para realizar el presente trabajo de investigación y la ejecución de las diferentes pruebas es necesario el uso de un vehículo o motor diésel con sistema de inyección Common Rail el cual cuenta con una válvula dosificadora de combustible e inyectores Common Rail donde se puede realizar las pruebas de investigación. Para el desarrollo de esta investigación es necesario utilizar los siguientes materiales y equipos.

2.2.2 Equipos y Herramientas

Los equipos y herramientas son elementos que se emplean en todos los procesos de producción al momento de realizar un trabajo. En la tabla 2.1 se describen los equipos y herramientas de gran importancia que se utilizan para el desarrollo de las pruebas de investigación para el presente proyecto.

Tabla 2.1 Equipos y herramientas.

EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	CANTIDAD
Motor diésel CRDI Mazda BT50	1
FSA 740	1
FSA 720 - Módulo de medición portátil	1
KTS 560	1
Analizador de emisiones BEA 070	1
Opacímetro Brain Bee OPA-100	1
Probador y simulador de presión Common Rail GT-508	1
Multímetro automotriz	1
Juego de llaves	1

2.2.2.1 Motor diésel CRDi Mazda BT50

El motor seleccionado para el trabajo de investigación es un banco de pruebas de un motor diésel con sistema Common Rail de un vehículo Mazda modelo BT50.



Figura 2.1 Motor diésel CRDI Mazda BT50

En la tabla 2.2 se detalla las características técnicas, valores de dimensiones, el tipo de sistema de inyección del motor diésel CRDi Mazda BT50.

Tabla 2.2 Especificaciones técnicas del motor.

Marca	Mazda
Sistema de combustible	Diésel
Posición de cilindros	En línea
Número de cilindros	4
Cilindrada	2 499 cm ³
Tipo de inyección	CRDI
Modelo de motor	BT 50
Año	2012

2.2.2.2 Equipo FSA 740

Este es un equipo para el diagnóstico de averías versátil y seguro como se puede apreciar en la figura 2.2 donde se observa que cuenta con un sistema integral en carro de transporte con un módulo de medición y PC, el equipo cuenta aproximadamente con 50 test de componentes preconfigurados e incluye osciloscopio universal y módulo de analizador de gases de escape para vehículos diésel y gasolina.



Figura 2.2 Equipo FSA 740

(Bosch, 2019)

En la tabla 2.3 se detalla las características técnicas y valores aproximados de dimensiones, peso, la fuente de alimentación y el límite de temperatura operativa del equipo FSA740.

Tabla 2.3 Especificaciones técnicas del equipo FSA 740.

Dimensiones (A x L x P)	Aprox. 1 785 x 680 x 670 mm
Peso	Aprox. 91 kg
Voltaje de suministro de alimentación	90 – 264 VAC/47 – 63 Hz
Límite de temperatura operativa	5° C a 40° C
Rango de medición de la temperatura del aire	-20°C a 100°C
Pinza amperimétrica de medición de corriente	0 a 1 000 A
PC con sistema operativo Windows XP	
Equipo de prueba de sistemas KTS 560	
Software de sistema ESI [tronic] 2.0 online	

Fuente: (Bosch, 2019)

2.2.2.3 FSA 720 - Módulo de medición portátil

El módulo de medición portátil FSA 720 como se muestra en la figura 2.3 es un equipo integrado en el equipo Bosch FSA 740 que cuenta con dos canales de altas prestaciones y es capaz de ofrecer una tasa de muestreo de 50 MS/s, y ayuda a capturar imágenes de la forma de las ondas con una elevada precisión y resolver los problemas rápidamente.



Figura 2.3 FSA 720 – Módulo de medición portátil

(Bosch, 2019)

En la tabla 2.4 se detalla las características técnicas y valores aproximados de trabajo que dispone el módulo de medición portátil integrado al equipo FSA 740.

Tabla 2.4 Especificaciones técnicas del FSA 720 – Módulo de medición portátil.

Acoplamiento de entrada CH1/CH2	CA/CC
Impedancia de entrada CH1/CH2 (referida a la masa)	1 MOhm
Impedancia de entrada CH1/CH2 (aislada galvánicamente)	1 MOhm (5 – 200 V) 10 MOhm (200 mV — 2 V)
Impedancia de entrada CH2 (diferencial)	4 MOhm
Anchura de banda CH1 (aislada galvánicamente)	>5 kHz = 200 mV – 2 V > 25 kHz = 5 V – 200 V
Anchura de banda CH1 (referida a la masa)	> 1 MHz = 200 mV – 2 V > 5 MHz = 5 V – 200 V
Anchura de banda pinzas de corriente 1000 A	> 1 kHz
Tasa de exploración por canal	50 ms/s
Resolución vertical	10 bit

Fuente: (Bosch, 2019)

2.2.2.4 KTS 560

Esta fuente es un equipo de diagnóstico para todos los vehículos actuales y futuros que cuenta con multímetro integrado, con el avanzado protocolo de comunicación PassThru se puede acceder al software del fabricante del vehículo y reprogramar unidades de control, además, el módulo cuenta con conexión bluetooth de 100 m de potencia y es diseñado para ser utilizado con el software ESI [tronic] 2.0 online.



Figura 2.4 KTS 560

(Bosch, 2019)

En la tabla 2.5 se detalla las características técnicas, rangos de operación y los protocolos del vehículo de la fuente de alimentación KTS 560.

Tabla 2.5 Especificaciones técnicas de la fuente de alimentación KTS 560.

KTS 560	Multímetro canal 1
Voltaje de funcionamiento	8V CC-28V CC
Consumo eléctrico a través de la batería	< 10 vatios
Conexiones a la PC	USB 2.0, Bluetooth clase 1
Peso	Aprox. 0.5 kg
Protección contra el polvo y agua	IP53
Ancho de banda del multímetro	100 KHz
Protocolos del vehículo	ISO 15 031, ISO 22 900, SAE J2 534-1 Y -2(PassThru), ISO 9 141-2 (K y L), SAE J1 850 VPW y PWM, CAN Alta velocidad ISO 11 898, ISO 15 765-4 (OBD), CAN Single Wire, CAN Baja velocidad, ISO 13 400

Fuente: (Bosch, 2019)

2.2.2.5 Analizador de emisiones BEA 070

Este equipo se utiliza para medir los niveles de opacidad en los vehículos a diésel y gasolina como se observa en la figura 2.5 el equipo siempre se encuentra listo para realizar pruebas y ajustes precisos de motores con su conectividad Bluetooth.



Figura 2.5 Analizador de emisiones BEA 070

(Bosch, 2019)

En la tabla 2.6 se detalla las características técnicas y valores de operación del analizador de emisiones BEA 070.

Tabla 2.6 Especificaciones técnicas del analizador de emisiones BEA 070.

Tensión de entrada	100 V CA – 240 V CA
Corriente de entrada	1.8 A
Frecuencia de entrada	50 Hz/60 Hz
Tensión de salida	15 V
Corriente inicial	4.3 A
Temperatura de servicio	0°C – 40°C

Fuente: (Bosch, 2019)

2.2.2.6 Opacímetro Brain Bee OPA-100

Este equipo se utiliza en centros de revisiones vehicular y talleres automotrices para poder realizar medición de opacidad en motores diésel y gasolina, ya que cuenta con un software para PC el cual permite realizar hasta ocho aceleraciones para poder tomar los datos de opacidad.



Figura 2.6 Opacómetro Brain Bee OPA-100

(CISE electrónica, 2019)

En la tabla 2.7 se detalla las características técnicas y los campos de medición del opacómetro Brain Bee OPA-100.

Tabla 2.7 Especificaciones técnicas del opacómetro Brain Bee OPA-100.

Conexión	USB – Bluetooth
Alimentación	12 VCC – 60 W
Temperatura ambiente	5 – 40°C
Temperatura de cámara	90° estabilizada
Receptor de radio	MGT – 300
Dimensiones	265 x 358 x 265 mm
Peso	7 kg
Autocero	Automático
CAMPOS DE MEDICIÓN	
Opacidad	0 a 99,9 %
Temperatura humo	20 a 400°C
Cuentarrevoluciones	300 a 9 990 rpm
Temperatura aceite	20 a 150°C

Fuente: (CISE electrónica, 2019)

2.2.2.7 Probador y simulador de presión Common Rail GT-508

El simulador de presión Common Rail GT-508 es un equipo portátil que sirve para realizar la medición de la presión del Common Rail en motores diésel CRDI, permitiendo hacer pruebas en sensores Bosch, Denso y Delphi. Además, sirve como simulador de la

presión del combustible en el circuito de alta presión para poder diagnosticar problemas en la vía del combustible.



Figura 2.7 Probador y simulador de presión Common Rail GT-508

(Reyes, 2018)

En la tabla 2.8 se muestra las especificaciones técnicas y parámetros de funcionamiento del equipo GT-508.

Tabla 2.8 Especificaciones técnicas del equipo GT-508.

Voltaje	8 a 32 V
Corriente	<50 mA
Temperatura	-20 a 70 °C
Humedad	60 %
Rango de medición	0 – 200 MPa

Fuente: (Reyes, 2018)

2.2.2.8 Multímetro automotriz

El multímetro automotriz es un equipo diseñado para la medir voltaje AC/DC, corrientes DC, en el campo automotriz es más utilizado para probar el voltaje de baterías. Además de medir la resistencia y realizar verificaciones de diodos.



Figura 2.8 Multímetro automotriz

(Truper S.A, 2022)

En la tabla 2.9 se detalla las características técnicas, el tipo de necesidades de uso y rangos de valores que dispone el multímetro automotriz.

Tabla 2.9 Especificaciones técnicas del multímetro automotriz.

Tipo	Digital
Selección de rango	Manual
Voltaje DC	Hasta 1 000 V
Voltaje AC	Hasta 1 000 V
Resistencia	hasta 50 MOhm
DC corriente	Hasta 10 A
AC corriente	Hasta 10 A
Capacitancia	Max. 9 999 uF
Frecuencia	Max. 200 KHz
Termómetro	-200.0°C – 1 090°C
Temperatura de operación	-20°C – 55°C
Tamaño	5.2 cm x 9.8 cm x 20.1 cm
Peso	624 g

Fuente: (Truper S.A, 2022)

2.3 PROCESOS METODOLÓGICOS

En la figura 2.7 se presenta el flujograma sobre el proceso metodológico que se desarrolló en el presente trabajo de investigación, donde se resume los pasos a seguir para la interpretación de los niveles de opacidad generados por fallas en la válvula dosificadora de combustible e inyectores en motores diésel electrónicos.

El proceso empieza con la selección del vehículo o motor para realizar las pruebas, para efectuar estas pruebas, se realiza la identificación de los actuadores que van a ser sometidos a pruebas, posteriormente se realiza la obtención de las señales de la válvula dosificadora de combustible y de los inyectores con un osciloscopio universal que forma parte del equipo Bosch FSA 740, con el cual se obtiene las gráficas de cada actuador mencionado para ver el funcionamiento y el estado en el que se encuentran.

Posterior se realiza la medición de los niveles de opacidad que son generados por la combustión en el motor diésel electrónico en su buen estado de funcionamiento. Para la medición se utiliza el opacímetro que es un elemento integrado al equipo Bosch FSA 740. Posteriormente se realiza la obtención de las señales de fallas en la válvula dosificadora de combustible e inyectores variándose sus señales en cada uno de los actuadores, luego se realiza la medición de los niveles de opacidad, con lo cual se obtiene datos necesarios para seguir con los análisis del estudio.

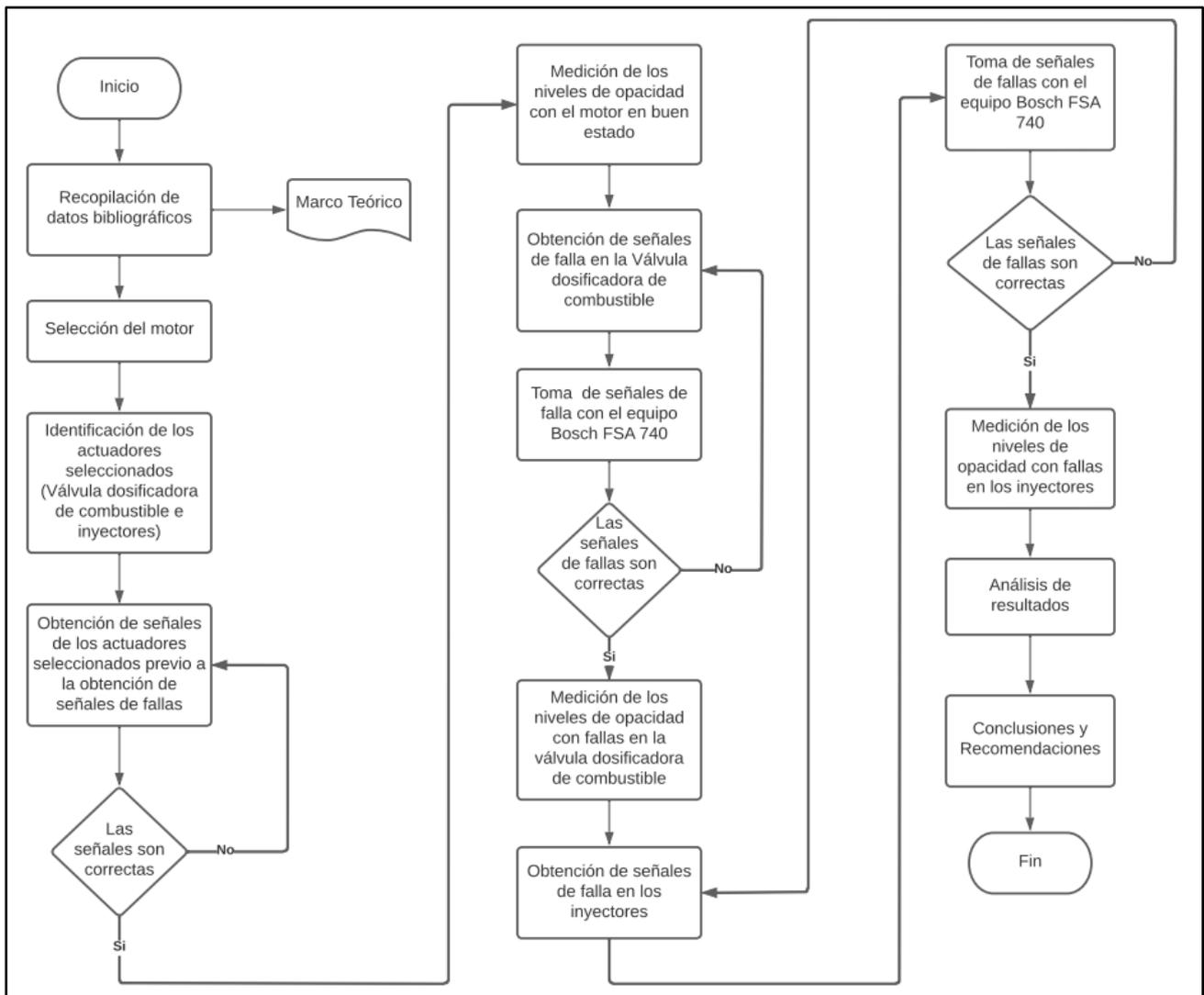


Figura 2.7 Flujograma de proceso metodológico

2.3.1 Selección del vehículo

Para la selección del vehículo o para este caso se consideró la selección de un banco de pruebas de un motor electrónico diésel CRDI como se muestra en la figura 2.8. El cual fue seleccionado por aspectos importantes, siendo el principal que el motor disponga de un sistema de inyección Common Rail y disponga de los actuadores seleccionados que servirán para las diferentes pruebas a realizar.



Figura 2.8 Banco de pruebas del motor diésel

2.3.2 Identificación de los actuadores seleccionados (Válvula dosificadora de combustible e inyectores)

Una vez que se ha seleccionado el vehículo, se identifica los actuadores para realizar las diferentes pruebas. Para esto es necesario conocer donde se encuentran ubicados cada elemento del motor y tener conocimiento sobre su funcionamiento, características y las señales de cada actuador seleccionado.

En primer lugar, se identificó que la unidad dosificadora de combustible es una válvula Bosch que se encuentra acoplada a la bomba de alta presión como se muestra en la figura 2.9.



Figura 2.9 Ubicación de la válvula dosificadora de combustible

Por otro lado, los inyectores se encuentran ubicados en el bloque del motor conectados a las tuberías de alta presión del conducto common rail como se puede apreciar en la figura 2.10.

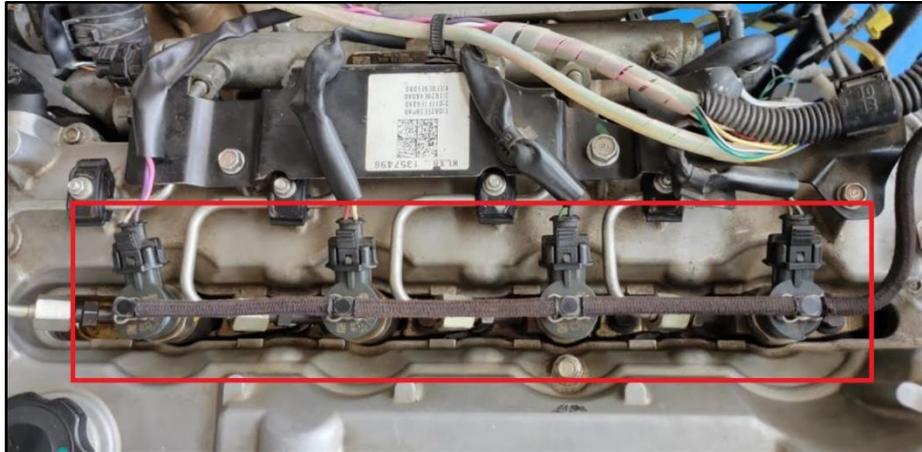


Figura 2.10 Ubicación de los inyectores

2.3.3 Obtención de señales de los actuadores seleccionados previo a la obtención de señales de fallas

Para la obtención de las señales de la válvula dosificadora de combustible y de los inyectores, se utilizó el equipo de medición portátil FSA 720, el cual forma parte del equipo Bosch FSA 740, con el cual se obtuvo las gráficas de cada actuador mencionado para ver el funcionamiento y el estado en el que se encuentran.

Para obtener las señales de funcionamiento de la válvula dosificadora de combustible conectamos las agujas desde el canal 1 hacia los terminales de la válvula dosificadora de combustible como se observa en la figura 2.11.

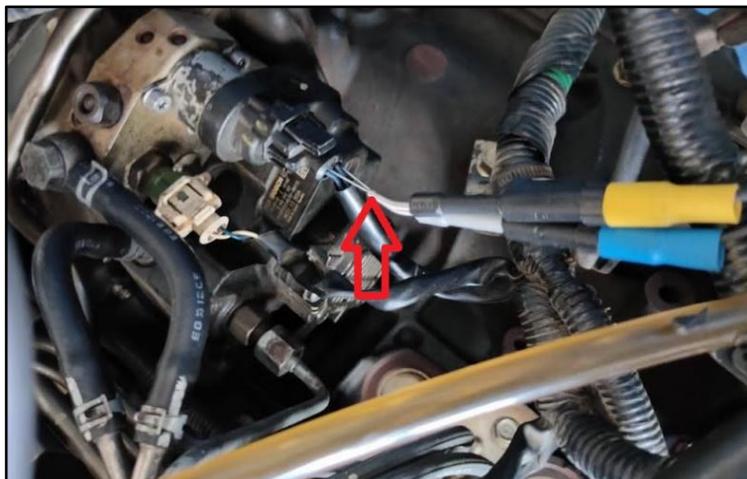


Figura 2.11 Conexión de las agujas en los terminales de la válvula dosificadora

De la misma manera para obtener las señales de los inyectores, con el mismo equipo de medición portátil FSA 720 (osciloscopio), conectamos las agujas desde el canal 1 hacia los terminales del inyector, para así revisar las gráficas y señales de cada inyector y desde el canal 2 la pinza amperimétrica para medir el consumo de corriente de los inyectores como se observa en la figura 2.12.



Figura 2.12 Conexión de agujas de medición y la pinza amperimétrica en un inyector

2.3.4 Medición de los niveles de opacidad con el motor en buen estado

Una vez tomadas las señales de los actuadores y verificar su funcionamiento y buen estado, se realiza la medición de los niveles de opacidad que son generados por la combustión en el motor electrónico diésel cuando el motor se encuentra en buen estado de funcionamiento.

Para la medición se utiliza el equipo de medición de emisiones BEA 070 como se muestra en la figura 2.13 el cual es un opacímetro que es un elemento integrado al equipo Bosch FSA 740.



Figura 2.13 Equipo de medición de emisiones BEA 070

Donde primero seleccionamos la opción de emisiones y gases de escape en la computadora, después realizamos las conexiones de los distintos elementos para realizar la medición, empezando por retirar la varilla del medidor de aceite del motor y colocando el cable del medidor de la temperatura del aceite del motor, después conectamos las pinzas del equipo de medición portátil FSA 720 hacia la batería (pinza color negro hacia el terminal negativo de la batería y la pinza roja hacia el terminal positivo de la batería) para medir las revoluciones del motor como se puede observar en la figura 2.14.

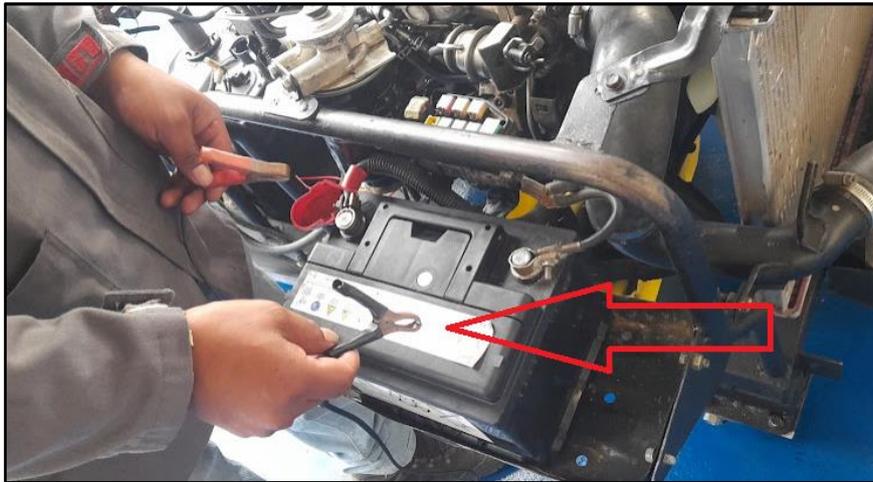


Figura 2.14 Conexión de pinzas para medir las rpm

Una vez realizado las conexiones de medición, encendemos el motor y medimos la temperatura del aceite del motor, la cual debe encontrarse a 60°C por lo mínimo para poder empezar a realizar las pruebas de opacidad.

Por último, colocamos el cable que mide la opacidad dentro del tubo de escape del motor y realizamos la medición a 2000 y 2500 rpm.

2.3.5 Obtención de señales de falla en la válvula dosificadora de combustible

Para la obtención de las señales de fallas en la válvula dosificadora de combustible se modificó los valores la válvula dosificadora para simular que las señales presentan fallas y tengan problemas de funcionamiento.

La falla a la que fue sometida la válvula dosificadora de combustible fue la modificación de la señal de PWM colocando una resistencia de 003,5 ohmios en el cable de la señal

como se puede observar en la figura 2.15, para de esta manera ir variando el tiempo de activación de la válvula y poder modificar la presión de control.

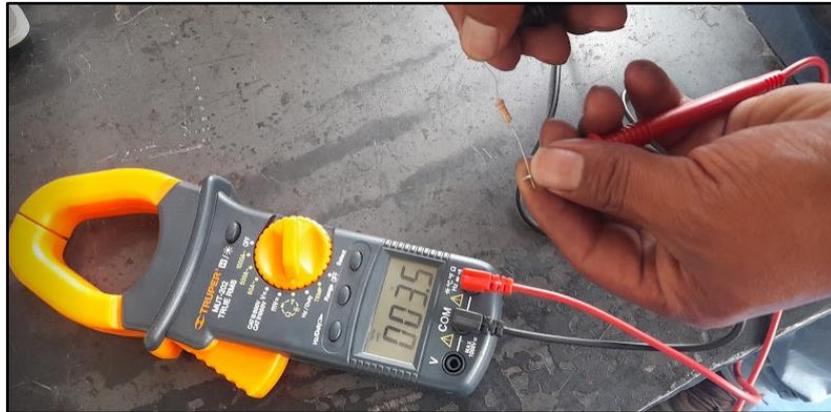


Figura 2.15 Resistencia de 003,5 ohmios

Para obtener la señal de falla, se realizó un puentado de un cable de color rojo del socket hacia el terminal de la válvula dosificadora de combustible que conduce la alimentación de 12 V, y otro cable de color negro con una resistencia de 003.5 ohmios del socket hacia el terminal de la válvula dosificadora de combustible que conduce la señal de PWM como se puede observar en la figura 2.16.

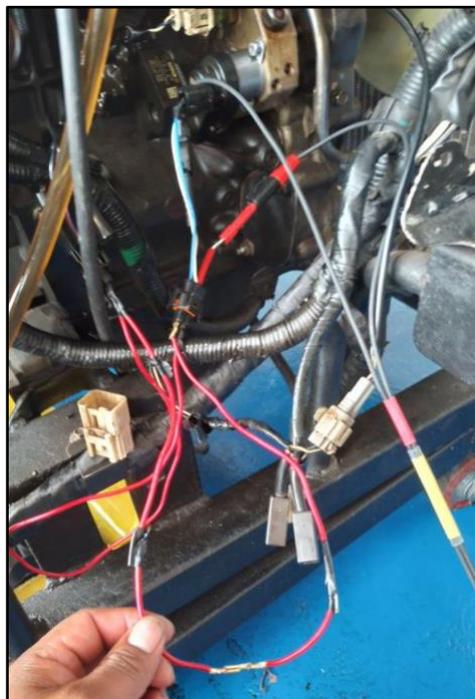


Figura 2.16 Conexión de resistencia de 003.5 ohmios en la válvula dosificadora de combustible

2.3.6 Toma de señales de fallas con el equipo Bosch FSA 740

Para la toma de señales y datos específicos utilizamos la opción de osciloscopio universal del equipo Bosch FSA 740 como se visualiza en la figura 2.17

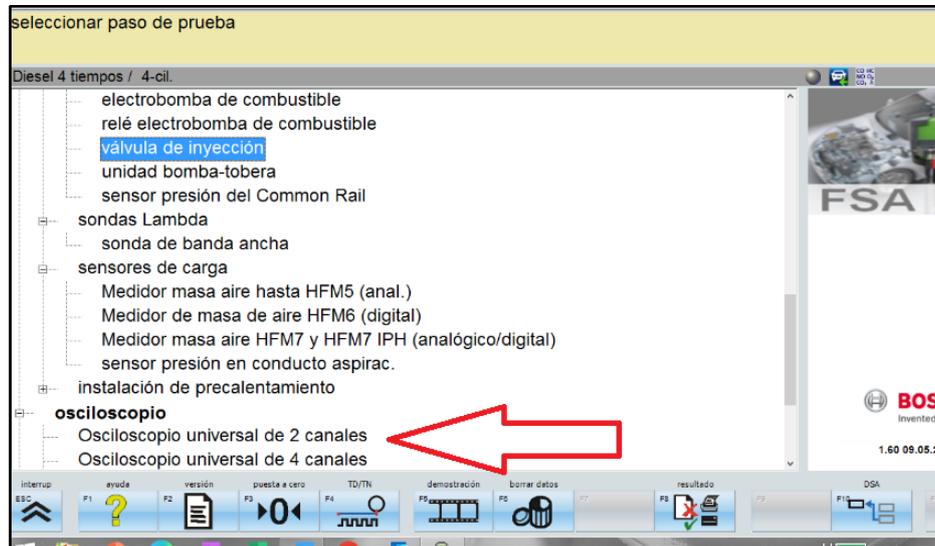


Figura 2.17 Selección de la opción osciloscopio universal para obtener oscilogramas

Donde para obtener la generación de señales conectamos los cables de las agujas del canal 1 del equipo de medición portátil FSA 720 (osciloscopio) y se procedió a realizar las pruebas con el motor en contacto, ralentí y a 2500 rpm, para así obtener los datos necesarios.

2.3.7 Medición de los niveles de opacidad con fallas en la válvula dosificadora de combustible

La medición de los niveles de opacidad se realizó de la misma manera a diferencia de que para esta ocasión se realizó con la modificación de la señal en la válvula dosificadora de combustible.

El equipo que se utilizó para la medición de los niveles de opacidad es el opacímetro Brain Bee OPA-100, debido a que el motor dejaba de funcionar por la falla generada en la válvula dosificadora de combustible, por lo que se necesitó de este equipo ya que el equipo solo tarda 5 segundos de diferencia entre la toma de una medición a otra.

Para empezar, se realizó las conexiones del opacímetro, el medidor de revoluciones y la fuente de energía hacia la computadora que cuenta con el programa específico para realizar la medición de la opacidad como se observa en la figura 2.18.



Figura 2.18 Conexiones del opacímetro

Una vez realizado las conexiones se conectó las pinzas del medidor de rpm hacia la batería para medir las revoluciones del motor y se procedió a encender el motor hasta alcanzar una temperatura de 75° C por lo mínimo debido a que ese es un requisito para poder realizar las pruebas como se muestra en la figura 2.19.

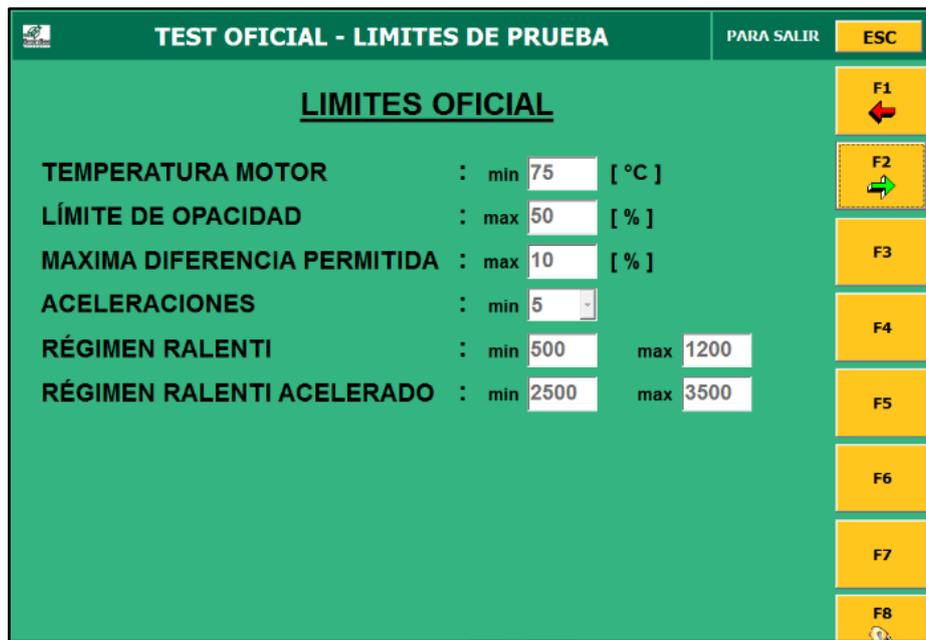


Figura 2.19 Condiciones para empezar a realizar la medición de la opacidad

2.3.8 Obtención de señales de falla en los inyectores

Para la obtención de las señales de fallas en los inyectores, se reemplazaron los inyectores que se encontraban en perfecto funcionamiento como se observa en la figura 2.20 por inyectores que eran defectuosos y tenían problemas de inyección, para así obtener señales que tengan problemas de funcionamiento en la dosificación de combustible.



Figura 2.20 Reemplazo de inyector en buen estado

Para comprobar que los inyectores reemplazados se encontraban con fallas en la dosificación de combustible, se realizó una prueba de retorno de combustible para ver el estado de los mismos, donde en la figura 2.21 se observa la conexión del equipo para realizar la prueba de retorno.



Figura 2.1 Conexión para la prueba de retorno de combustible en inyectores diésel

Una vez realizada la prueba de retorno, con la ayuda del equipo probador y simulador de presión Common Rail GT-508 se varió la presión de combustible en el riel a una presión

de 61,70 MPa (Mega Pascales) para simular otra falla adicional en los inyectores como se puede observar en la figura 2.22.



Figura 2.22 Simulación de señal de falla en inyectores Common Rail

Para empezar a realizar la simulación primero desconectamos el sensor de presión del riel y conectamos el socket del simulador de presión Common Rail GT-508 en el riel para poder realizar la simulación y una vez encendido el motor se fue variando la presión en el en simulador hasta obtener una presión de 61,70 MPa en el riel.

2.3.9 Toma de señales de falla con el equipo Bosch FSA 740

El registro de las señales de fallas en los inyectores se realizó con la ayuda del equipo Bosch FSA 740 como se muestra en la figura 2.23 con el cual realizamos la generación de señales mediante la conexión de las agujas del cable de medición del canal 1 del equipo de medición portátil FSA 720 (osciloscopio) hacia los terminales de cada inyector y conectamos la pinza amperimétrica del canal 2 en un cable del inyector para medir el consumo de corriente y procedemos a realizar las pruebas a ralentí y a 2000 rpm.

Para cada inyector repetimos el mismo proceso para obtener los datos necesarios para la interpretación de las señales.



Figura 2.23 Obtención de señales de falla en inyectores con el equipo FSA 740

2.3.10 Medición de los niveles de opacidad con fallas en los inyectores

Para la medición de los niveles de opacidad se utilizó el equipo BOSCH FSA 740, en esta ocasión se realizó la obtención de datos con la condición de que las señales de los inyectores presentan fallas. De esta manera se verifica si las fallas en los inyectores afectan en los niveles de opacidad emitidos a la atmósfera.

La prueba de medición se realizó con la ayuda del equipo de medición de emisiones BEA 070 (opacímetro) del equipo Bosch FSA 740, donde primero colocamos la varilla de medición de la temperatura del aceite del motor y la conexión de las pinzas del equipo FSA 720 hacia los terminales de la batería para medir las revoluciones del motor.

Igualmente verificamos si la temperatura del aceite del motor se encuentra a 60°C por lo mínimo para poder iniciar con la prueba de opacidad, luego colocamos el medidor de opacidad dentro del tubo de escape como se observa en la figura 2.24.

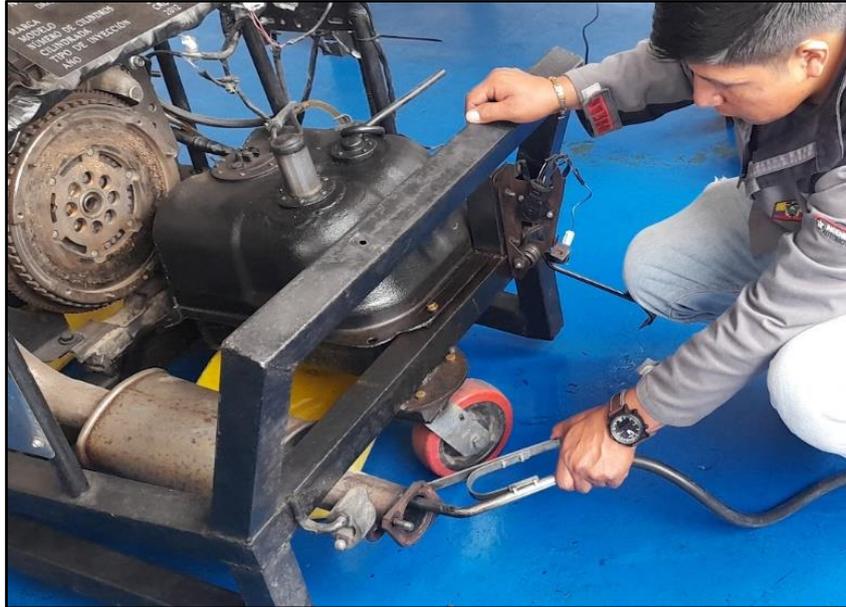


Figura 2.24 Instalación del medidor de opacidad en el tubo de escape

Para finalizar procedemos a realizar la prueba de medición a un rango de 2500 rpm y una vez terminada la prueba, se retira el medidor de opacidad del tubo de escape, para así poder volver a iniciar el proceso una vez más.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo se detalla los resultados obtenidos en las pruebas realizadas en la válvula dosificadora de combustible e inyectores del banco de pruebas del motor diésel electrónico, aplicando los pasos establecidos en la metodología con la finalidad de poder interpretarlos y dar a conocer las causas y efectos mediante una constatación escrita.

En cada proceso de la metodología se obtuvo datos como oscilogramas y valores reales de la válvula dosificadora de combustible e inyectores en condiciones normales de funcionamiento y cuando estos actuadores presentan problemas de funcionamiento, para luego ser analizados e interpretados para llegar a los resultados deseados en el presente trabajo de grado.

3.1 Identificación de actuadores seleccionados

Para la realización del trabajo de grado inicialmente se seleccionó el banco de prueba, el cual se trata de un motor diésel CRDI de la marca MAZDA modelo BT50 del año 2012, donde se realizó la identificación de la válvula dosificadora de combustible y de los inyectores con el equipo Bosch FSA 740.

La válvula dosificadora de combustible se encuentra acoplada a la bomba de alta presión controlando el paso de combustible, la unidad dosificadora es una válvula Bosch que cuenta con dos cables, donde con la ayuda de un multímetro se logró determinar que el cable de color (azul y línea roja) pertenece a la señal PWM que es controlada por la ECM y el otro cable de color (azul con línea negra) pertenece a la alimentación de 12 voltios como se puede observar en la figura 3.1.



Figura 3.1 Cables de la válvula dosificadora de combustible

Una vez identificada la válvula dosificadora de combustible, se procedió a identificar los inyectores del motor, los cuales son inyectores electrónicos bobinados como se observa en la figura 3.2, los cuales se encuentran en el block del motor conectados por las tuberías de alta presión desde el Common Rail.



Figura 3.2 Inyectores diésel electrónicos bobinados

3.2 Obtención de señales de los actuadores

En el capítulo anterior se mencionó que, para la obtención de datos y señales de los oscilogramas se utilizó el equipo Bosch FSA 740, con el cual se logró realizar las pruebas en cada actuador seleccionado.

3.2.1 Señales de la válvula dosificadora de combustible

Al conectar las agujas a los pines de la válvula dosificadora de combustible desde el equipo de medición portátil FSA 720, se logró obtener el oscilograma de trabajo de la válvula, donde se puede observar la señal del tiempo de activación de la válvula dosificadora de combustible, así como el porcentaje de trabajo y la frecuencia a la que trabaja, además de la tensión de voltaje máxima y mínima cuando la válvula se encuentra en contacto, en ralentí y cuando se encuentra acelerado.

La figura 3.3 corresponde al oscilograma de la válvula dosificadora cuando se encuentra en contacto, donde se observa que la válvula empieza a energizarse hasta alcanzar una tensión máxima de 12,8 voltios, mientras la válvula empieza a energizarse existe un consumo de corriente de 0,9 ms hasta que la válvula vuelve a desenergizarse.

Una vez energizada la válvula, está se mantiene abierta durante un tiempo de trabajo de 16,3% y empieza a desenergizarse hasta alcanzar una tensión mínima de -1,20 voltios y se mantiene cerrada durante un tiempo de 83,3%, hasta que otra vez vuelve a energizarse completando así un ciclo de trabajo.



Figura 3.3 Oscilograma de la válvula dosificadora de combustible en contacto.

Una vez obtenido el oscilograma y los datos de la válvula dosificadora cuando se encuentra en contacto, se procedió a encender el motor y realizar la toma del oscilograma cuando el motor se encuentra en ralentí, donde en la figura 3.4 se observa que el oscilograma varía, ya que la válvula envía más combustible hacia la bomba de alta presión por lo que el tiempo de trabajo aumenta.

En la figura 3.4 se observa el oscilograma de la válvula dosificadora de combustible cuando el motor se encuentra a ralentí, donde se puede apreciar que la ECU exita la válvula hasta alcanzar una tensión máxima de 13,8 voltios, para luego mantenerse activada durante un porcentaje de trabajo de 39,7%, luego la señal cae hasta una tensión mínima de -1.50 voltios debido a que la válvula se desenergiza y se mantiene desactivada durante un tiempo de 60,3% para luego volver a repetir otro ciclo de trabajo.

En cada ciclo de trabajo existe un consumo de corriente que inicia al momento en el cual la válvula empieza a energizarse y termina cuando la válvula se encuentra desactivada totalmente, en este caso el tiempo obtenido es de 2,1 ms cuando el motor se encuentra a ralentí. Además, la frecuencia es de 183,8 Hz que indica que durante 1 segundo se va a repetir 183 veces cada ciclo de trabajo.

El periodo completo de activación de la válvula durante un ciclo completo se realiza en un tiempo de 5,5 ms.



Figura 3.4 Oscilograma válvula dosificadora de combustible ralentí

Continuando con la toma de datos, en la figura 3.5 se puede apreciar el oscilograma de la válvula dosificadora de combustible cuando el motor se encuentra acelerado a un rango de 2500 rpm. En el oscilograma se observa que la señal de activación varía de manera que la frecuencia y el tiempo de trabajo disminuye en relación cuando se encuentra a ralentí.

La figura 3.5 representa el oscilograma de la válvula dosificadora de combustible cuando el motor se encuentra acelerado a un rango de 2500 rpm, donde se observa que la válvula se empieza a energizar hasta alcanzar una tensión máxima de 14 voltios, donde después la válvula se activa durante un porcentaje de trabajo de 36,4% permitiendo el paso de combustible y después se vuelve a desenergizar y la señal cae hasta una tensión mínima de -1,50 voltios y se mantiene desactivada durante un periodo de porcentaje de 63,6% completando así un ciclo de trabajo.

El periodo completo de activación de la válvula durante un ciclo completo se realiza en un tiempo de 5,6 ms, además del tiempo del consumo de corriente durante ese ciclo de trabajo cuando el motor se encuentra acelerado a un rango de 2500 rpm es de 2,0 ms y la frecuencia es de 178,6 Hz que indica que durante 1 segundo se va a repetir 178 veces cada ciclo de trabajo.



Figura 3.5 Oscilograma de la válvula dosificadora de combustible a 2500 rpm

Para determinar el estado en el que se encuentra la válvula dosificadora de combustible, en la tabla 3.1 se puede observar los datos obtenidos cuando esta válvula trabaja en distintos parámetros.

Tabla 3.1 Cuadro comparativo de valores de la válvula dosificadora de combustible.

	Contacto	Ralentí	2500 rpm
Tensión máxima	12,8 V	13,8 V	14 V
Tensión mínima	-1,20 V	-1,50 V	-1,50 V
Trabajo %	16,3 %	39,7 %	36,4 %
Frecuencia	185,2 Hz	183,8 Hz	178,6 Hz
Período de activación	5,5 ms	5,5 ms	5,6 ms
Consumo de corriente	0,9 ms	2,1 ms	2,0 ms

En la tabla 3.1 se aprecia que el porcentaje de trabajo en su tiempo de activación cuando se encuentra en contacto a diferencia de cuando se encuentra a ralentí, existe un incremento del porcentaje del tiempo de activación, mientras que a 2500 rpm se tiene una disminución del porcentaje del tiempo de activación, mientras que la frecuencia presenta una disminución debido a que la válvula dosificadora de combustible a mayor revoluciones, la duración del tiempo de activación de la válvula dosificadora es más repetitivo y por lo tanto la frecuencia de activación se reduce.

3.2.2 Señales de los inyectores

Una vez determinado los datos de la válvula dosificadora de combustible, se continuo con la toma de datos de los inyectores. Para lo cual se realizó la obtención de oscilogramas con la ayuda del equipo FSA 740.

3.2.2.1 Señal del inyector 1

Para la obtención de los oscilogramas de cada inyector, primero se conectó las agujas del canal 1 desde el equipo de medición portátil FSA 720 (osciloscopio) hacia los terminales del primer inyector, además de conectar las pinzas hacia la batería para medir las revoluciones del motor y empezar a realizar la toma de los oscilogramas.

La figura 3.6 corresponde al oscilograma del inyector 1 cuando el motor se encuentra encendido a ralentí, donde se observa que la inyección comienza cuando la ECU envía la señal y el inyector comienza a energizarse hasta alcanzar una tensión máxima de 48,5 voltios y se observa dos preinyecciones durante un tiempo de 0,78 ms y una inyección principal de 0,42 ms que indica el tiempo de activación del inyector cuando empieza a trabajar en la inyección del combustible y después la ECU envía la señal para desactivar la inyección y la señal desciende hasta una tensión mínima de -43.4 voltios.

También se observa el ciclo completo de la inyección durante un tiempo de 5,3 ms y el consumo de corriente de 18,2 amperios.

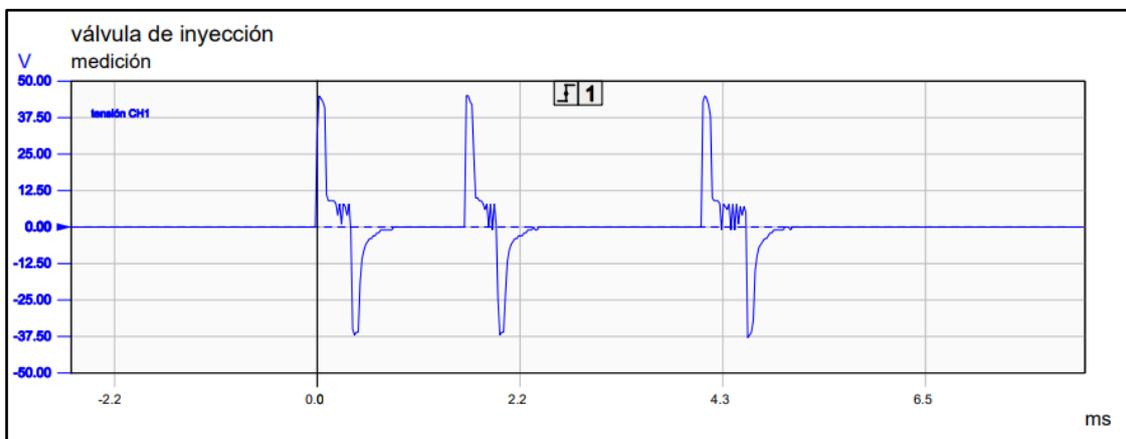


Figura 3.6 Oscilograma del inyector 1 a ralentí

Para ver el estado y funcionamiento del inyector, se realizó la toma del oscilograma a un rango de 2000 rpm. Donde se observa que la inyección inicia cuando la señal se energiza hasta alcanzar una tensión máxima de 48,9 voltios y mientras las revoluciones aumenta, el proceso de inyección es más rápido por lo que en el oscilograma se observa una sola preinyección durante un tiempo de 0,34 ms y una inyección principal durante un tiempo de 0,48 ms, después la ECU envía la señal al inyector para cortar la inyección, en ese momento la señal cae hasta una tensión mínima de -43,6 voltios.

También se observa el ciclo completo de inyección en un tiempo total de 2,9 ms y un consumo de corriente de 18,3 amperios como se puede apreciar en la figura 3.7

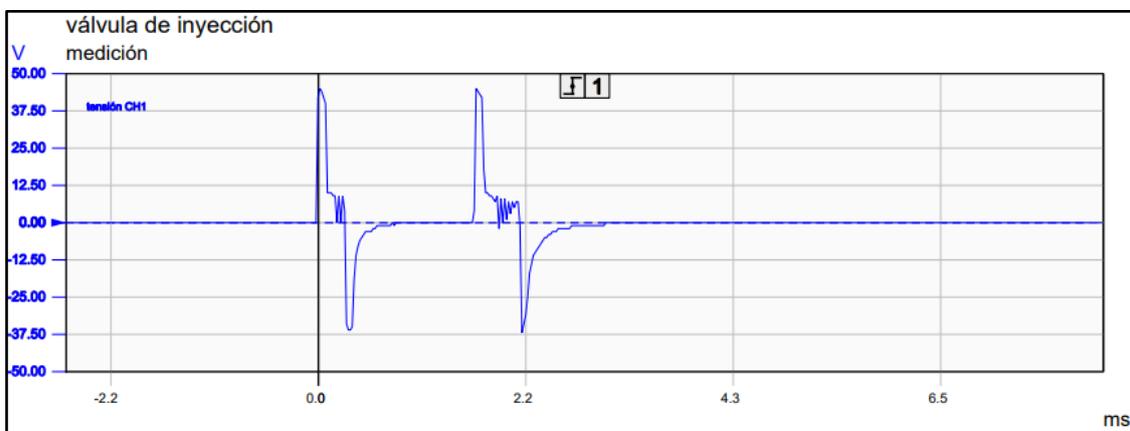


Figura 3.7 Oscilograma del inyector 1 a 2000 rpm

Una vez finalizado la toma de oscilogramas, se realizó una tabla con los datos obtenidos en la medición del primer inyector, como se muestra en la tabla 3.2 donde se observa que los datos obtenidos corresponden a los oscilogramas mostrados anteriormente cuando el motor se encuentra a ralentí y a 2000 rpm.

Tabla 3.2 Cuadro de datos del inyector 1.

	Ralentí (740 rpm)	Acelerado (2000 rpm)
Tensión máxima	48,5 V	48,9 V
Tensión mínima	-43,4 V	-43,6 V
Tiempo - Preinyección	0,78 ms	0,34 ms
Tiempo – Inyección principal	0,42 ms	0,48 ms
Ciclo completo de inyección	5,3 ms	2,9 ms
Consumo de corriente	18,2 A	18,3 A

En la tabla 3.2 se observa que la tensión máxima del inyector aumenta de 48,5 voltios cuando se encuentra a ralentí a 48,9 voltios cuando sube las revoluciones, y el tiempo de la preinyección desciende de 0,78 ms cuando el motor se encuentra a ralentí a 0,34 ms debido a que el inyector debe inyectar el combustible en una mayor cantidad de repeticiones y por tal motivo solo se tiene una preinyección.

Además, se observa que el tiempo de la inyección principal incrementa de 0,42 ms cuando se encuentra el motor a ralentí a 0,48 ms cuando aumenta las revoluciones, en este caso a 2000 rpm. El aumento en el tiempo de la inyección principal se da ya que el inyector tiene que inyectar una mayor cantidad de combustible.

3.2.2.2 Señal del inyector 2

Una vez culminado con la toma de datos del inyector 1, se repite el proceso para los demás inyectores. En la figura 3.8 se observa el oscilograma del inyector 2 cuando el motor se encuentra encendido a ralentí, donde se observa dos preinyecciones durante un tiempo de 0,76 ms y la inyección principal durante un tiempo de 0,44 ms que indica el tiempo de duración del momento en el que la tobera del inyector se abre completamente para inyectar el combustible.

También se observa que en las preinyecciones y en la inyección principal al momento en el que el inyector comienza a energizarse, alcanza una tensión máxima de 48,7 voltios y después de que el inyector realiza su trabajo, la ECU envía la señal de desactivación del inyector y la señal cae hasta alcanzar una tensión mínima de -43,1 voltios y después vuelve a estabilizarse para iniciar un nuevo ciclo de inyección. Además, en el oscilograma se observa que el ciclo completo de la inyección ocurre durante un tiempo de 5,0 ms y existe un consumo de corriente de 18,4 amperios al momento que comienza la inyección.

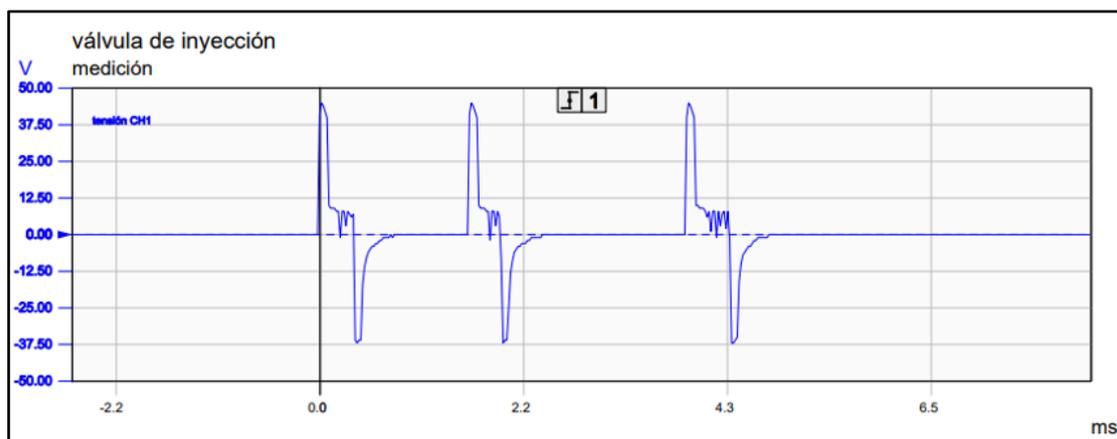


Figura 3.8 Oscilograma del inyector 2 a ralentí

Para ver el comportamiento del inyector cuando las revoluciones aumentan, en la figura 3.9 se observa el oscilograma del inyector 2 cuando trabaja a un rango de 2000 rpm, donde se visualiza solo una preinyección debido a que el proceso de inyección es más

rápido y se necesita inyectar el combustible a una mayor velocidad. El tiempo en el que sucede la preinyección es de 0,34 ms, y el tiempo que se demora en abrirse por completo la tobera del inyector al momento de la inyección principal es de 0,48 ms.

También se observa que la tensión máxima alcanzada al momento en el que el inyector empieza a energizarse es de 48,1 voltios y cuando termina la inyección principal comienza a desenergizarse hasta alcanzar una tensión mínima de -40,4 voltios. Además, se observa que el ciclo completo de la inyección se realiza en un tiempo de 2,7 ms con un consumo de corriente de 18,4 amperios.

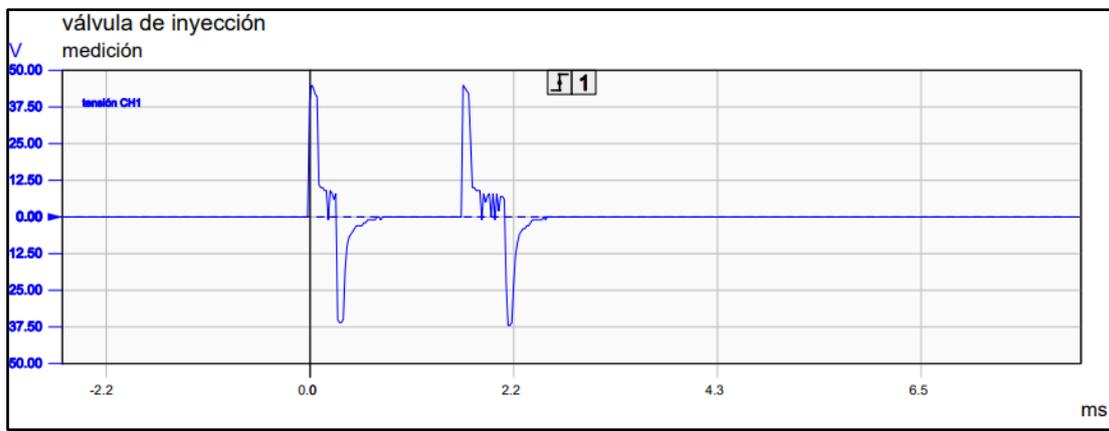


Figura 3.9 Oscilograma del inyector 2 a 2000 rpm

En la tabla 3.3 se observa los datos obtenidos al realizar las pruebas correspondientes al inyector 2, cuando este se encuentra a ralentí y acelerado a 2000 revoluciones del motor.

Tabla 3.3 Cuadro de datos del inyector 2.

	Ralentí (740 rpm)	Acelerado (2000 rpm)
Tensión máxima	48,7 V	48,1 V
Tensión mínima	-43,1 V	-40,4 V
Tiempo - Pre inyección	0,76 ms	0,34 ms
Tiempo – Inyección principal	0,44 ms	0,48 ms
Ciclo completo de inyección	5,0 ms	2,7 ms
Consumo de corriente	18,4 A	18,4 A

La tabla 3.3 corresponde a los datos obtenidos del inyector 2 una vez realizadas las pruebas a ralentí y a 2000 rpm, donde se observa que en la inyección principal se da un

pequeño incremento en el tiempo de activación cuando el motor incrementa las revoluciones del motor, registrándose un tiempo de 0,48 ms en la inyección principal a diferencia del tiempo registrado cuando el motor se encuentra a ralentí, donde se obtuvo un tiempo de 0,44 ms.

También se observa la diferencia en el tiempo de la preinyección, ya que con el motor a ralentí se registró un tiempo de 0,76 ms a diferencia de cuando el motor aumenta sus revoluciones, donde se obtiene una disminución del tiempo de la preinyección, registrando un tiempo de 0,34 ms debido a que se necesita inyectar el combustible a una mayor velocidad por eso existe un menor tiempo cuando el motor aumenta sus revoluciones.

Otra comparación que se observa en la tabla 3.3 es el tiempo del ciclo completo de la inyección cuando el motor se encuentra a 2000 rpm, donde se visualiza que es más corto ya que se obtiene un valor de 2,7 ms, a diferencia de cuando se encuentra a ralentí donde se registra un tiempo de 5,0 ms debido a que se tiene dos preinyecciones.

3.2.2.3 Señal del inyector 3

La figura 3.10 corresponde al oscilograma del inyector 3 cuando el motor se encuentra a ralentí, en el oscilograma se observa que el inyector se encuentra en perfectas condiciones de trabajo, ya que no presenta irregularidades en su señal. En el oscilograma se observa dos preinyecciones, las cuales se realizan en un tiempo de 0,74 ms y la señal de la inyección principal que se tarda 0,42 ms en abrirse la tobera completamente para inyectar el combustible en la cámara de combustión.

Además, se observa que cuando el inyector comienza a prepararse para comenzar la inyección, este alcanza una tensión máxima de 48,2 voltios y cuando termina de realizar la inyección, la señal desciende hasta una tensión mínima de -43,3 voltios.

El ciclo completo de la inyección se realiza durante un tiempo de 5,1 ms y un consumo de corriente de 18,4 amperios.

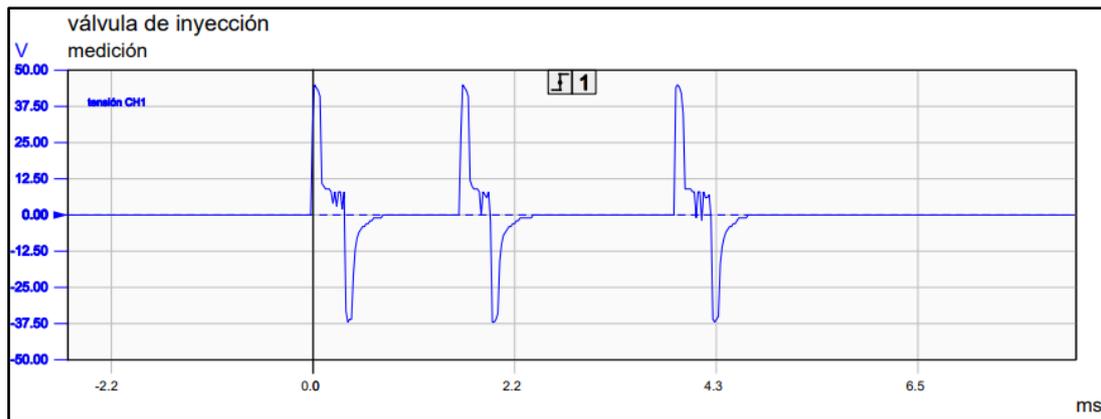


Figura 3.10 Oscilograma del inyector 3 a ralentí

El oscilograma en la figura 3.11 corresponde a la señal del inyector 3 cuando el motor se encuentra a 2000 rpm. Donde se observa que la inyección inicia en el momento en el que se energiza el inyector y alcanza una tensión máxima de 47,4 voltios y se realiza una preinyección en un tiempo de 0,30 ms y después la señal vuelve a descender hasta una tensión mínima de -43,6 voltios y vuelve a estabilizarse para iniciar con la inyección principal durante un tiempo de 0,46 ms.

También se observa que el ciclo completo de la inyección se realiza durante un tiempo 3,0 ms debido a que solo existe una preinyección y existe un consumo de corriente de 18,5 amperios mientras el inyector inyecta el combustible.

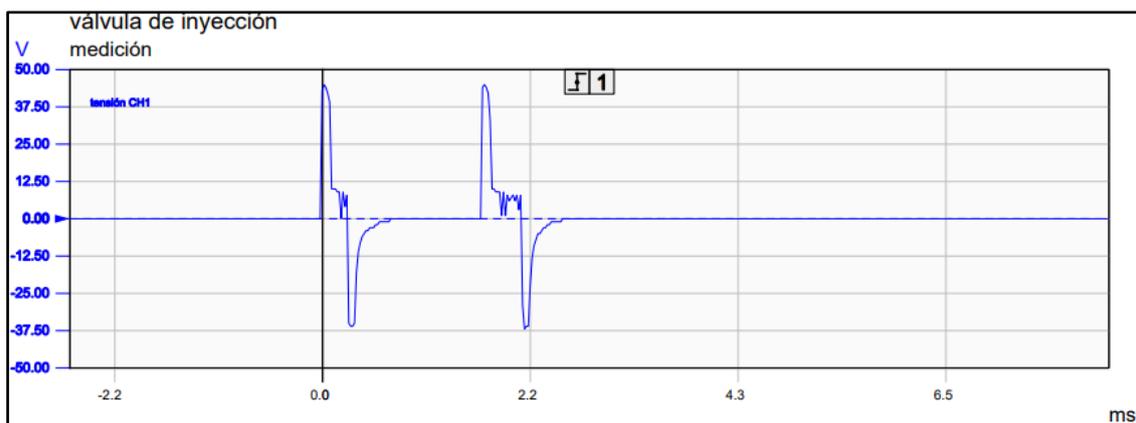


Figura 3.11 Oscilograma del inyector 3 a 2000 rpm

En la tabla 3.4 se observa los datos obtenidos al realizar las pruebas correspondientes al inyector 3, cuando se encuentra a ralentí y acelerado a 2000 revoluciones del motor.

Tabla 3.4 Cuadro de datos del inyector 3.

	Ralentí (740 rpm)	Acelerado (2000 rpm)
Tensión máxima	48,2 V	47,4 V
Tensión mínima	-43,3 V	-43,6 V
Tiempo - Pre inyección	0,74 ms	0,30 ms
Tiempo – Inyección principal	0,42 ms	0,46 ms
Ciclo completo de inyección	5,1 ms	3,0 ms
Consumo de corriente	18,4 A	18,5 A

En la tabla 3.4 se observa la diferencia del inyector 3 una vez realizado las pruebas a ralentí y a 2000 rpm, donde se observa que en la inyección principal existe un incremento en el tiempo de activación cuando el motor incrementa las revoluciones, por tal motivo se registra un tiempo de 0,46 ms a diferencia de cuando el motor se encuentra a ralentí, donde se obtiene un tiempo de 0,42 ms.

También se observa que el tiempo de la preinyección con el motor a 2000 rpm desciende a 0,30 ms debido a que se necesita inyectar el combustible a una mayor velocidad por eso existe un menor tiempo cuando el motor acelera, en cambio con el motor a ralentí la preinyección se realiza en un tiempo de 0,74 ms ya que el motor no se encuentra acelerado.

El tiempo del ciclo completo de la inyección cuando el motor se encuentra a 2000 rpm desciende a 3,0 ms debido a que la inyección se realiza a una mayor velocidad y solo se cuenta con una preinyección, a diferencia de cuando se encuentra a ralentí, ya que cuenta con dos preinyecciones, por ese motivo el tiempo completo de inyección es de 5,1 ms.

3.2.2.4 Señal del inyector 4

En figura 3.12 se observa el oscilograma del inyector 4 cuando el motor se encuentra a ralentí, en el cual se observa que el inyector tiene una señal de funcionamiento normal, ya que en el oscilograma se observa que existe dos preinyecciones durante un tiempo de 0,72 ms y la inyección principal durante 0,42 ms.

También se observa en el oscilograma la tensión máxima que alcanza la señal del inyector cuando empieza a energizarse, la cual es de 47,9 voltios y la tensión mínima cuando el inyector termina de inyectar el combustible, la señal desciende hasta una tensión mínima de -44,1 voltios. Además, el ciclo completo de la inyección se realiza durante un tiempo de 5,0 ms y un consumo de corriente de 18,4 amperios.

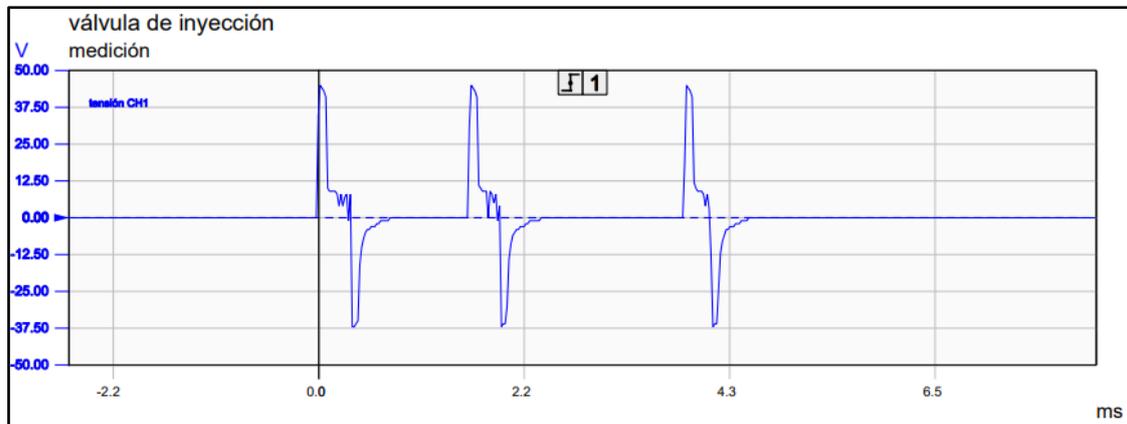


Figura 3.12 Oscilograma del inyector 4 a ralentí

La figura 3.13 corresponde al oscilograma del inyector 4 cuando se encuentra trabajando en un rango de 2000 rpm, en el oscilograma se observa que la inyección inicia en el momento en el que se energiza el inyector y alcanza una tensión máxima de 48,1 voltios y se realiza una preinyección en un tiempo de 0,30 ms y luego la señal desciende hasta llegar a una tensión mínima de -42,3 voltios y vuelve a estabilizarse para iniciar con la inyección principal durante un tiempo de 0,44 ms.

También se observa que el ciclo completo de la inyección se realiza durante un tiempo de 2,7 ms debido a que solo existe una preinyección, por eso la inyección sucede más rápido y existe un consumo de corriente de 18,3 amperios mientras el inyector inyecta el combustible.

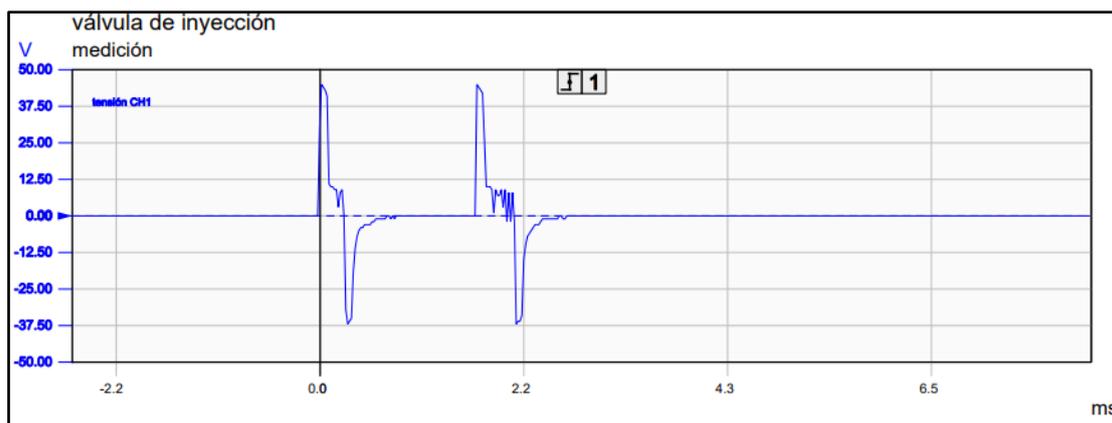


Figura 3.13 Oscilograma del inyector 4 a 2000 rpm

En la tabla 3.5 se observa los datos obtenidos al realizar las pruebas correspondientes al inyector 4, cuando se encuentra a ralentí y acelerado a 2000 revoluciones del motor.

Tabla 3.5 Cuadro de datos del inyector 4.

	Ralentí (740 rpm)	Acelerado (2000 rpm)
Tensión máxima	47,9 V	48,1 V
Tensión mínima	-44,1 V	-42,3 V
Tiempo - Pre inyección	0,72 ms	0,30 ms
Tiempo – Inyección principal	0,42 ms	0,44 ms
Ciclo completo de inyección	5,0 ms	2,7 ms
Consumo de corriente	18,4 A	18,3 A

En la tabla 3.4 se observa la diferencia del inyector 4 una vez realizado las pruebas a ralentí y a 2000 rpm, donde se observa que en la inyección principal existe un pequeño incremento en el tiempo de activación cuando el motor incrementa las revoluciones, ya se que registra un tiempo de 0,44 ms a diferencia de cuando el motor se encuentra a ralentí, donde se obtiene un tiempo de 0,42 ms.

También se observa que el tiempo de la preinyección con el motor a 2000 rpm desciende a 0,30 ms debido a que se necesita inyectar el combustible a una mayor velocidad por eso existe un menor tiempo cuando el motor acelera, en cambio con el motor a ralentí la preinyección se realiza en un tiempo de 0,72 ms ya que el motor no se encuentra acelerado.

El tiempo del ciclo completo de la inyección cuando el motor se encuentra a 2000 rpm desciende a 2,7 ms debido a que la inyección se realiza a una mayor velocidad y solo se cuenta con una preinyección, a diferencia de cuando se encuentra a ralentí, ya que cuenta con dos preinyecciones y por eso el tiempo completo de inyección es de 5,0 ms.

3.3 Medición de los niveles de opacidad con el motor en buen estado

Para la toma de datos con respecto a los niveles de opacidad, se realizó con el equipo de medición de emisiones BEA 070 con el cual se realizó la medición a 2000 y 2500 rpm. En cada medición el equipo permite hacer 5 aceleraciones, por lo que se logra obtener 5 medidas de niveles de opacidad para cierto número de revoluciones.

En la figura 3.14 se observa el oscilograma y los cinco valores de opacidad que se obtuvieron al realizar la toma de datos a 2000 rpm, donde en la primera prueba se registra un valor de 4,5% de opacidad, en la segunda prueba se obtiene un porcentaje de 3,3%, en la tercera prueba se registra un valor de 4,5%, en la cuarta y quinta prueba se obtiene un valor de 3,5% de opacidad, donde los cinco datos obtenidos son bajos y están dentro del rango del nivel de opacidad permitido en el Ecuador según la norma técnica NTE INEN 2 202: 2002.

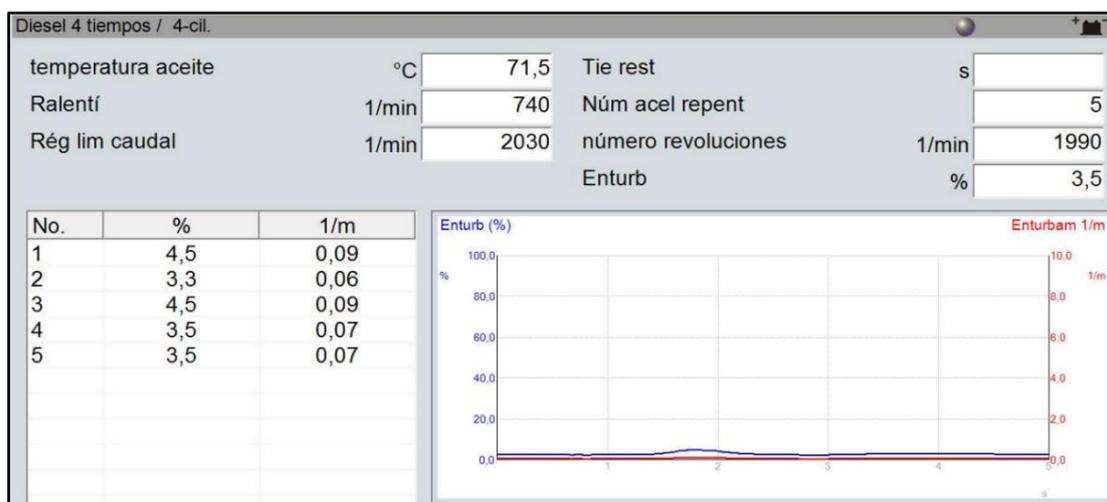


Figura 3.14 Niveles de opacidad a 2000 rpm con el motor en buen estado

Para cada valor del porcentaje del nivel de opacidad que se registró en cada prueba, el equipo FSA 740 entrega un oscilograma como se observa en la figura 3.15 donde se logra

visualizar el oscilograma del nivel más alto de opacidad obtenido en la medición a 2000 rpm, el cual es de 4,5% de opacidad.

En el oscilograma se observar como la línea azul se mantienen constante mientras el motor se encuentra a ralentí, pero al momento que se acelera a 2000 rpm para realizar la prueba de opacidad, la línea azul empieza a ascender hasta alcanzar el valor medido en ese instante el cual es un porcentaje de 4,5% de opacidad, y una vez realizada la medición la línea vuelve a descender ya que la prueba de medición a finalizado.

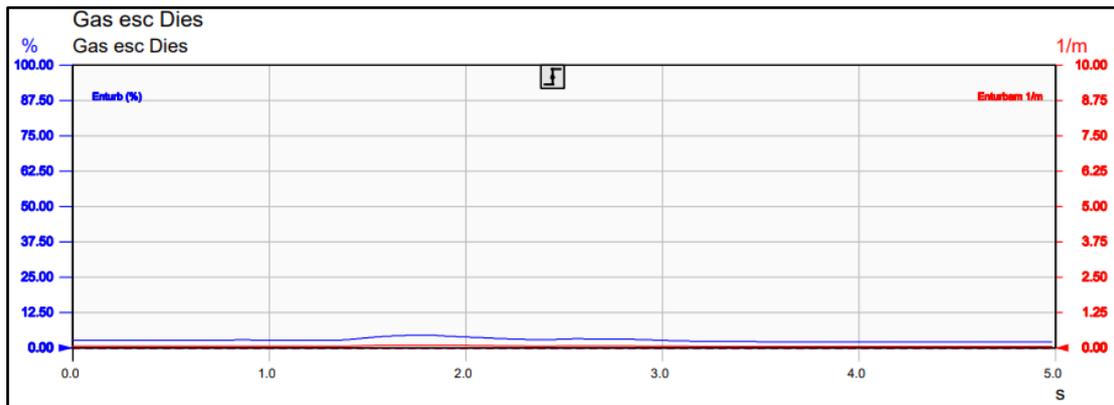


Figura 3.15 Oscilograma del nivel más alto de opacidad obtenido a 2000 rpm con el motor en buen estado

En la figura 3.16 se puede observar los cinco datos de los niveles de opacidad obtenidos cuando el motor se encuentra en funcionamiento a un rango de 2500 rpm. Cuando el motor aumenta sus revoluciones se puede observar que los niveles de opacidad también aumentan, esto debido a la combustión que se realiza en el motor a ese número de rpm.

En la primera prueba se obtiene un valor de 6,1% de opacidad, en la segunda prueba se obtiene un porcentaje de 6,8%, en la tercera prueba se registra un valor de 5,9%, en la cuarta y quinta prueba se obtiene un valor de 5,7% de opacidad, donde los cinco datos obtenidos son porcentajes de opacidad bajos y no sobrepasan el nivel de opacidad permitido en la norma técnica NTE INEN 2 202: 2002 en el Ecuador.

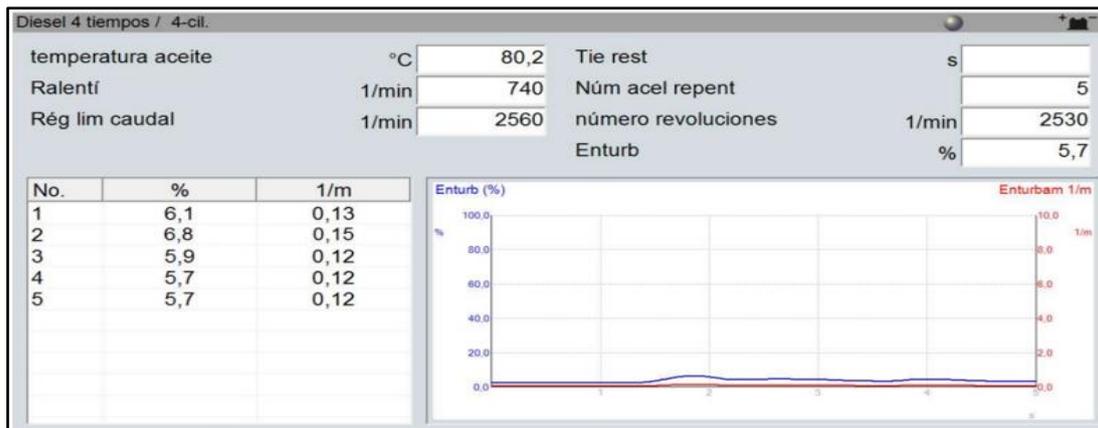


Figura 3.16 Niveles de opacidad a 2500 rpm con el motor en buen estado

El oscilograma mostrado en la figura 3.17 corresponde a la primera medida de opacidad obtenido a 2500 rpm, donde el porcentaje es de 6,1% de opacidad, por lo que se observa en el oscilograma que la línea azul al inicio permanece constante desde cero hasta el momento en que se realiza la medición a 2500 rpm y la señal asciende hasta alcanzar el nivel de 6,1% de opacidad y luego vuelve a descender hasta poder volver a estabilizarse.

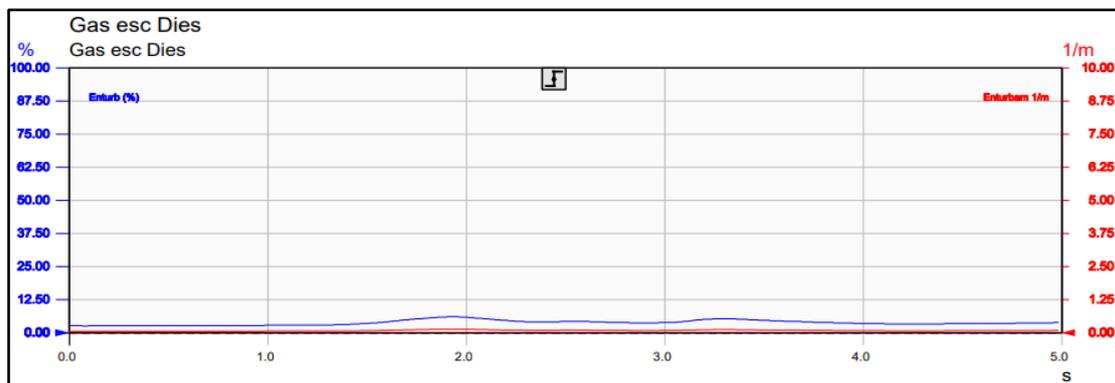


Figura 3.17 Oscilograma del nivel de opacidad a 2500 rpm con el motor en buen estado

La tabla 3.6 corresponde a los datos obtenidos en la medición de los niveles de opacidad cuando el motor se encuentra funcionando a diferentes rangos de revoluciones, en este caso a 2000 y 2500 rpm, donde se observa como varía los niveles de opacidad según aumentan las revoluciones.

Tabla 3.6 Cuadro comparativo de los niveles de opacidad a 2000 y 2500 rpm con el motor en buen estado.

No.	2000 rpm		2500 rpm	
	Opacidad	Temperatura aceite	Opacidad	Temperatura aceite
1	4,5%	68,9 °C	6,1%	78,3 °C
2	3,3%	69,7 °C	6,8%	78,9 °C
3	4,5%	70,4 °C	5,9%	79,5 °C
4	3,5%	71,1 °C	5,7%	80,1 °C
5	3,5%	71,5 °C	5,7%	80,2 °C
Valor promedio de opacidad	3,8%		6,04%	

En la tabla 3.6 se observa la comparación del porcentaje de opacidad a 2000 rpm y 2500 rpm, donde una vez finalizadas las pruebas se observa un incremento del nivel de opacidad cuando el motor aumenta las revoluciones ya que a 2000 rpm se registra un valor promedio 3,8% de opacidad a diferencia de cuando se acelera y aumentan las revoluciones en un rango de 2500 rpm, donde en este caso se registra un valor promedio de 6,04% de opacidad debido a que el motor a mayores revoluciones tiene un mayor consumo de combustible por lo tanto se genera mayor porcentaje de opacidad que emite el motor.

3.4 Obtención de señales de falla en la válvula dosificadora de combustible

Para modificar la señal de activación se procedió a utilizar una resistencia de 003,5 ohmios para restringir el paso de corriente hacia el equipo de medición (osciloscopio) y así poder simular una señal de falla en la válvula dosificadora de combustible.

La figura 3.18 muestra la comparación entre el oscilograma correspondiente a la señal de la válvula dosificadora de combustible con una resistencia de 003,5 ohmios en el cable de señal de PWM para variar la señal de activación y la señal normal de la válvula dosificadora de combustible.

La diferencia que se observa en la figura 3.18 entre la señal normal, con la señal con incremento de resistencia cuando el motor se encuentra en contacto, se caracteriza principalmente en el momento cuando la válvula empieza a desenergizarse, debido a que cuando la válvula se encuentra normal, la señal cae hasta una tensión mínima de -1,20 voltios y cuando la válvula tiene un incremento de resistencia, la señal cae hasta una tensión mínima de -4,10 voltios debido a la resistencia de 003,5 ohmios adaptada en la válvula dosificadora de combustible.

Además, el tiempo de activación de la válvula cuando tiene una señal de incremento de resistencia es mayor, en este caso el porcentaje de trabajo es de 25,7% a diferencia de cuando la válvula se encuentra en condiciones normales, donde se obtuvo un porcentaje de trabajo de 16,3% como se observa en la figura 3.18.

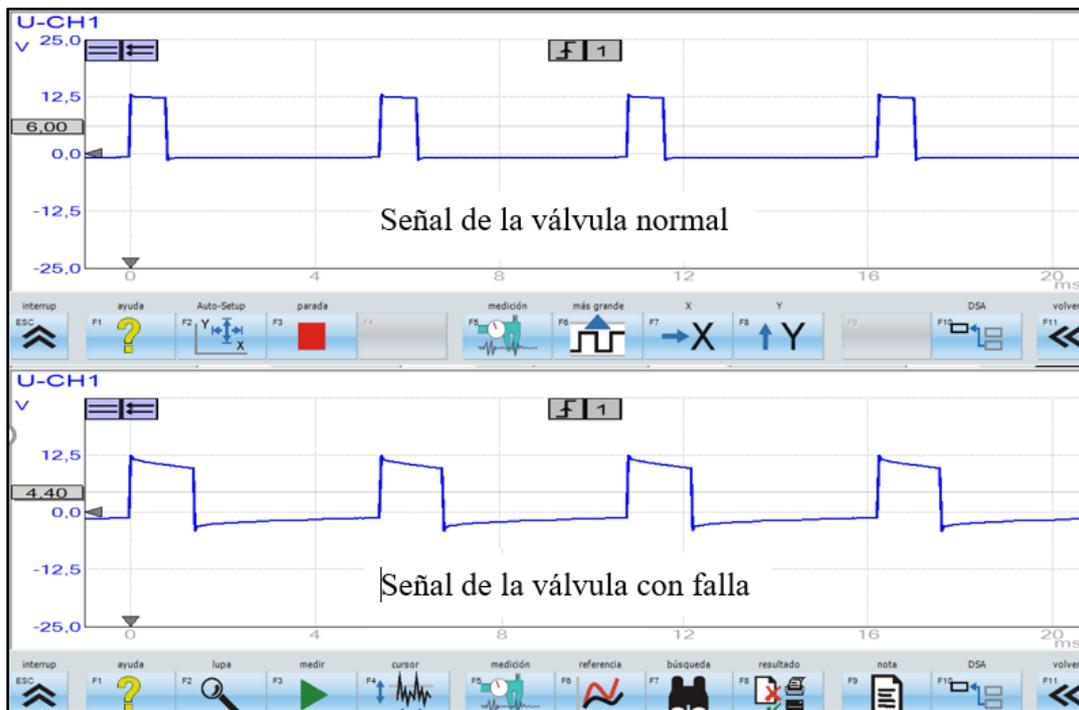


Figura 3.18 Comparación de oscilogramas de la válvula dosificadora de combustible normal y con una resistencia de 003,5 ohmios en contacto

En la tabla 3.7 se observa la comparación de los datos obtenidos entre la válvula dosificadora de combustible en condición normal y cuando tiene un incremento de resistencia en la señal de activación debido a una resistencia de 003,5 ohmios cuando el motor está en contacto. En el cuadro se observa que el porcentaje de trabajo aumenta.

Tabla 3.7 Cuadro comparativo de datos de la válvula dosificadora de combustible en contacto en condición normal y con un incremento de resistencia de 003,5 ohmios.

Datos de la válvula dosificadora de combustible en contacto		
	Válvula dosificadora normal	Válvula dosificadora con falla
Tensión máxima	12,8 V	12,5 V
Tensión mínima	-1,20 V	-4,10 V
Trabajo %	16,3 %	25,7 %
Frecuencia	185,2 Hz	183,8 Hz
Período de activación	5,5 ms	5,4 ms

En la figura 3.19 se observa la comparación entre el oscilograma de la válvula dosificadora de combustible cuando la válvula se encuentra en condición normal a diferencia de cuando tiene un incremento de resistencia de 003,5 ohmios en el momento en que el motor se encuentra a ralentí.

El primer oscilograma corresponde a la señal de la válvula dosificadora cuando se encuentra trabajando normalmente, y el segundo oscilograma corresponde a la señal de la válvula dosificadora con una resistencia de 003,5 ohmios, donde se observa que la señal varía y el ancho de pulso aumenta.

La diferencia entre la señal normal a diferencia de la señal con incremento de resistencia cuando el motor se encuentra a ralentí, se caracteriza principalmente en el tiempo de activación de la válvula, debido a que cuando la válvula tiene un incremento de resistencia en la señal, el tiempo de activación de la válvula es mayor ya que se obtiene un porcentaje de trabajo de 68,1% a diferencia de cuando la válvula se encuentra normal, donde se obtiene un porcentaje de trabajo de 39,7% como se observa en la figura 3.19.

También se observa una gran diferencia cuando la válvula empieza a desenergizarse, ya que cuando la señal de la válvula se encuentra normal, al momento que la válvula se desenergiza, la señal cae hasta una tensión mínima de -1,50 voltios y cuando la válvula tiene un incremento de resistencia la señal cae hasta una tensión mínima de -7,70 voltios debido a la resistencia de 003,5 ohmios adaptada en la válvula dosificadora de

combustible. Además, en la figura 3.19 también se observa que cuando la ECU envía la señal de excitación a la válvula, esta se empieza a energizar hasta alcanzar una tensión máxima de 13,8 voltios cuando la válvula se encuentra en condición normal de funcionamiento a diferencia de cuando la válvula tiene un incremento de resistencia, donde para este caso al momento en el que la válvula comienza a energizarse, esta alcanza una tensión máxima de 12 voltios.

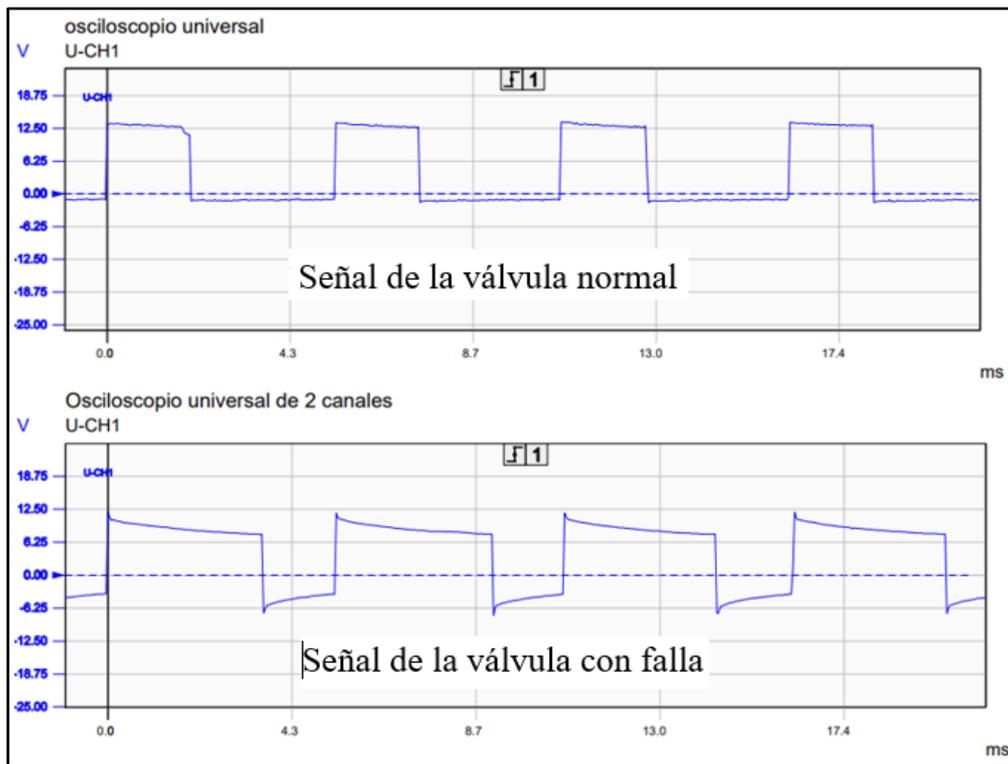


Figura 3.19 Comparación de oscilogramas de la válvula dosificadora de combustible normal y con resistencia de 003,5 ohmios a ralentí

La tabla 3.8 detalla los datos entre la válvula dosificadora de combustible normal y cuando tiene un incremento de resistencia de 003,5 ohmios en el cable de la señal de activación de la válvula cuando se encuentra el motor a ralentí. Con los datos obtenidos se observa que el porcentaje de trabajo de la válvula aumenta significativamente cuando la válvula tiene un incremento de resistencia, pero la frecuencia no varía ya que cuando la válvula se encuentra bien, se registra una frecuencia de 183,8 Hz y con la falla simulada en la válvula se registra una frecuencia de 185,2 Hz lo que no es una gran diferencia, además de que el periodo de activación de un ciclo completo de trabajo es igual en ambos casos donde se registra un tiempo de 5,5 ms.

Tabla 3.8 Cuadro comparativo de datos de la válvula dosificadora de combustible a ralentí en condición normal y con un incremento de resistencia de 003,5 ohmios.

Datos de la válvula dosificadora de combustible a ralentí		
	Válvula dosificadora normal	Válvula dosificadora con falla
Tensión máxima	13,8 V	12 V
Tensión mínima	-1,50 V	-7,70 V
Trabajo %	39,7 %	68,1 %
Frecuencia	183,8 Hz	185,2 Hz
Período de activación	5,5 ms	5,5 ms

En la figura 3.20 se observa la comparación entre el oscilograma de la válvula dosificadora de combustible cuando el motor se encuentra encendido a un rango de 2500 rpm, en el momento en que la válvula dosificadora de combustible se encuentra en condición normal y cuando tiene un incremento de resistencia de 003,5 ohmios en el cable de la señal de activación.

La diferencia principal se observa en el tiempo de activación de la válvula, debido a que cuando la válvula se encuentra acelerado a un rango de 2500 rpm, con la válvula en buen estado se obtiene un porcentaje de trabajo de 36,4% y en el momento cuando se tiene un incremento de resistencia en la válvula dosificadora, se registra un porcentaje de trabajo de 61,8% cuando en motor se encuentra acelerado en un rango de 2500 rpm

También se observa que al momento cuando la válvula comienza a energizarse, alcanza una tensión máxima de 12,3 voltios cuando la válvula tiene un aumento de resistencia a diferencia de cuando la válvula se encuentra en buen estado, ya que alcanza una tensión máxima de 14 voltios cuando empieza a energizarse.

Luego la válvula se mantiene activada hasta que vuelve a desenergizarse y la señal cae hasta una tensión mínima de -7,00 voltios cuando la válvula tiene un incremento de resistencia, a diferencia de cuando se encuentra en buen estado, ya que está cae hasta una tensión mínima de -1,50 voltios, y al final se va estabilizando mientras la válvula se encuentra desactivada hasta volver a empezar otra vez y así completar un ciclo de trabajo.

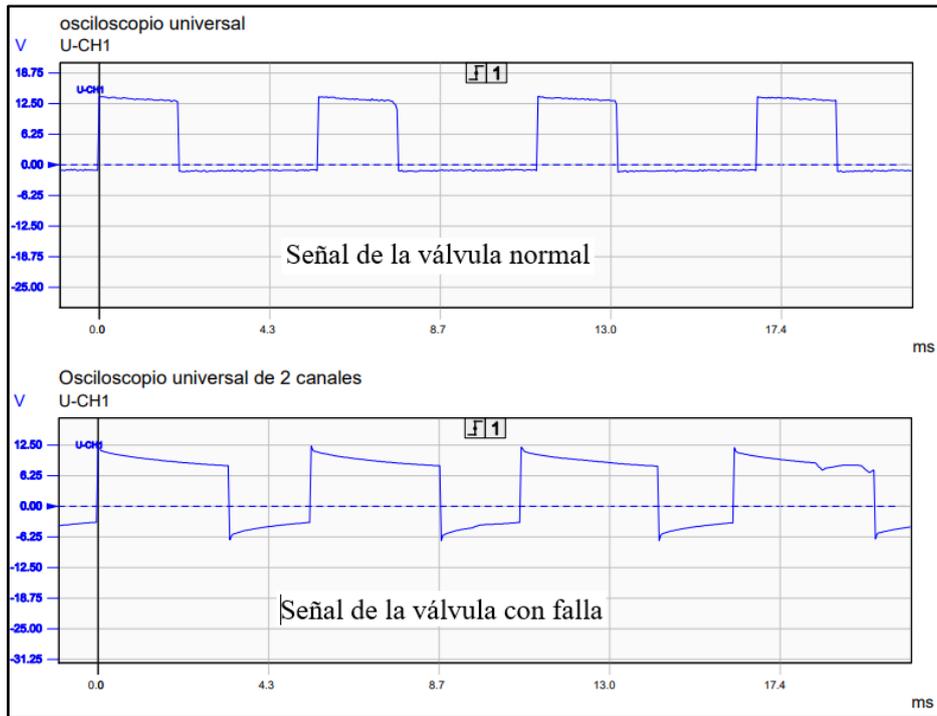


Figura 3.20 Comparación de oscilogramas de la válvula dosificadora de combustible normal y con resistencia de 003,5 ohmios a 2500 rpm

En la tabla 3.9 se observa la comparación de valores obtenidos entre la válvula dosificadora de combustible normal y cuando tiene un incremento de resistencia en su señal de activación debido a una resistencia de 003,5 ohmios.

Tabla 3.9 Cuadro comparativo de datos de la válvula dosificadora de combustible a 2500 rpm en condición normal y con incremento de resistencia de 003,5 ohmios.

Datos de la válvula dosificadora de combustible a 2500 rpm		
	Válvula dosificadora normal	Válvula dosificadora con falla
Tensión máxima	14 V	12,3 V
Tensión mínima	-1,50 V	-7,00 V
Trabajo %	36,4 %	61,8 %
Frecuencia	178,6 Hz	183,8 Hz
Período de activación	5,6 ms	5,7 ms

3.5 Medición de los niveles de opacidad con fallas en la válvula dosificadora de combustible

Para obtener los niveles de opacidad generado con una señal de falla en la válvula dosificadora de combustible, primero se obtuvo los valores de opacidad con la válvula en buen estado de funcionamiento a 2500 rpm con el opacímetro Brain Bee OPA-100 como se muestra en la figura 3.21, para luego realizar la comparación entre los valores normales y con un incremento de resistencia en la válvula dosificadora.

En la figura 3.21 se muestra las cinco pruebas de opacidad realizadas antes del aumento de resistencia en la válvula dosificadora, donde en cada prueba se obtiene valores bajos, empezando por la primera prueba donde se obtiene un porcentaje de opacidad de 5,7%, en la segunda prueba se registra un porcentaje de 6,4%, en la tercera prueba se obtiene un porcentaje de 4.6%, en la cuarta prueba se obtiene un porcentaje de 6,0% y en la última prueba se registra un porcentaje de 4,4% de opacidad. Obteniendo así un valor promedio de 5,4% de opacidad, lo cual está dentro del rango del nivel de opacidad permitido en el país.



Figura 3.21 Niveles de opacidad a 2500 rpm con la válvula dosificadora de combustible normal

La figura 3.22 muestra los datos de los niveles de opacidad cuando a la válvula dosificadora de combustible se le simuló un incremento de resistencia de 003,5 ohmios

en su señal de activación a un rango de 2500 rpm, donde se observa que al igual que la prueba realizada con la válvula en buen estado, se obtiene niveles bajos de opacidad.

Para este caso con el incremento de resistencia en la válvula dosificadora, en la primera prueba se obtiene un valor de 4,8% de opacidad, en la segunda prueba se obtiene un valor de 4,6%, para la tercera prueba se registra un valor de 5,3% de opacidad, en la cuarta prueba se obtiene un valor de 5,7% y en la última prueba se obtiene un valor de 4,4% de opacidad. Obteniendo así un valor promedio de 4,9% de opacidad, permitiendo aprobar sin faltas los niveles de opacidad permitidos en el Ecuador según la norma técnica NTE INEN 2202: 2002.



Figura 3.22 Niveles de opacidad a 2500 rpm con falla en la válvula dosificadora de combustible

La comparación de los niveles de opacidad obtenidos a un rango de 2500 rpm cuando la válvula dosificadora de combustible se encuentra en perfecto estado de funcionamiento a diferencia de cuando tiene una señal errónea por el incremento de una resistencia se puede observar en la tabla 3.10.

Tabla 3.10 Cuadro comparativo de los niveles de opacidad a 2500 rpm cuando la válvula se encuentra en buen estado y cuando presenta fallas.

Nivel de opacidad a 2500 rpm		
N°	Válvula dosificadora normal	Válvula dosificadora con falla
1	5,7 %	4,8 %
2	6,4 %	4,6 %
3	4,6 %	5,3 %
4	6,0 %	5,7 %
5	4,4 %	4,4 %
Valor promedio de opacidad	5,4 %	4,9 %

En la tabla 3.10 se observa que los niveles en ambos casos son bajos y no existe gran diferencia debido a que se utilizó una resistencia de 003,5 ohmios para simular la falla por lo que en la válvula dosificadora de combustible en condición normal se obtiene un promedio de 5,4% de opacidad y en condición de falla un valor de 4,9%, evidenciando una disminución de 0,5% debido a que, con la falla simulada la válvula se mantiene más tiempo abierta, originando que gran cantidad del combustible retorne al depósito, causando que exista menos combustible en el Common Rail, por lo que se da la disminución de opacidad, además de que la resistencia de 003,5 ohmios se deforma (quema) muy rápido y el motor no permanece encendido por más de 3 minutos.

3.6 Obtención de señales de falla en los inyectores

Para la obtención de las señales de falla en los inyectores se reemplazó los inyectores buenos por inyectores que se encontraban con problemas de desgaste y se realizó una prueba de retorno de combustible de los inyectores para comprobar que verdaderamente estos se encuentren con problemas de funcionamiento y simular una falla adicional en los inyectores con la ayuda del probador y simulador de presión Common Rail GT-508.

3.6.1 Prueba de retorno de combustible de inyectores diésel

En la figura 3.23 se observa la prueba de retorno de combustible realizada en los inyectores que fueron reemplazados, donde se verifica que la cantidad de retorno del combustible no es igual para los cuatro inyectores, por lo que existe problemas en su funcionamiento.

Una vez terminada la prueba, se observa que en el inyector 1 existe una cantidad de retorno de combustible de 35 ml, en el inyector 2 y 3 se registra una cantidad de retorno del combustible de 50 ml y en el inyector 4 se obtiene una cantidad de retorno de 40 ml. Como se observa en el inyector 2 y 3 se tienen un retorno de combustible elevado debido a que los inyectores no inyectan el combustible necesario, por lo que estos inyectores pueden encontrarse con la tobera obstruida y esto genera que el motor tenga problemas de rendimiento.



Figura 3.23 Prueba de retorno de combustible con inyectores diésel defectuosos

Para realizar la simulación de una falla adicional en los inyectores se varió la presión de combustible en el Common Rail con el probador y simulador de presión Common Rail GT-508 hasta conseguir una presión de 61,70 MPa y realizar otra prueba de retorno de combustible como se muestra en la figura 3.24, donde se observa que los niveles de retorno de combustible disminuyen en comparación a la cantidad de retorno de combustible obtenido en los inyectores antes de realizar la variación de presión en el riel, ya que en el inyector 1 y 4 la cantidad de retorno de combustible es de 30 ml y en el inyector 2 y 3 se obtiene una cantidad de retorno de combustible de 40 ml.



Figura 3.24 Prueba de retorno de combustible con variación de la presión de combustible en el riel con una presión de 61,70 MPa

La tabla 3.11 corresponde a los parámetros obtenidos en la prueba de retorno de combustible con los inyectores sin variación de la presión de combustible y con variación de presión de combustible con el simulador de presión Common Rail GT-508 durante un tiempo de 5 minutos, donde se observa que la cantidad de retorno de combustible obtenido al momento de modificar la presión del combustible en el riel es menor en una mínima cantidad, ya que en el inyector 1 existe un disminución de 5ml en la cantidad del retorno del combustible, y en el inyector 2, 3 y 4 existe una disminución de 10 ml en la cantidad de retorno del combustible en comparación a la cantidad de retorno obtenida antes de realizar la variación de la presión del combustible en el riel.

Tabla 3.11 Parámetros obtenidos en prueba de retorno de combustible en inyectores defectuosos.

Elemento analizado	Sin variación de presión (38,70 MPa)	Con variación de presión (61,70 MPa)
Inyector 1	35 ml	30 ml
Inyector 2	50 ml	40 ml
Inyector 3	50 ml	40 ml
Inyector 4	40 ml	30 ml

3.6.2 Señales de los inyectores con fallas

Para obtener las señales de falla en los inyectores se utilizó el equipo Bosch FSA 740, para lo cual se tomó oscilogramas de cada inyector cuando estos se encuentran con el motor a ralentí y cuando se encuentra acelerado a un rango de 2000 rpm.

3.6.2.1 Señal del inyector 1 con falla

En la figura 3.25 se observa la comparación entre el oscilograma del inyector 1 a ralentí cuando se encuentra en condición normal de funcionamiento y cuando se produce una falla en su funcionamiento.

En el primer oscilograma correspondiente al inyector 1 a ralentí cuando este se encuentra en condición normal, se observa que la inyección comienza cuando la ECU envía la señal PWM y el inyector comienza a energizarse hasta alcanzar una tensión máxima de 48,5 voltios y se observa dos preinyecciones durante un tiempo de 0,78 ms y una inyección principal de 0,42 ms que indica el tiempo de activación del inyector cuando empieza a trabajar en la inyección del combustible.

Después la ECU envía la señal PWM para desactivar la inyección y la señal desciende hasta una tensión mínima de -43,4 voltios, también se observa el ciclo completo de la inyección durante un tiempo de 5,3 ms y el consumo de corriente de 18,2 amperios.

En cambio, en el oscilograma del inyector 1 a ralentí cuando se produce una elevación de presión del combustible en los inyectores, se observa que cuando el inyector comienza a energizarse, alcanza una tensión máxima de 48,3 voltios y se observa una sola preinyección durante un tiempo de 0,64 ms y una inyección principal de 0,18 ms que indica el tiempo de activación del inyector cuando empieza a trabajar en la inyección del combustible y después la ECU envía la señal PWM para desactivar la inyección y la señal desciende hasta una tensión mínima de -42,1 voltios, donde se observa que debido a la elevación de presión en los inyectores, el tiempo de la inyección principal varía cuando el motor se encuentra a ralentí, a causa de eso el motor vibra demasiado incluso hasta dejar de funcionar. Además, se observa que desaparece una pre inyección y la señal en la inyección principal varía demasiado debido a que las revoluciones se vuelven inestables y la ECU lo asimila como si el motor estuviese acelerando.

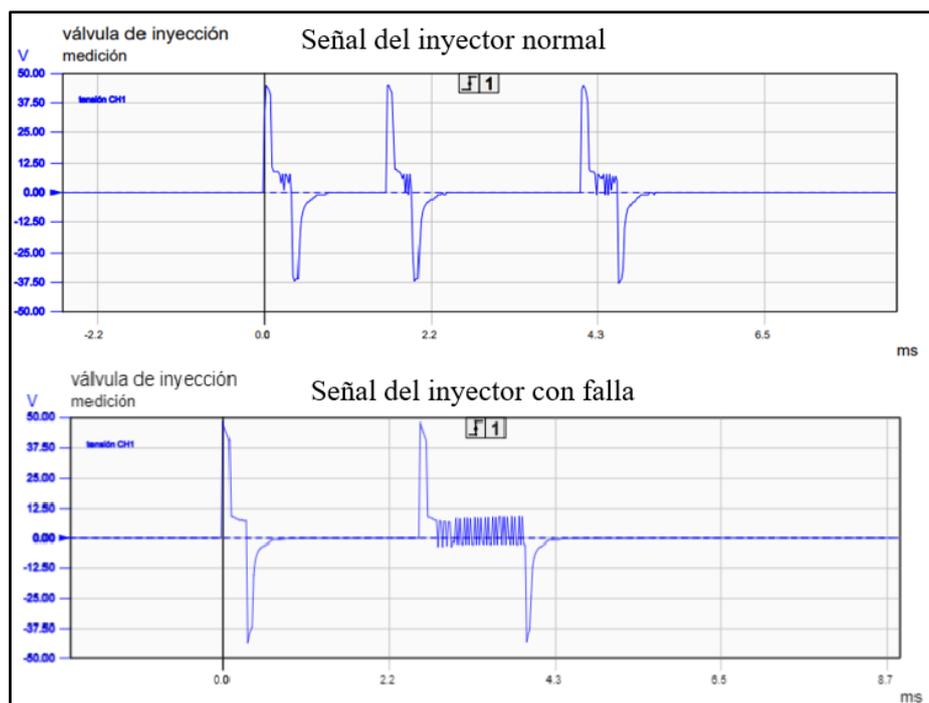


Figura 3.25 Comparación entre oscilogramas a ralentí del inyector 1 en condición normal y cuando tiene una elevación de presión del combustible en los inyectores

La tabla 3.12 corresponde a la comparación de los datos obtenidos del inyector 1 cuando se encuentra el motor a ralentí en condiciones normales de funcionamiento y cuando existe una elevación de presión del combustible en los inyectores, donde se observa que el tiempo de la inyección principal disminuye de 0,42 ms, a 0,18 ms cuando se encuentra el motor a ralentí con una elevación de presión en los inyectores, por tal motivo el motor vibra demasiado incluso deja de funcionar. Además, se genera una señal PWM inestable y la ECU lo asimila como si existiera aceleración de revoluciones.

Tabla 3.12 Cuadro comparativo de datos del inyector 1 a ralentí en condición normal y cuando tiene una elevación de presión del combustible en los inyectores.

Datos del inyector 1 a ralentí		
	Inyector normal	Inyector con falla
Tensión máxima	48,5 V	48,3 V
Tensión mínima	-43,4 V	-42,1 V
Tiempo - Pre inyección	0,78 ms	0,64 ms
Tiempo – Inyección principal	0,42 ms	0,18 ms
Ciclo completo de inyección	5,3 ms	5,3 ms
Consumo de corriente	18,2 A	17,9 A

Una vez obtenido los datos del inyector 1 a ralentí se realizó la obtención del oscilograma del inyector 1 cuando el motor se encuentra acelerado a 2000 rpm para realizar la comparación cuando este inyector se encuentra en condición normal y cuando tiene una elevación de presión de combustible en los inyectores.

En la figura 3.26 se observa que la inyección inicia cuando la ECU envía una señal PWM y se energiza hasta alcanzar una tensión máxima de 48,9 voltios y mientras las rpm aumenta, el proceso de inyección es más rápido por lo que en el oscilograma se observa una sola preinyección durante un tiempo de 0,34 ms y una inyección principal durante un tiempo de 0,48 ms, después la ECU envía la señal PWM al inyector para cortar la inyección, en ese momento la señal cae hasta una tensión mínima de -43,6 voltios. También se registra el ciclo completo de la inyección durante un tiempo de 2,9 ms y un consumo de corriente de 18,3 amperios

En cambio, en el oscilograma del inyector 1 a 2000 rpm cuando se produce una elevación de presión del combustible en los inyectores, se observa que la inyección comienza cuando la ECU envía la señal PWM y el inyector comienza a energizarse hasta alcanzar una tensión máxima de 48,1 voltios y se observa una preinyección durante un tiempo de 0,30 ms y una inyección principal de 0,44 ms y después la ECU envía la orden para desactivar la inyección y la señal desciende hasta una tensión mínima de -42,7 voltios, por lo que la señal no varía demasiado cuando el inyector sufre una elevación de presión del combustible, ya que al igual que cuando el inyector se encuentra normal se tiene solo una preinyección y una inyección principal.

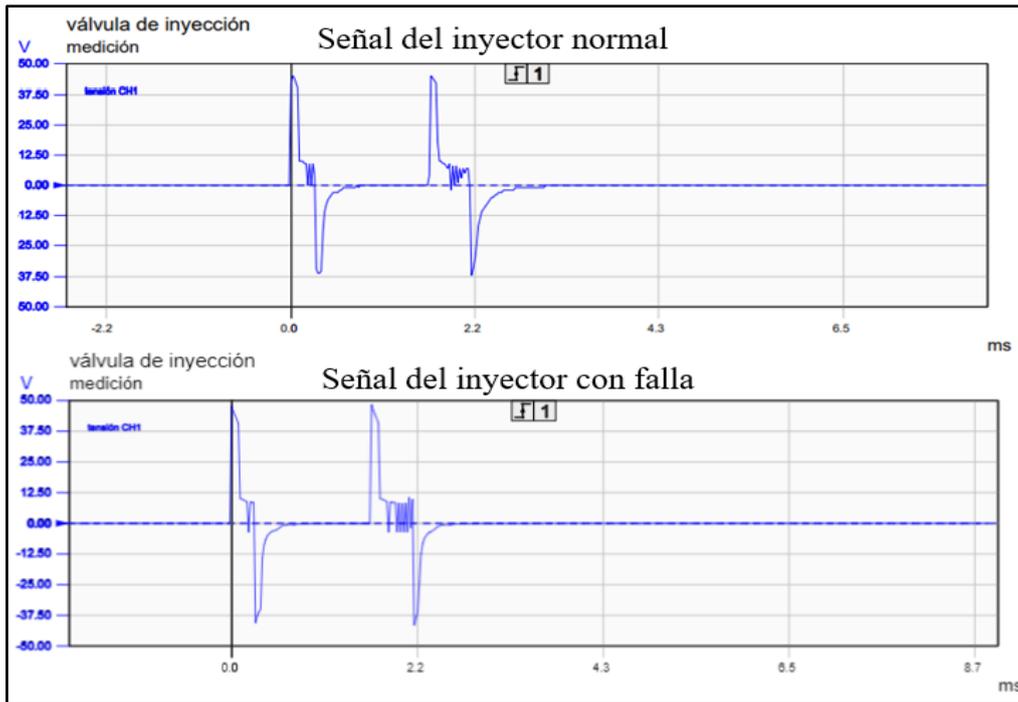


Figura 3.26 Comparación entre oscilogramas del inyector 1 a 2000 rpm en condición normal y cuando tiene una elevación de presión del combustible en los inyectores

En la tabla 3.13 se diferencia los datos obtenidos del inyector 1 a 2000 rpm cuando el inyector se encuentra en condición normal de funcionamiento y cuando existe una elevación de presión del combustible en los inyectores.

Tabla 3.13 Cuadro comparativo de datos del inyector 1 a 2000 rpm en condición normal y cuando tiene una elevación de presión del combustible en los inyectores.

Datos del inyector 1 a 2000 rpm		
	Inyector normal	Inyector con falla
Tensión máxima	48,9 V	48,1 V
Tensión mínima	-43,6 V	-42,7 V
Tiempo - Pre inyección	0,34 ms	0,30 ms
Tiempo – Inyección principal	0,48 ms	0,44 ms
Ciclo completo de inyección	2,9 ms	3,0 ms
Consumo de corriente	18,3 A	16,0 A

3.6.2.2 Señal del inyector 2 con falla

Una vez finalizado la obtención de los datos del inyector 1, se procedió a repetir el mismo proceso con el inyector 2 para ver la condición en que se encuentra el inyector y ver la

comparación entre los oscilogramas del inyector 2 a ralentí cuando el inyector no tiene problema de funcionamiento y cuando este tiene una elevación de presión del combustible como se observa en la figura 3.27.

En la figura 3.27 se observa el primer oscilograma correspondiente al inyector 2 a ralentí cuando se encuentra en condición normal, donde se observa que la inyección comienza cuando la ECU envía la señal PWM y el inyector comienza a energizarse hasta alcanzar una tensión máxima de 48,7 voltios y se observa dos preinyecciones durante un tiempo de 0,76 ms y una inyección principal de 0,44 ms que indica el tiempo de activación del inyector cuando empieza a trabajar en la inyección del combustible.

Después la ECU envía la orden para desactivar la inyección y la señal desciende hasta una tensión mínima de -43,1 voltios, además se registra el ciclo completo de la inyección durante un tiempo de 5,3 ms y un consumo de corriente de 18,2 amperios. En cambio, en el oscilograma del inyector 2 a ralentí cuando se produce una elevación de presión del combustible en los inyectores, se observa que el inyector se energiza hasta alcanzar una tensión máxima de 47,5 voltios y se observa una sola preinyección durante un tiempo de 0,60 ms y una inyección principal durante un tiempo de 0,42ms, después la ECU envía la señal PWM para desactivar la inyección y la señal desciende hasta una tensión mínima de -44,6 voltios, donde se observa que, debido a la elevación de presión en los inyectores, el tiempo de la inyección principal varía cuando el motor se encuentra a ralentí, y a causa de eso existe vibración en el motor.

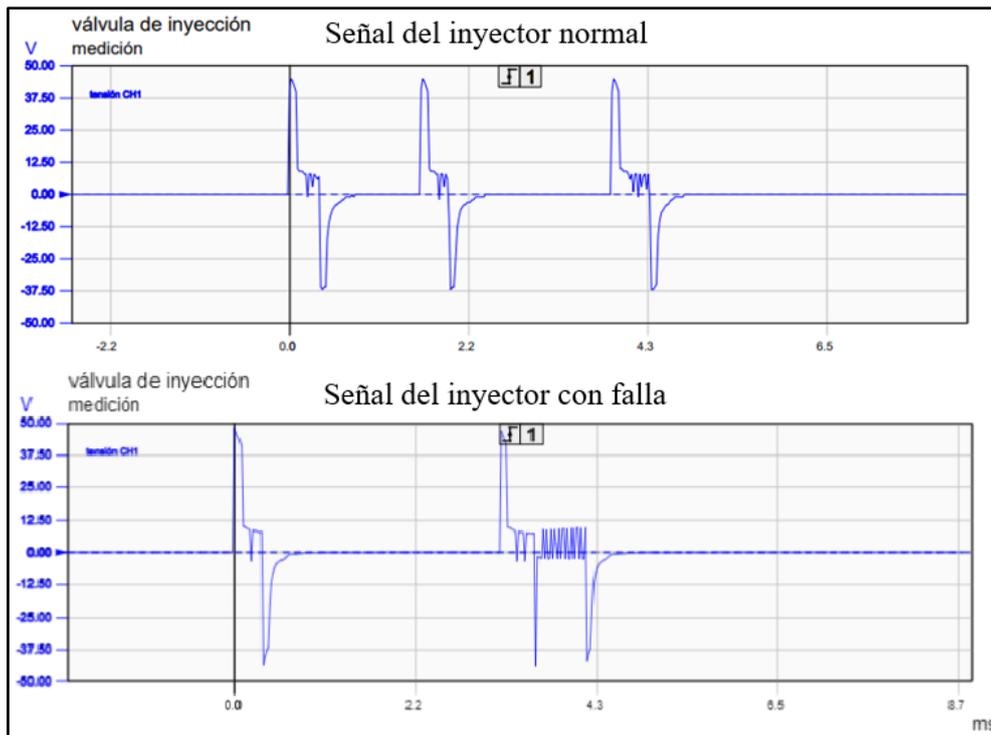


Figura 3.27 Comparación entre oscilogramas a ralentí del inyector 2 en condición normal y cuando tiene una elevación de presión del combustible en los inyectores

En la tabla 3.14 se observa la comparación de los datos obtenidos del inyector 2 cuando se encuentra el motor a ralentí en condiciones normales de funcionamiento y cuando tiene una elevación de presión de combustible en los inyectores.

Tabla 3.14 Cuadro comparativo de datos del inyector 2 a ralentí en condición normal y cuando tiene una elevación de presión del combustible en los inyectores.

Datos del inyector 2 a ralentí		
	Inyector normal	Inyector con falla
Tensión máxima	48,7 V	47,5 V
Tensión mínima	-43,1 V	-4,6 V
Tiempo - Pre inyección	0,76 ms	0,60 ms
Tiempo – Inyección principal	0,44 ms	0,42 ms
Ciclo completo de inyección	5,0 ms	5,1 ms
Consumo de corriente	18,4 A	17,6 A

En la figura 3.28 se observa que los oscilogramas del inyector 2 a 2000 rpm son similares debido a que no varían mucho cuando el inyector sufre una falla, ya que al igual que cuando el inyector se encuentra bien se tiene una preinyección y una inyección principal.

Además, se observa que la inyección inicia cuando la ECU envía una señal PWM y el inyector se energiza hasta alcanzar una tensión máxima de 48,1 voltios y mientras las revoluciones aumentan, el proceso de inyección es más rápido por lo que en el oscilograma se observa una preinyección durante un tiempo de 0,34 ms y una inyección principal durante un tiempo de 0,48 ms, después la ECU envía la señal PWM al inyector para cortar la inyección, en ese momento la señal cae hasta una tensión mínima de -40,4 voltios y se registra el ciclo completo de la inyección durante un tiempo de 2,7 ms y un consumo de corriente de 18,4 amperios.

En cambio, en el oscilograma del inyector 2 a 2000 rpm cuando se produce una elevación de presión del combustible en los inyectores, se observa que el inyector alcanza una tensión máxima de 48,0 voltios cuando empieza a energizarse, y se observa una preinyección durante un tiempo de 0,30 ms y una inyección principal de 0,54 ms. Después la ECU envía la orden para desactivar la inyección y la señal desciende hasta una tensión mínima de -42,8 voltios por lo cual la señal no varía demasiado cuando el inyector sufre una elevación de presión del combustible, ya que al igual que cuando el inyector se encuentra normal se tiene solo una preinyección y una inyección principal.

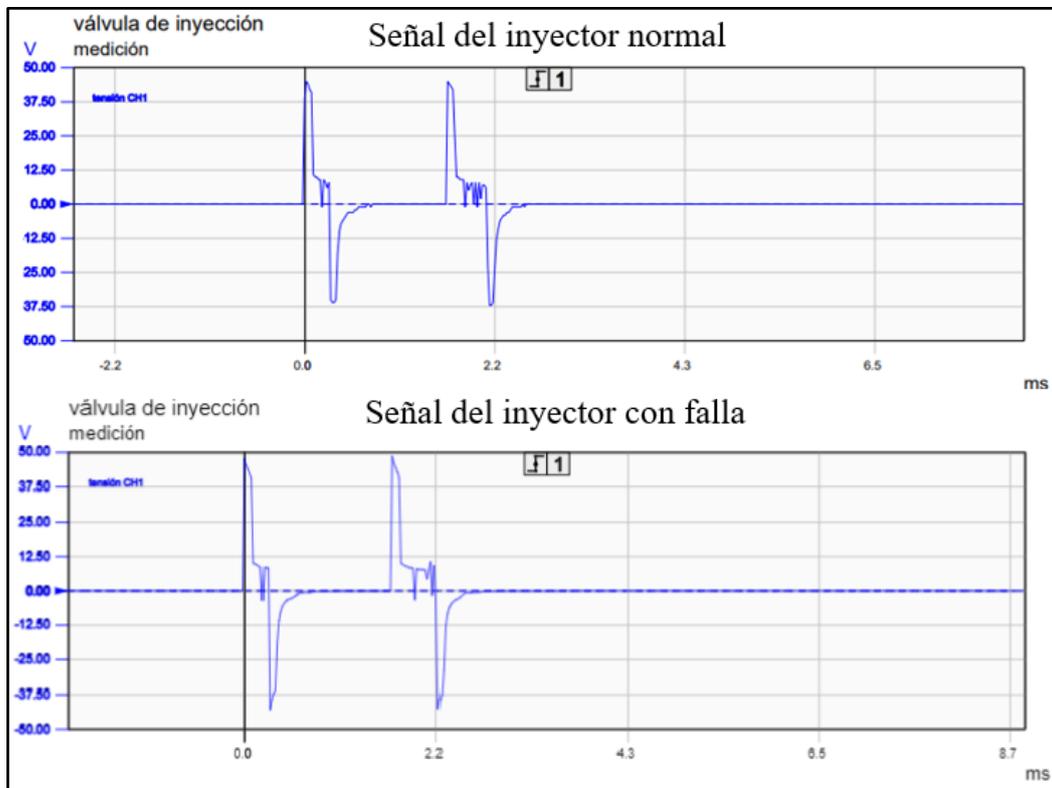


Figura 3.28 Comparación entre oscilogramas a 2000 rpm del inyector 2 en condición normal y cuando tiene una elevación de presión del combustible en los inyectores

En la tabla 3.15 se observa la diferencia de los datos obtenidos del inyector 2 a 2000 rpm cuando el inyector se encuentra en condición normal de funcionamiento y cuando tiene una elevación de presión del combustible en los inyectores.

Tabla 3.15 Cuadro comparativo de datos del inyector 2 a 2000 rpm en condición normal y cuando tiene una elevación de presión del combustible en los inyectores.

Datos del inyector 2 a 2000 rpm		
	Inyector normal	Inyector con falla
Tensión máxima	48,1 V	48,0 V
Tensión mínima	-40,4 V	-42,8 V
Tiempo - Pre inyección	0,34 ms	0,30 ms
Tiempo – Inyección principal	0,48 ms	0,54 ms
Ciclo completo de inyección	2,7 ms	3.1 ms
Consumo de corriente	18,4 A	17,6 A

3.6.2.3 Señal del inyector 3 con falla

En la figura 3.29 se observa la comparación entre oscilogramas del inyector 3 a ralentí cuando este se encuentra en condición normal y cuando existe una elevación de presión del combustible en los inyectores, donde se observa que el tiempo de la inyección principal varía al igual que los anteriores inyectores, e igual solo cuenta con una preinyección cuando el motor se encuentra a ralentí.

En el primer oscilograma correspondiente al inyector 3 a ralentí cuando se encuentra en condición normal, se observa que la inyección comienza cuando la ECU envía la señal PWM y el inyector comienza a energizarse hasta alcanzar una tensión máxima de 48,2 voltios y se observa dos preinyecciones durante un tiempo de 0,74 ms y una inyección principal durante un tiempo de 0,42 ms que indica el tiempo de activación del inyector cuando empieza a trabajar en la inyección del combustible, después la ECU envía la señal PWM para desactivar la inyección y la señal desciende hasta una tensión mínima de -43,3 voltios, además se registra el ciclo completo de la inyección durante un tiempo de 5,1 ms y un consumo de corriente de 18,4 amperios.

En cambio, en el oscilograma del inyector 2 a 2000 rpm cuando se produce una elevación de presión del combustible en los inyectores, se observa que el inyector alcanza una tensión máxima de 48,5 voltios cuando empieza a energizarse, y se observa una sola preinyección durante un tiempo de 0,62 ms y una inyección principal durante un tiempo de 0,44 ms que indica el tiempo de activación del inyector cuando empieza a trabajar en la inyección del combustible, después la ECU envía la orden para desactivar la inyección y la señal desciende hasta una tensión mínima de -45,7 voltios, donde se observa que, debido a la elevación de presión en los inyectores, el tiempo de la inyección principal varía cuando el motor se encuentra a ralentí, y a causa de eso el motor vibra demasiado incluso hasta deja de funcionar. Además de que desaparece una preinyección debido a que las revoluciones se vuelven inestables y la ECU lo asimila como si el motor se encuentra acelerado.

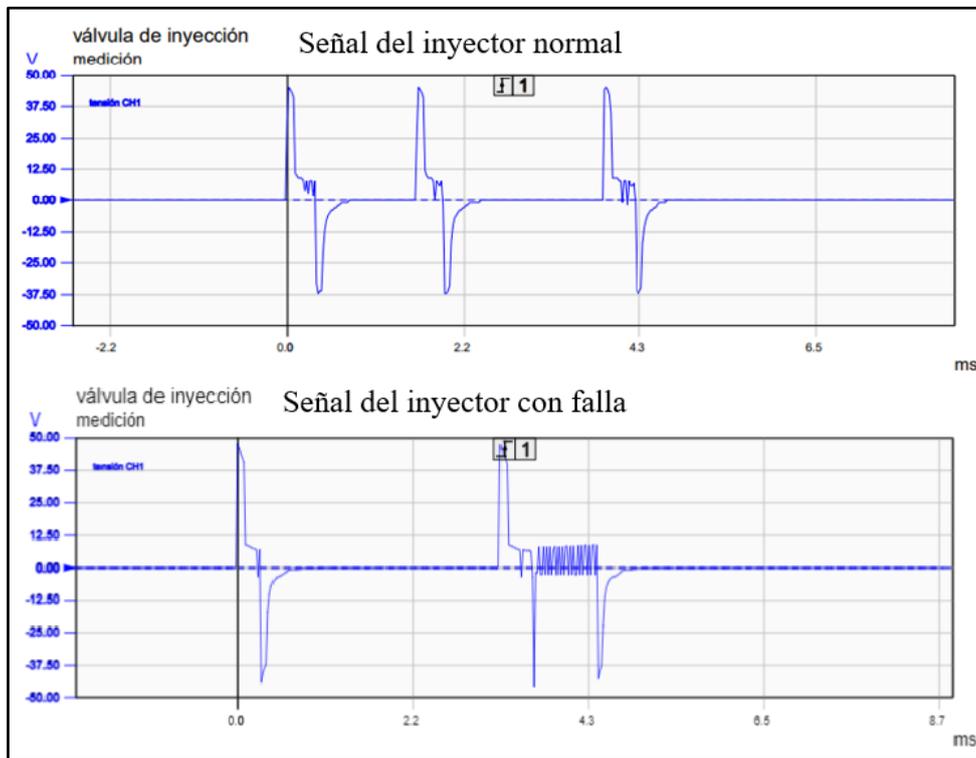


Figura 3.29 Comparación entre oscilogramas a ralentí del inyector 3 en condición normal y cuando tiene una elevación de presión del combustible en los inyectores

La tabla 3.16 corresponde a la comparación de los datos obtenidos del inyector 3 cuando el motor está a ralentí en condición normal de funcionamiento y cuando tiene una elevación de presión del combustible en los inyectores.

Tabla 3.16 Cuadro comparativo de datos del inyector 3 a ralentí en condición normal y cuando tiene una elevación de presión del combustible en los inyectores.

Datos del inyector 3 a ralentí		
	Inyector normal	Inyector con falla
Tensión máxima	48,2 V	48,5 V
Tensión mínima	-43,3 V	-45,7 V
Tiempo - Pre inyección	0,74 ms	0,62 ms
Tiempo – Inyección principal	0,42 ms	0,44 ms
Ciclo completo de inyección	5,1 ms	5,3 ms
Consumo de corriente	18,4 A	18,7 A

En la figura 3.30 se puede observar que al igual que los demás inyectores a 2000 rpm, los oscilogramas del inyector 3 no varían demasiado cuando el inyector sufre una elevación de presión del combustible o cuando este se encuentra en condiciones normales, ya que en ambos oscilogramas se observa una preinyección y una inyección principal similares.

En el primer oscilograma de la figura 3.30 se observa que el inyector alcanza una tensión máxima de 47,4 voltios cuando empieza a energizarse, y mientras las rpm aumentan, el proceso de inyección es más rápido por lo que en el oscilograma se observa una sola preinyección durante un tiempo de 0,30 ms y una inyección principal durante un tiempo de 0,46 ms, después la ECU envía la señal PWM al inyector para cortar la inyección, en ese momento la señal cae hasta una tensión mínima de -43,6 voltios, además se registra el ciclo completo de la inyección durante un tiempo de 3,0 ms y un consumo de corriente de 18,5 amperios.

En cambio, en el oscilograma del inyector 3 a 2000 rpm cuando se produce una elevación de presión del combustible en los inyectores, se observa que el inyector comienza a energizarse hasta alcanzar una tensión máxima de 48,6 voltios y se observa una preinyección durante un tiempo de 0,30 ms y una inyección principal de 0,52 ms que indica el tiempo de activación del inyector cuando empieza a trabajar en la inyección del combustible.

Después la ECU envía la señal PWM para desactivar la inyección y la señal desciende hasta una tensión mínima de -41,7 voltios por lo cual la señal no varía demasiado cuando el inyector sufre una elevación de presión del combustible, ya que al igual que cuando el inyector se encuentra normal se tiene solo una preinyección y una inyección principal.

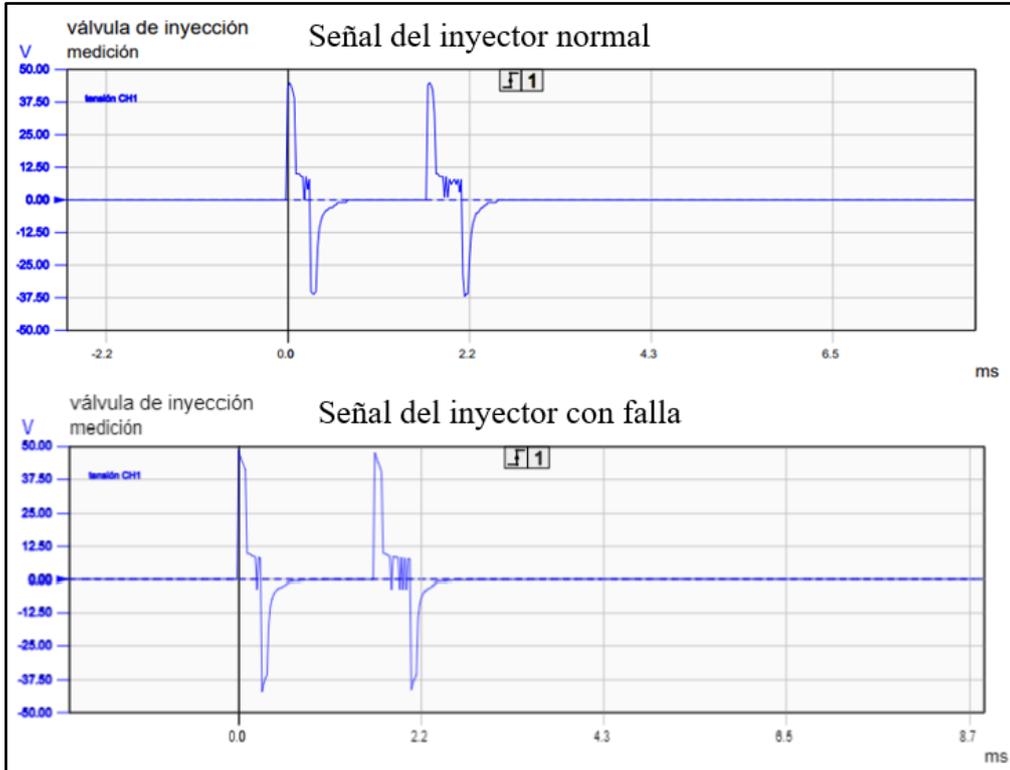


Figura 3.30 Comparación entre oscilogramas a 2000 rpm del inyector 3 en condición normal y cuando tiene una elevación de presión del combustible en los inyectores

En la tabla 3.17 se visualiza la diferencia de los datos obtenidos del inyector 3 a 2000 rpm cuando el inyector se encuentra en condición normal de funcionamiento y cuando tiene una elevación de presión del combustible en los inyectores.

Tabla 3.17 Cuadro comparativo de datos del inyector 3 a 2000 rpm en condición normal y cuando tiene una elevación de presión del combustible en los inyectores.

Datos del inyector 3 a 2000 rpm		
	Inyector normal	Inyector con falla
Tensión máxima	47,4 V	48,6 V
Tensión mínima	-43,6 V	-41,7 V
Tiempo - Pre inyección	0,30 ms	0,30 ms
Tiempo – Inyección principal	0,46 ms	0,52 ms
Ciclo completo de inyección	3,0 ms	2,9 ms
Consumo de corriente	18,5 A	18,2 A

3.6.2.4 Señal del inyector 4 con falla

En la figura 3.31 se observa la comparación entre oscilogramas del inyector 4 a ralentí cuando este se encuentra en condición normal y cuando existe una elevación de presión del combustible en los inyectores, donde se observa que el tiempo de la inyección principal varía al igual que los anteriores inyectores, e igual solo cuenta con una preinyección cuando el motor se encuentra a ralentí debido a que las rpm se vuelven inestables.

En el primer oscilograma correspondiente al inyector 4 en condición normal cuando se encuentra a ralentí, se observa que la inyección comienza cuando la ECU envía la señal PWM y el inyector comienza a energizarse hasta alcanzar una tensión máxima de 47,9 voltios y se observa dos preinyecciones durante un tiempo de 0,72 ms y una inyección principal de 0,42 ms, después la ECU envía la señal PWM para desactivar la inyección y la señal desciende hasta una tensión mínima de -44,1 voltios, además se registra el ciclo completo de la inyección durante un tiempo de 5,0 ms y un consumo de corriente de 18,4 amperios.

En cambio, en el oscilograma del inyector 4 a 2000 rpm cuando se produce una elevación de presión del combustible en los inyectores, se observa que el inyector alcanza una tensión máxima de 48.3 voltios cuando empieza a energizarse, y se observa una sola preinyección durante un tiempo de 0,62 ms y una inyección principal durante un tiempo de 0,36 ms. Después la ECU envía la señal PWM para desactivar la inyección y la señal

desciende hasta una tensión mínima de -43,8 voltios, donde se observa que, debido a la elevación de presión en los inyectores, el tiempo de la inyección principal varía cuando el motor se encuentra a ralentí, provocando que el motor vibre demasiado y en ocasiones hasta dejar de funcionar. Además, se observa que desaparece una preinyección debido a que las rpm se vuelven inestables y la ECU lo asimila como si existiera un aumento de revoluciones.

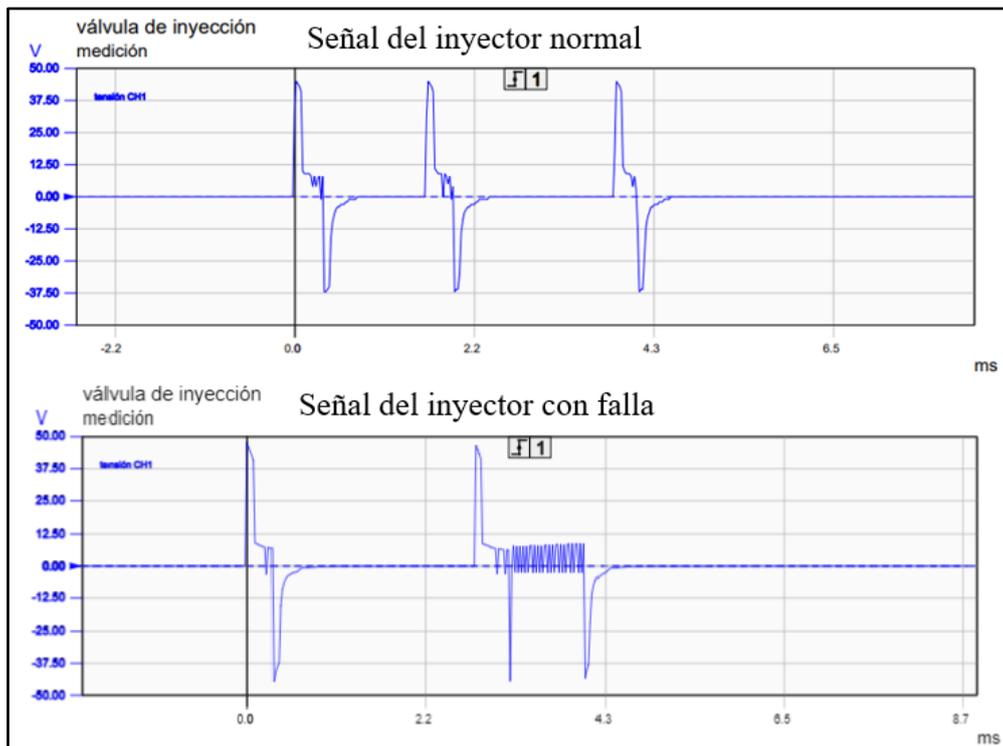


Figura 3.31 Comparación entre oscilogramas a ralentí del inyector 4 en condición normal y cuando tiene una elevación de presión del combustible en los inyectores

La tabla 3.18 muestra la comparación de los datos obtenidos del inyector 4 cuando se encuentra el motor a ralentí en condiciones normales de funcionamiento y cuando tiene una elevación de presión del combustible en los inyectores.

Tabla 3.18 Cuadro comparativo de datos del inyector 4 a ralentí en condición normal y cuando tiene una elevación de presión del combustible en los inyectores.

Datos del inyector 4 a ralentí		
	Inyector normal	Inyector con falla
Tensión máxima	47,9 V	48,3 V
Tensión mínima	-44,1 V	-43,8 V
Tiempo - Pre inyección	0,72 ms	0,62 ms
Tiempo – Inyección principal	0,42 ms	0,36 ms
Ciclo completo de inyección	5,0 ms	5,0 ms
Consumo de corriente	18,4 A	17,4 A

En la figura 3.32 se observa que al igual que los demás inyectores a 2000 rpm, los oscilogramas del inyector 4 no varían demasiado cuando el inyector sufre una elevación de presión del combustible o cuando este se encuentra en condiciones normales, ya que en ambos oscilogramas se observa una preinyección y una inyección principal similares.

En el primer oscilograma de la figura 3.32, se observa que la inyección inicia cuando la ECU envía una señal PWM y se energiza hasta alcanzar una tensión máxima de 48,1 voltios, y mientras las rpm aumentan, el proceso de inyección es más rápido, por lo que en el oscilograma se observa una preinyección durante un tiempo de 0,30 ms y una inyección principal durante un tiempo de 0,44 ms.

Después la ECU envía la señal PWM al inyector para cortar la inyección, en ese momento la señal cae hasta una tensión mínima de -42,3 voltios, además, se registra el ciclo completo de la inyección durante un tiempo de 2,7 ms y un consumo de corriente de 18,3 amperios

En cambio, en el oscilograma del inyector 4 a 2000 rpm cuando se produce una elevación de presión del combustible en los inyectores, se observa que el inyector alcanza una tensión máxima de 47,9 voltios cuando empieza a energizarse, y se observa una preinyección durante un tiempo de 0,28 ms y una inyección principal durante un tiempo de 0,56 ms que indica el tiempo de activación del inyector cuando empieza a trabajar en la inyección del combustible.

Después la ECU envía la señal PWM para desactivar la inyección y la señal desciende hasta una tensión mínima de -42,4 voltio, por lo cual la señal no varía demasiado cuando existe una elevación de presión del combustible, ya que al igual que cuando el inyector se encuentra normal, se tiene solo una preinyección y una inyección principal.

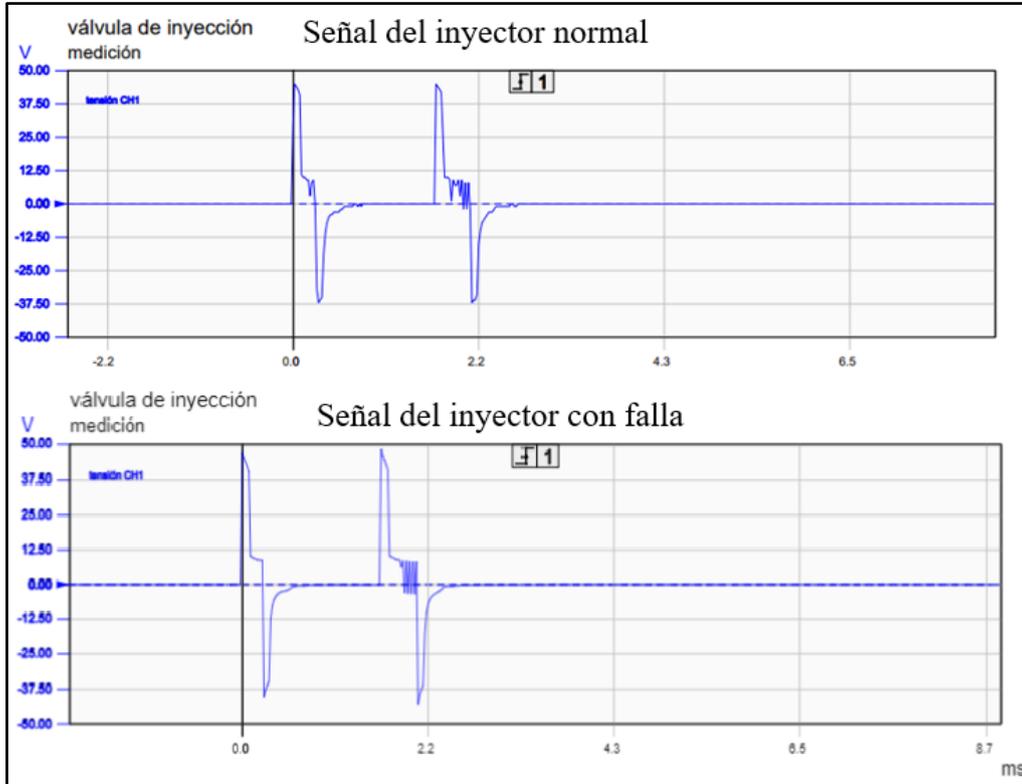


Figura 3.32 Comparación entre oscilogramas a 2000 rpm del inyector 4 en condición normal y cuando tiene una elevación de presión del combustible en los inyectores

En la tabla 3.19 se observa la diferencia de los datos obtenidos del inyector 4 a 2000 rpm cuando el inyector se encuentra en condición normal de funcionamiento y cuando tiene una falla en su funcionamiento.

Tabla 3.19 Cuadro comparativo de datos del inyector 4 a 2000 rpm en condición normal y cuando tiene una elevación de presión del combustible en los inyectores.

Datos del inyector 4 a 2000 rpm		
	Inyector normal	Inyector con falla
Tensión máxima	48,1 V	47,9 V
Tensión mínima	-42,3 V	-42,4 V
Tiempo - Pre inyección	0,30 ms	0,28 ms
Tiempo – Inyección principal	0,44 ms	0,56 ms
Ciclo completo de inyección	2,7 ms	3,1 ms
Consumo de corriente	18,3 A	17,2 A

3.7 Medición de los niveles de opacidad con fallas en los inyectores

Para poder obtener los datos de opacidad primero se realizó la medición de los niveles de opacidad a 2500 rpm con los inyectores con fallas sin realizar ninguna simulación adicional en los inyectores.

Después se realizó la medición de los niveles de opacidad con los inyectores desgastados a 2500 rpm, además de la simulación de falla adicional que consistió en variar la presión del combustible en el Common Rail.

3.7.1 Niveles de opacidad con inyectores defectuosos sin simulación de falla

En la figura 3.33 se muestra los datos de los niveles de opacidad obtenidos con los inyectores en mal estado a un rango de medición de 2500 rpm, para lo cual, en la primera prueba se obtiene un valor de 5,9% de opacidad, en la segunda prueba se obtiene un porcentaje de 11,2%, en la tercera prueba se registra un valor de 6,8%, en la cuarta y quinta prueba se obtiene un valor de 10,6% de opacidad, donde los cinco datos obtenidos son porcentajes de opacidad bajos, por lo que se puede apreciar que el nivel máximo alcanzado es de 11,2 % de opacidad y no sobrepasan el nivel de opacidad permitido en el Ecuador según la norma técnica NTE INEN 2 202: 2002.

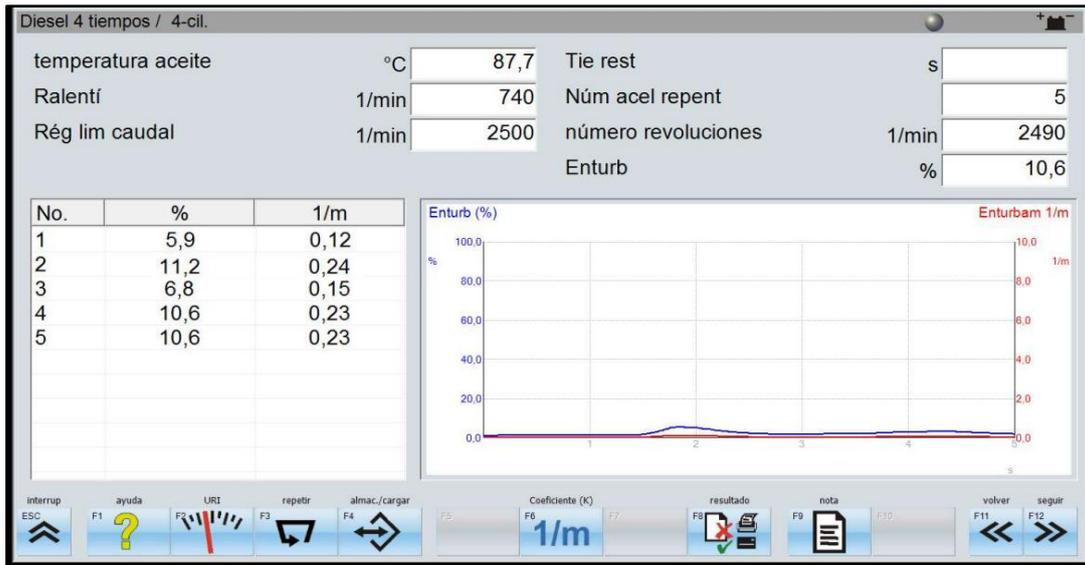


Figura 3.33 Niveles de opacidad a 2500 rpm con inyectores defectuosos

La comparación de los datos obtenidos con respecto a la opacidad se aprecia en la figura 3.34, donde se observa que los niveles de opacidad con los inyectores en buen estado se obtiene un valor de 6,1% de opacidad en la primera prueba, en la segunda prueba se obtiene un porcentaje de 6,8%, en la tercera prueba se registra un valor de 5,9%, en la cuarta y quinta prueba se obtiene un valor de 5,7% de opacidad, donde los cinco datos obtenidos son porcentajes de opacidad bajos, mientras que los niveles de opacidad con inyectores defectuosos se obtiene en la primera prueba un valor de 5,9% de opacidad, en la segunda prueba se obtiene un porcentaje de 11,2%, en la tercera prueba se registra un valor de 10,6%, por lo que los niveles obtenidos cuando se reemplazó los inyectores por unos que ya tenían un tiempo avanzado de funcionamiento, los niveles de opacidad aumentan en un pequeño porcentaje pero no sobrepasan el nivel de opacidad permitido en el Ecuador según la norma técnica NTE INEN 2 202: 2002.

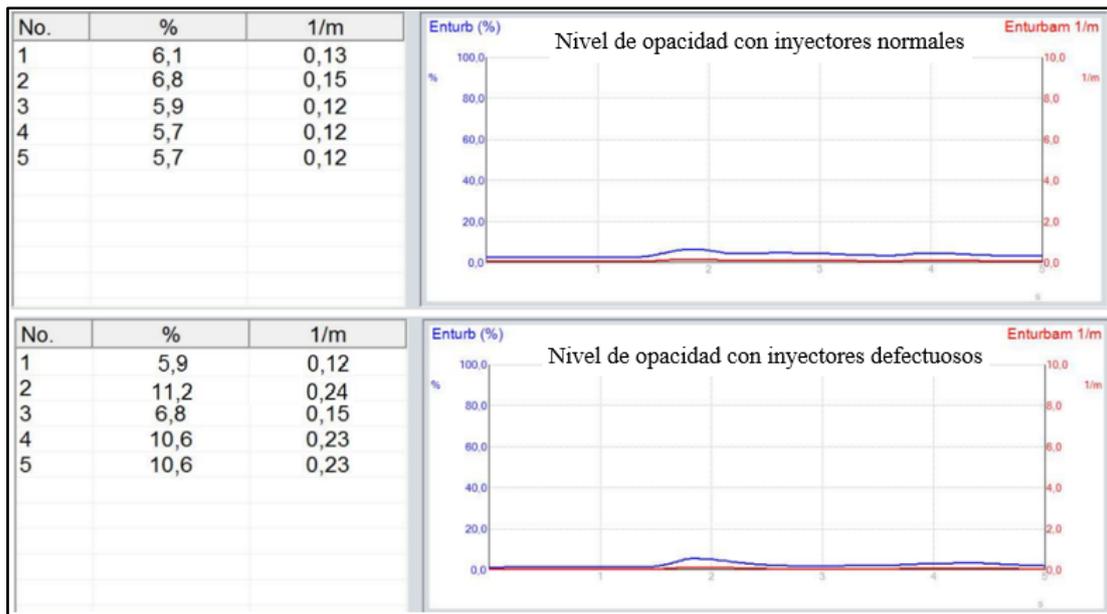


Figura 3.34 Comparación de niveles de opacidad a 2500 rpm con inyectores en condiciones normales y defectuosos

El oscilograma de la figura 3.35 corresponde al nivel máximo de opacidad obtenido a 2500 rpm con los inyectores en mal estado, así pues, se observa como la línea azul se mantiene constante mientras el motor se encuentra a ralentí, pero al momento que se acelera a 2500 rpm para realizar la prueba de opacidad, la línea azul empieza a ascender hasta alcanzar el valor medido en ese instante el cual es un porcentaje de 11,2% de opacidad, y una vez realizada la medición la línea vuelve a descender ya que la prueba de medición a finalizado.

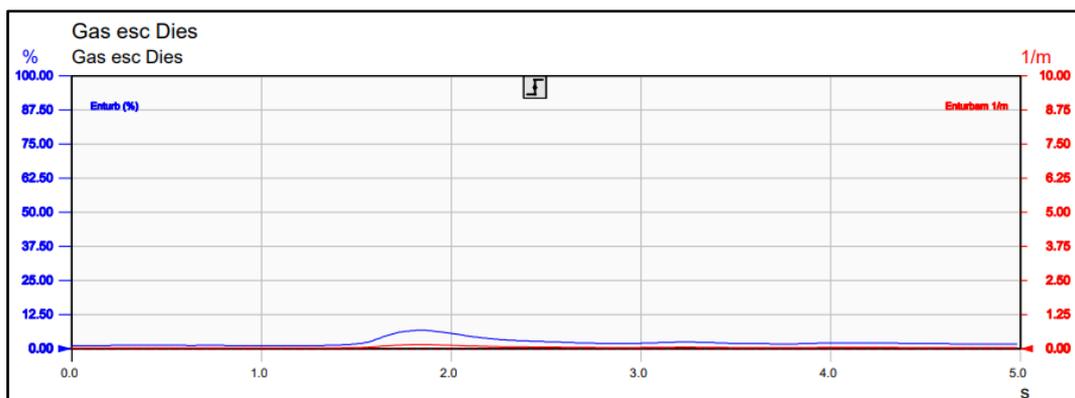


Figura 3.35 Oscilograma de opacidad a 2500 rpm con inyectores defectuosos

La tabla 3.20 corresponde a la comparación de los porcentajes de opacidad obtenidos en cada medida a 2500 rpm, además se observa la temperatura del aceite del motor que se

obtuvo en cada medición, ya que, para poder realizar la toma de datos, el aceite del motor debe de estar a una temperatura mínima de 60°C para empezar con la medición.

Por lo tanto, en el cuadro comparativo se observa que en cada medición la temperatura del aceite del motor aumenta.

Tabla 3.20 Cuadro comparativo de los niveles de opacidad a 2500 rpm con inyectores defectuosos

Nivel de opacidad a 2500 rpm				
	Inyectores normales		Inyectores defectuosos	
No.	Opacidad	Temperatura aceite	Opacidad	Temperatura aceite
1	6,1 %	78.3 °C	5,9%	86,9 °C
2	6,8 %	78.9 °C	11,2%	87,1 °C
3	5,9 %	79.5 °C	6,8%	87,5 °C
4	5,7 %	80.1 °C	10,6%	87,7 °C
5	5,7 %	80.2 °C	10,6%	87,7 °C

En la tabla 3.20 se determina el porcentaje de opacidad, donde una vez realizada las pruebas, se tiene un incremento del nivel de opacidad cuando los inyectores se encuentran con fallos mecánicos en el tiempo de activación, por lo tanto, se encuentra inyectando mayor cantidad de combustible y produciendo un incremento en los niveles de opacidad.

3.7.2 Niveles de opacidad con inyectores defectuosos con simulación de falla

En la figura 3.36 se observa cómo se realiza la medición de la opacidad con el equipo Brain Bee OPA-100 donde la primera medición nos da una medida de 9,7% de opacidad a un rango de 2500 rpm con los inyectores defectuosos y realizada la simulación de falla adicional (elevación de presión de combustible en los inyectores).

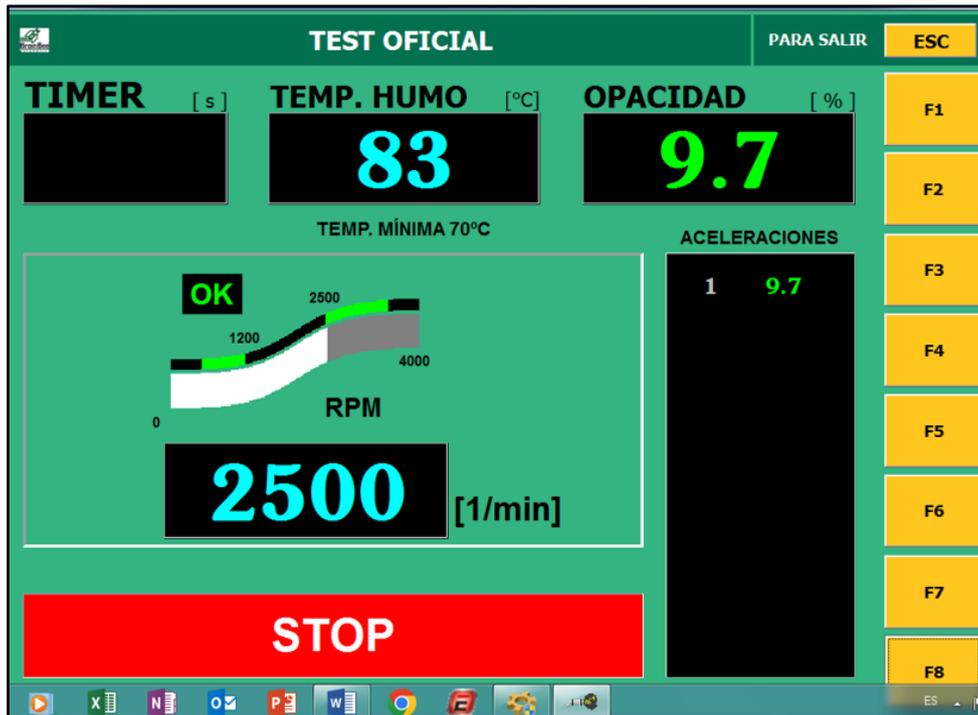


Figura 3.36 Medición de opacidad a 2500 rpm con el equipo Brain Bee OPA-100

En la figura 3.37 se muestra los datos de los niveles de opacidad obtenidos con los inyectores en mal estado y la simulación de falla adicional (elevación de presión de combustible en los inyectores) a un rango de medición de 2500 rpm, donde en la primera prueba se registra un valor de 9,7% de opacidad, en la segunda prueba se obtiene un porcentaje de 8,6%, en la tercera prueba se registra un valor de 9,1%, en la cuarta un valor de 10,8% y en la quinta prueba se obtiene un valor de 9,6% de opacidad, donde los cinco datos obtenidos son porcentajes de opacidad bajos, por lo que se puede apreciar que el nivel máximo alcanzado es de 10,8 % de opacidad y un valor promedio de 9,5%, por lo tanto no sobrepasan el nivel de opacidad permitido en el Ecuador según la norma técnica NTE INEN 2 202: 2002.



Figura 3.37 Niveles de opacidad a 2500 rpm con inyectores defectuosos y simulación de falla adicional

En la tabla 3.21 se visualiza la comparación entre los niveles de opacidad obtenidos a 2500 rpm cuando los inyectores se encuentran en perfectas condiciones y cuando tienen fallos, además de cuando se realizó la simulación de falla adicional.

Tabla 3.21 Cuadro comparativo de los niveles de opacidad a 2500 rpm con inyectores buenos, defectuosos y simulado una falla adicional.

Nivel de opacidad a 2500 rpm			
N°	Inyectores normales	Inyectores defectuosos	Inyectores defectuosos con simulación de falla adicional
1	6,1 %	5,9 %	9,7 %
2	6,8 %	11,2 %	8,6 %
3	5,9 %	6,8 %	9,1 %
4	5,7 %	10,6 %	10,8 %
5	5,7 %	10,6 %	9,6 %
Valor promedio de opacidad	6,0 %	9,0 %	9,5 %

De acuerdo a los datos mostrados en la tabla 3.21 una vez realizada las pruebas, se observa que existe un incremento en el nivel de opacidad cuando los inyectores presenta fallos mecánicos causando así problemas en el tiempo de activación y por lo tanto generando así una mayor cantidad de combustible inyectado en la cámara de combustión y produciendo así un aumento de opacidad emitido al ambiente.

Además, realizada la simulación adicional en los inyectores, la cual consistió en el incremento de la presión del combustible hacia los inyectores y producir un mayor ingreso de combustible, se observa que existe un incremento en el nivel de opacidad en comparación a cuando los inyectores se encuentran en buen estado.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

En los oscilogramas de la válvula dosificadora de combustible e inyectores en un motor diésel de la marca Mazda BT50, se comprobó que la válvula dosificadora de combustible tiene un valor de 16,3% en el tiempo de activación cuando se encuentra en contacto a diferencia de cuando se encuentra a ralentí, en el cual existe un aumento a un valor de 39,7% en el tiempo de activación, mientras que a 2500 rpm se tiene una disminución en el porcentaje del tiempo de activación a un valor de 36,4%, por lo cual a mayor revoluciones, la duración del tiempo de activación de la válvula dosificadora es más repetitivo y por lo tanto la frecuencia de activación se reduce.

El tiempo de la preinyección en los cuatro inyectores es un valor promedio de 0,75 ms cuando el motor se encuentra a ralentí, descendiendo a 0,32 ms cuando el motor se encuentra acelerado a 2000 rpm y durante el tiempo de la inyección principal existe un incremento de 0,42 ms cuando se encuentra a ralentí a 0,46 ms cuando aumenta las revoluciones, por otra parte, el tiempo del ciclo completo de la inyección cuando el motor se encuentra a 2000 rpm es más corto ya que se obtiene un valor promedio de 2,8 ms, a diferencia de cuando se encuentra a ralentí, donde se registra un valor promedio de 5,1ms debido a que se tiene dos preinyecciones.

Los niveles de opacidad obtenidos con el motor en buen estado son bajos, registrando un valor promedio de 3,8% de opacidad cuando el motor se encuentra a 2000 rpm, y un porcentaje promedio de 6,04% de opacidad cuando las revoluciones aumentan a 2500 rpm, por lo que existe un aumento de 2,2% de opacidad cuando el régimen del motor aumenta, debido a que existe un mayor consumo de combustible en ese instante. Cuando los inyectores sufren desgaste o fallas en su funcionamiento, generan problemas de inyección de combustible, por lo tanto, en las pruebas realizadas a 2500 rpm, los niveles de opacidad aumentaron en un 3,3% hasta alcanzar un valor promedio de 9,0% de opacidad a diferencia de cuando se encuentran en condiciones normales. Además, con la elevación de presión del combustible de 38.70MPa a 61.70MPa en los inyectores, se demostró que existe un incremento de 0,5% de opacidad provocando un incremento mínimo, obteniendo al final un registro de 9,5% de opacidad. Además, con la

modificación generada en la señal de la válvula dosificadora de combustible, los niveles de opacidad disminuyeron de 5,4% en condición normal a 4,9% de opacidad con la simulación de falla, evidenciando una disminución de 0,5% debido a que, con la falla simulada la válvula se mantiene más tiempo abierta, originando que gran cantidad del combustible retorne al depósito y causando que exista menos combustible en el Common Rail, por lo que se da la disminución de opacidad, además de que la resistencia de 003,5 ohmios se desgasta y el motor no permanece encendido por más de 3 minutos.

Al encontrarse la válvula dosificadora de combustible en condición normal, su porcentaje de trabajo cuando el motor se encuentra en contacto es de 16,3%, pero al provocar una señal de falla colocando una resistencia de 003,5 ohmios en el cable de la señal en la válvula dosificadora de combustible, se registró un porcentaje de trabajo de 25,7% aumentando así un 9,4% en la apertura de la válvula dosificadora de combustible por más tiempo. Igualmente, cuando se encuentra a ralentí con la válvula dosificadora de combustible normal, se obtuvo un porcentaje de trabajo de 39,7%, pero al colocar la resistencia de 003,5 ohmios en el cable de la señal de la válvula dosificadora de combustible, el porcentaje de trabajo aumento hasta 68,1%, existiendo un aumento del 28,4% en el tiempo completo de apertura de la válvula dosificadora de combustible. Por último, con el motor acelerado a un rango de 2500 rpm con la válvula dosificadora de combustible normal, el porcentaje de trabajo fue de 36,4% y al colocar la resistencia de 003,5 ohmios en el cable de la señal en la válvula dosificadora de combustible, de igual manera el porcentaje de trabajo aumento hasta 61,8%, existiendo un incremento del 25,4% en el tiempo de apertura completa de la válvula dosificadora de combustible.

La variación de la presión en los inyectores se realizó con el simulador de presión Common Rail GT-508, donde se aumentó la presión de 38,70 MPa a 61,70 MPa generando así una señal errónea del funcionamiento en los inyectores cuando se encuentra a ralentí, donde la preinyección con una presión de 38,70 MPa fue de un valor promedio de 0,75 ms, teniendo una disminución a un valor promedio de 0,62ms cuando se aumentó la presión a 61,70 MPa. En la inyección principal cuando el motor se encuentra a ralentí, se obtuvo un valor promedio de 0,42 ms con una presión de 38,70 MPa y al aumentar la presión del combustible a 61,70 MPa se registró una disminución a un valor promedio de 0,35 ms.

Con el motor a un régimen de 2000 rpm y a una presión del combustible de 38,70 MPa, el tiempo promedio de la preinyección fue de 0,32ms, a diferencia cuando se incrementó la presión del combustible a 61,70 MPa, donde se obtuvo un valor promedio de 0,30ms existiendo un descenso mínimo en el tiempo de la preinyección. En la inyección principal cuando el motor se encuentra a 2000 rpm se obtuvo un valor promedio de 0,30ms con una presión de 38,70 MPa y al aumentar la presión del combustible a 061,70 MPa, se registró un aumento hasta un valor promedio de 0,51 ms. Con el aumento de presión en el combustible, la señal en la inyección principal se vuelve inestable debido a que la ECU interpreta como si el motor se encuentra acelerando, causando una excesiva vibración del motor e incluso provocando que el motor deje de funcionar.

4.2 Recomendaciones

Analizar la posibilidad de verificar los niveles de opacidad generados por señales de fallas en los actuadores utilizando otro tipo de combustible como el biodiesel para comprobar si existe diferencia entre los niveles de opacidad emitidos utilizando el diésel y el biodiesel.

Para la comparación entre los oscilogramas de los diferentes actuadores es recomendable tener conocimiento de las señales y su funcionamiento para así poder realizar un análisis adecuado de las lecturas de las señales obtenidas y poder realizar un diagnóstico correcto.

Para realizar la simulación de presión con el equipo Common Rail GT-508 en el Sistema Common Rail del motor se recomienda manipular paulatinamente el incremento de presión, debido a que, si se eleva bruscamente la presión en el Sistema Common Rail, los inyectores envían el combustible a una mayor presión provocando que el motor deje de funcionar.

Para realizar las pruebas de medición de los niveles de opacidad se recomienda esperar a que el motor se encuentre caliente, debido a que se debe tener en cuenta una temperatura mínima de 60 grados Celsius para lograr tener una correcta medición de opacidad.

En las pruebas realizadas a la válvula dosificadora de combustible al momento de colocar una resistencia de 003,5 ohmios en el cable de la señal, se presentó señales de fallas como el aumento del tiempo de trabajo y un aumento en la caída de la tensión mínima, esto se puede evidenciar en los oscilogramas de la válvula con falla, por lo que se recomienda no realizar adaptaciones extras como resistencias en los cables de la válvula dosificadora de combustible, por lo que si esta válvula dosificadora de combustible sufre algún fallo mínimo o variaciones en su señal, el motor deja de funcionar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarez, A., & Elizalde, R. (2007). *ESTUDIO DE LA UTILIZACIÓN DE MOTORES DE DOS TIEMPOS EN PLANTAS DE POTENCIA*. INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL “Escuela Superior De Ingeniería Mecánica y Eléctrica” Unidad Culhuacan.
- Arízaga, F., & Torres, P. (2014). *Diseño de un Simulador para Diagnóstico de Bombas CRDI e Implementación en un Banco de Pruebas Hartridge de Bombas Convencionales*. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca.
- Audi. (2015). *Sistema de inyección Common Rail para el motor V8 TDI de 3,3 ltr. Diseño y funcionamiento*.
- Barbosa Tautiva, E., Gómez Sandoval, D., & Manjarres López, J. (2014). *MODELO DIDACTICO SECCIONADO DE INYECTORES DE RIEL COMUN*. Escuela Colombiana de Carreras Industriales.
- Barona López, G., & Velasteguí, L. E. (2019). Materiales de aleación de aluminio-silicio aplicados en la fabricación de partes de motores de combustión interna alternativos Parte I. *Ciencia Digital*, 3(3.2), 302–313. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i3.2.758>
- Bayas, W. (2017). *Análisis del Sistema de Control Electrónico de la Inyección de Combustible del Motor J3 del Hyundai Terracan GL EX CRDI a través del Equipo Bosch FSA 740*. Universidad Internacional del Ecuador.
- Beltrán, J. (2017). *ESTUDIO DE EMISIONES DE GASES DE UN MOTOR DIÉSEL UTILIZANDO EL COMBUSTIBLE ECUATORIANO Y EL COLOMBIANO EN UN DINAMOMETRO*. Universidad Tecnológica Equinoccial.
- Bernaola, M. (2013, July). Seguridad y Salud en el Trabajo. Motores diésel: emisión de aerosoles de partículas y gases. *N°73*, 14–16. <http://www.insht.es>
- Bosch. (2015). *Sistemas Modernos de Inyección a Diésel Unidades Completas y su despiece*. 9–13.
- Bosch, R. (2005). *Sistemas de inyección diésel por acumulador. Common rail*. https://books.google.com.ec/books?id=3Jll1hs3QiMC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Bosch, R. (2019). FSA 740. In *I 689 989 400* (pp. 97–99). Automotive Service Solutions.
- Cabrera, E., & Carpio, C. (2019). *Análisis de la Opacidad del Parque Automotor Diésel Mediante una Comparación con las Redes de Monitoreo de la Calidad del Aire en el Centro Histórico del Cantón Cuenca*. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca.
- Castillejo, A. (2014). *Sistemas de Inyección en Motores Diésel* [Grupo de Máquinas y Motores Térmicos]. Escuela Técnica Superior de Ingeniería - Universidad de Sevilla.

- CISE electrónica. (2019). OPA-100. http://www.cise.com/portal/productos.html?page=shop.product_details&product_id=38&vmcchk=1
- Clavero, D. (2020, February 29). *Como es la Prueba de Gases y Opacidad de la ITV Para Coches Diésel: Desmontando Mitos.* 2020. <https://www.diariomotor.com/esenciales/itv/diesel-opacidad-gases/>
- Consuegra, S. (2007). *MÓDULO MOTORES DIÉSEL.* Instituto Tecnológico de Soledad Atlántico - ITSA.
- Coral De La Cadena, F. (2013). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE INYECTORES DE VEHÍCULOS A DIESEL CRDI PARA LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ.* Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Criollo, O., & Matute, H. (2014). *Diagnóstico de Fallos en la Combustión Para Motores de Combustión Interna Alternativos Diésel por Análisis de Vibraciones.* Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca.
- de Castro, M. (1987). *EL MOTOR DIESEL EN EL AUTOMOVIL: Vol. Primera edición* (EDICIONES CEAC, S.A.).
- el Comercio. (2012, June 27). *El esmog ahoga a cuatro zonas de Quito.* <https://www.elcomercio.com/actualidad/quito/esmog-ahoga-a-cuatro-zonas.html>
- el Comercio. (2022, March 8). *Calidad de gasolinas: Normativa de Ecuador incumple rango internacional.* <https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/petroecuador-norma-euro5-calidad-combustibles.html>
- García, F., Chacón, J. L., & Chaves, A. (2013). Modelado de la combustión en motores Diésel: revisión del estado del arte. *Revista ION* , Vol. 26, 41–54.
- Gómez Ullauri, D. (2012). *Estudio de Factibilidad Para la Construcción de un Banco de Pruebas Para Inyectores del Sistema Common Rail Bosch.* Universidad del Azuay.
- Hernández López, L. (2010). Predicción y optimización de emisiones y consumo mediante redes neuronales en motores Diésel. In *Temas Avanzados en Motores de Combustión Interna: Vol. 1 ed.* Editorial Reverte. S. A. <http://cielo.usal.es/Record/Xebook1-4107>
- INEN. (2002). *INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2 207:2002 (Primera Revisión).*
- INEN. (2016). *Servicio Ecuatoriano de Normalización. Normativa Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2207(Segunda Revisión).*
- Luna, P., & Mier, J. F. (2014). *MEDICIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS NIVELES DE OPACIDAD GENERADOS POR LOS VEHÍCULOS CON MOTOR DE COMBUSTIÓN DIÉSEL.* Universidad Internacional del Ecuador.

- Metas y Metrólogos Asociados. (2008, February). Opacidad Una Aplicación Ambiental de la Espectrofotometría. #02, 1–1. www.metas.com.mx
- OPS. (2016). *Calidad del aire - OPS/OMS / Organización Panamericana de la Salud*. <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire>
- Payri, Francisco., & Desantes, J. M. (2011). *Motores de combustión interna alternativos* (Editorial Reverté). Universitat Politècnica de València.
- Plan Nacional de Desarrollo. (2017). *Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021-Toda una Vida*. www.planificacion.gob.ec
- Ramos, V. (2015). *EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA ASOCIADA A LA OPACIDAD PRODUCIDA POR EL TRANSPORTE MASIVO URBANO EN LA CIUDAD DE AMBATO*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Reyes, J. (2018). *DIAGNÓSTICO DE MOTORES DIÉSEL ELECTRÓNICOS, A BASE DE PRESIONES EN EL RIEL COMÚN (CRDI)* [Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/8354/1/04%20MAUT%20065%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
- Reynasa. (2020, November 10). *Opacímetro: La Máquina Esencial para Controlar las Emisiones de los Diésel*. <https://www.reynasa.es/opacimetro-para-controlar-las-emisiones-de-los-diesel/>
- Salazar, C. A. (2018). *Análisis de Comportamiento y Simulación de un Common Rail Mediante el Uso de Técnicas de Manejo Apropiado y Ecológicas para la Optimización de la Riel*. Universidad Internacional SEK.
- Truper S.A. (2022). *Multímetro digital para mantenimiento automotriz con RMS verdadero*. https://www.truper.com/ficha_tecnica/views/ficha-print.php?id=3951

ANEXOS

ANEXO 1. MEDICIÓN DE LOS NIVELES DE OPACIDAD



ANEXO 2. OBTENCIÓN DE SEÑALES DE FALLA EN LA VÁLVULA DOSIFICADORA E INYECTORES CON EL EQUIPO BOSCH FSA 740

